

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ENGENHARIA DE ENERGIA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE
UMA EDIFICAÇÃO DO CAMPUS DO VALE DA UFRGS**

por

GUILHERME SANTANNA CASTIGLIO

Monografia apresentada à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia de Energia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia de Energia.

Porto Alegre, julho de 2019.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE ENERGIA

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS
DE UMA EDIFICAÇÃO DO CAMPUS DO VALE DA UFRGS

por

GUILHERME SANTANNA CASTIGLIO

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
BACHAREL EM ENGENHARIA DE ENERGIA.
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA

Professora Letícia Jenisch Rodrigues
Coordenadora do Curso de Engenharia de Energia

Orientador: Professor MSc. Igor Pasa Wiltuschnig

Banca examinadora:

Prof. MSc. Igor Pasa Wiltuschnig – DELET/UFRGS

Prof. Dr. Sérgio Luís Haffner – DELAE/UFRGS

Prof. Dr. Renato Machado de Brito – DELET/UFRGS

Porto Alegre, 15 de julho de 2019.

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Simone, e minha avó, Cibila, pelo amor incondicional em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

A todos os cidadãos e cidadãs do Brasil por contribuírem pela manutenção da UFRGS, garantindo ensino público, gratuito e de qualidade em toda minha formação.

À equipe atual e às equipes passadas do Laboratório de Obras Hidráulicas, pela parceria e amizade ao longo dos anos, em especial ao Professor Marcelo Marques, por todas as oportunidades e ensinamentos fundamentais em minha formação.

Ao Professor Igor Pasa pelo apoio e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus familiares e amigos que sempre me apoiaram em toda minha trajetória na UFRGS, em especial ao meu irmão Vinicius, meu pai Eduardo e ao Vitor, por toda parceria e carinho.

Por fim, à minha companheira, Dominique, pela compreensão e apoio nos momentos mais difíceis.

CASTIGLIO, G. S. Avaliação da eficiência energética das instalações elétricas de uma edificação do Campus do Vale da UFRGS. 2019. 25. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de eficiência energética em um dos prédios do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), localizado no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Tendo em vista que a edificação não possui medição individualizada de energia elétrica, identifica-se a dificuldade no controle de desperdícios e perdas na instalação. Portanto, aplicando a metodologia de diagnóstico energético, realizou-se a caracterização do consumo de energia elétrica e avaliação das condições de operação dos motores, das bombas e do sistema de iluminação da edificação. Para isto, foram coletados dados de parâmetros elétricos, entre novembro de 2018 e maio de 2019, através da instalação de um analisador de energia no Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) do prédio. Também foram realizadas medições de temperatura e parâmetros hidráulicos das bombas, assim como de parâmetros elétricos dos motores e sistema de iluminação. Por fim, é apresentado um estudo prévio de viabilidade técnica para implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica. Foi possível concluir que as cargas elétricas que mais influenciam no consumo de energia são os motores dos conjuntos motobomba, que quando acionados representam em média um aumento de 34% no consumo diário. O sistema de iluminação influencia no fator de potência de toda instalação devido sua característica capacitiva, além de introduzir conteúdo harmônico na rede. Dois conjuntos motobomba operam distantes de suas condições nominais, por questões de sobredimensionamento. Além disto, estima-se que a implantação do sistema fotovoltaico traria economia anual de R\$ 25.000,00 com energia elétrica e um tempo de retorno de 9,5 anos, mostrando-se um investimento extremamente viável para a edificação.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética; Instalações Elétricas; Diagnóstico Energético; Sistemas Fotovoltaicos.

CASTIGLIO, G. S. **Evaluation of the energy efficiency of the electrical installations of a Campus do Vale - UFRGS building.** 2019. 25. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

ABSTRACT

This work presents an energy efficiency study in a building of the Hydraulic Research Institute, located on the campus of the Federal University of Rio Grande do Sul. As there is no individualized electric power measurement in place, it is possible to identify the difficulty in the control of losses in the installation. Therefore, applying an energy audit methodology is presented an evaluation of the electric energy consumption and evaluation of the operating conditions of the motors, the pumps and the lighting system of the building. For this purpose, data were collected between November 2018 and May 2019, through the installation of an energy analyzer in the general low voltage panel of the building. Measurements of temperature and hydraulic parameters of the pumps were also carried out, as well as electrical parameters of the motors and lighting system. Finally, a preliminary technical study is presented for the implementation of a photovoltaic system connected to the grid. It was possible to conclude that the electric loads that most influence the energy consumption are the motors, which when actuated represent, on average, a 34% increase in daily consumption. The internal lighting system influences the power factor of every installation to its capacitive characteristic, as well as introducing harmonic content in the grid. Two pump motor assemblies operate far from their nominal conditions, reducing the efficiency of motors coupled to them. And the implantation of the photovoltaic system would bring annual savings of R\$ 25,000.00 with electricity and a time of return of 9.5 years, showing an extremely viable investment for the building.

KEYWORDS: Energy Efficiency; Electrical Installations; Energy Audit; Photovoltaic system.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	2
2.1	Harmônicos em Instalações Elétricas	2
2.2	Demanda e Fatores Típicos da Carga	4
2.3	Desempenho de Bombas Hidráulicas	5
2.4	Desempenho de Motores Elétricos	6
3	METODOLOGIA	7
3.1	Características da Edificação	8
3.2	Levantamento de Dados	9
4	CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO	10
4.1	Consumo de Energia Ativa	11
4.2	Demanda	12
4.3	Fator de Potência	13
4.4	Estimativa de Custo Mensal da Energia Elétrica	14
4.5	Curvas de Carga	14
5	AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO	16
5.1	Iluminação Interna	16
5.2	Bombas Hidráulicas	18
5.3	Motores de Indução Trifásicos	21
6	IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	23
5	CONCLUSÕES	25

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um país, seja no âmbito social ou econômico, está relacionado de forma direta com o aumento do consumo de energia elétrica dos setores da indústria, do comércio, agropecuário e doméstico. No entanto, o aumento deste consumo também pode ocorrer quando sistemas e instalações ineficientes operam de forma simultânea, sobrecarregando o setor de geração, transmissão e distribuição de energia.

Neste contexto surgiu o conceito de eficiência energética, definido por Tolmasquim (1998) como a realização de um serviço ou produção de um bem com quantidade de energia inferior da usualmente consumida. No Brasil, um dos principais difusores dos conceitos da eficiência energética no âmbito federal, é o Programa de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) criado em 1982 vinculado à Eletrobrás, promove ações e fomenta o desenvolvimento de tecnologias eficientes de gestão, uso e aproveitamento de energia em diferentes setores da sociedade. Estima-se que somente em 2017, as ações de eficiência energética promovidas pelo PROCEL geraram uma economia de R\$ 3,793 bilhões (PROCEL, 2018).

Como marco legal da eficiência energética no Brasil, destaca-se a Lei de Eficiência Energética de 2001, que dentre as muitas contribuições, estabeleceu diretrizes para o desenvolvimento tecnológico e a introdução de equipamentos mais eficientes no mercado nacional. Já no ano de 2014 a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) adotou as normas *ISO (International Organization for Standardization)* da família 50001, “*Energy Management*”, como maneira de estabelecer critérios e requisitos para aplicação da gestão energética na indústria e edificações. Destaca-se, o surgimento da “NBR ISO 50002 – Critérios e Requisitos para Realização de Diagnósticos Energéticos”, estabelecendo requisitos e recomendações para que estes estudos sejam realizados de forma padronizada no Brasil.

Os diagnósticos energéticos tratam de uma análise detalhada do desempenho energético de uma organização, equipamento, sistema ou processo, baseada em medição e observação apropriadas do uso de energia. Ele é planejado e conduzido como parte da identificação e priorização das oportunidades de melhoria no desempenho energético, na redução de desperdício de energia e na obtenção de benefícios ambientais (ABNT, 2014).

O diagnóstico é baseado fortemente no sistema *PDCA (Plan, Do, Check and Act)* que possui presença massiva em padrões industriais e pode ser aplicado de maneira muito eficiente na gestão inteligente da energia elétrica. Os resultados do diagnóstico incluem informações sobre o uso da energia elétrica em determinado processo ou edificação, estabelecendo o desempenho atual dos principais equipamentos, listando recomendações por prioridade para melhoria do desempenho energético e dos benefícios financeiros.

Segundo Marques (2007), antes de realizar qualquer ação visando o incremento da eficiência nos sistemas elétricos, é necessário conhecer e diagnosticar as instalações para então estabelecer prioridades, implantar os projetos de melhoria e acompanhar seus resultados em um processo contínuo. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017) apresenta o planejamento da eficiência energética seguindo uma visão estratégica baseada em três pilares: (1) identificação dos potenciais de eficiência, (2) elaboração de políticas e ações de melhoria, e (3) monitoramento e avaliação de resultados.

O Balanço Energético Nacional de 2018 (MME, 2018) apresenta que em 2017 apenas o setor público consumiu 8,2% de toda energia elétrica produzida no Brasil, valor expressivo se comparado com os outros setores com alta participação na economia, como o agropecuário, com consumo de 5,5%. No entanto, esse dado corrobora com Jannuzzi (2010), que estima que há um potencial de 40% de economia de energia elétrica através de ações de eficiência energética nas edificações e instalações de toda esfera pública do país, que além de gerar economia, podem servir como incentivo e *benchmark* para outros setores da sociedade.

Segundo Jannuzzi (2010), o administrador público é pouco estimulado a ter um comportamento favorável à economia de energia, pois possui pouco incentivo. Em geral a apropriação dos custos e alocação de consumo é pouco detalhada e não se identifica setores responsáveis. Além do fato de haverem medições muito agregadas, instalações antigas ou obsoletas, desse modo, com poucas oportunidades para promoção da melhor gestão e monitoramento de ações.

O Campus do Vale, até o fechamento deste trabalho, possui fornecimento de energia elétrica através da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) com nível de tensão de 69 kV em uma subestação rebaixadora para 13,8 kV e com capacidade de 20 MVA. Segundo o Relatório de Gestão 2018 (UFRGS, 2018), foram instalados 12 pontos de medição de energia elétrica em toda a universidade neste ano, monitorando pontos de consumo de unidades prestadoras de serviço e algumas unidades acadêmicas.

Destaca-se que a ausência de medição traz uma lacuna para que ações de eficiência energética sejam desenvolvidas nas edificações da universidade, uma vez que os gestores das unidades não dispõem de subsídio técnico para implantar e monitorar ações que visem à redução do uso de energia. Desta forma, a instalação de medidores nos principais prédios dos campi seria o primeiro passo para estabelecer um programa de eficiência energética eficaz.

É possível citar como bons exemplos de gestão energética, o caso da Universidade de São Paulo (USP), onde apenas no campus principal existem 120 pontos de monitoramento de consumo de energia elétrica (SILVA, 2014). Outro exemplo é o Campus da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), onde existem 29 pontos de medição (DUARTE, 2011). Em ambos os casos, os pontos são monitorados constantemente para efeito de avaliação de consumo e ineficiências na operação.

Deste modo, o objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência energética nas instalações elétricas de uma das edificações do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, através da aplicação da metodologia de diagnóstico energético. Tendo em vista que não há medição de energia elétrica individualizada no local, foi realizado o monitoramento de parâmetros elétricos da edificação através da instalação de um analisador de qualidade de energia no Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) do prédio. O monitoramento de dados ocorreu entre os meses de novembro de 2018 e maio de 2019. Também foram coletados dados de temperatura, pressão e vazão nos conjuntos motobomba e parâmetros elétricos dos motores e do sistema de iluminação.

A partir destes dados foi possível realizar a caracterização do consumo de energia na edificação, a avaliação da operação dos equipamentos que demandam maior potência. Além da elaboração de um estudo prévio de viabilidade técnica para implantação de um sistema solar fotovoltaico.

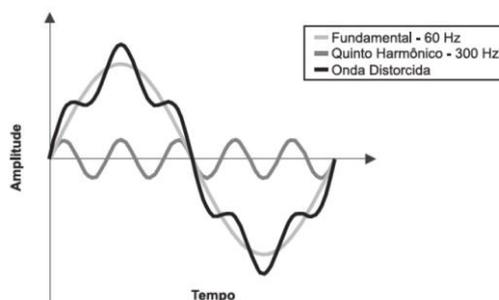
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nas próximas seções serão apresentados alguns conceitos utilizados na elaboração do diagnóstico energético.

2.1 Harmônicos em Instalações Elétricas

Com o advento da eletrônica de potência e aumento das cargas não lineares no sistema elétrico, a discussão sobre as causas e efeitos das distorções harmônicas tem se tornado cada vez mais significativa. Uma das principais características deste tipo de carga é produzir correntes distorcidas quando energizadas por uma fonte senoidal, podendo ocasionar degradação da qualidade de energia elétrica do sistema quando presentes em grande escala. A Figura 1 apresenta a degradação de um sinal devido à presença de harmônicos.

Figura 1 - Distorções harmônicas em um sinal senoidal



Fonte: KRAUSE, 2002.

Verifica-se que há uma sobreposição de sinais na forma de onda distorcida, pois o sinal fundamental, perfeitamente senoidal com frequência de 60 Hz, está sendo somado com outro de diferente

frequência e amplitude. Logo, uma onda periódica distorcida é o resultado da sobreposição de uma série de ondas senoidais com diferentes frequências, que possui uma componente fundamental e um conjunto de ondas denominadas “harmônicas”, responsáveis pelo maior ou menor grau de distorção da onda analisada. Cada múltiplo inteiro da fundamental, cuja ordem é igual a 1, define a ordem do harmônico (ANTUNES, 2014).

A maneira mais convencional de quantificar o desvio total de uma onda distorcida em relação à sua componente fundamental é utilizando o indicador de Distorção Harmônica Total (*DHT*), que pode ser usado tanto para sinais de corrente quanto tensão, a Equação (1) apresenta como se determinar as distorções totais do sinal de corrente.

$$DHT_i(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_f^2}} \times 100 \quad (1)$$

onde:

I_f - corrente *rms* da componente fundamental [A];
 I_n - corrente *rms* das componentes de ordem n [A].

As distorções harmônicas são representadas de forma percentual em relação à componente fundamental, o que facilita a verificação da intensidade de distorção. Durante as análises realizadas verificou-se que a distorção total do sinal de tensão no barramento de entrada da edificação é da ordem de 2%, valor pouco significativo se comparado com as distorções do sinal de corrente que podem chegar a 120%, portanto, optou-se por não analisá-la.

As distorções harmônicas também têm efeito direto na quantificação da potência de circuitos polifásicos com cargas não lineares e desbalanceadas. Por exemplo, em uma instalação com cargas lineares e sinais de corrente perfeitamente senoidais, o fator de potência é dado pela seguinte expressão:

$$FP_1 = \cos \varphi = \left(\frac{P}{S}\right) \quad (2)$$

onde:

P - potência ativa [W];
 S - potência aparente [VA];
 φ - ângulo de defasagem das componentes fundamentais da tensão e corrente [°];
 FP_1 - fator de potência da fundamental (de ordem 1).

Sendo que a Potências Aparente (S) é dada pela seguinte expressão:

$$S [VA] = V_{rms} \times I_{rms} \quad (3)$$

onde:

V_{rms} - valor da tensão *rms* dado em [V];
 I_{rms} - valor da corrente *rms* dado em [A].

A Potência Ativa (P) é dada pela seguinte expressão:

$$P [W] = V_{rms} \times I_{rms} \times \cos \varphi \quad (4)$$

onde:

V_{rms} - valor da tensão *rms* dado em [V];
 I_{rms} - valor da corrente *rms* dado em [A];
 φ - ângulo de defasagem das componentes fundamentais da tensão e corrente [°].

O fator de potência apresentado na Equação (2) também é conhecido como fator de potência da fundamental, pois todas as variáveis envolvidas na sua formulação se referem à frequência fundamental, uma vez que se supõe uma fonte perfeitamente senoidal alimentando cargas lineares e equilibradas, ou seja, sem distorções harmônicas.

Entretanto, em circuitos com sinais distorcidos de corrente e tensão, o fator de potência se altera, e deve ser expresso considerando os índices de distorção de ambos. Segundo (ANTUNES, 2014) em condições de baixa distorção na tensão, o fator de potência pode ser expresso apenas em função das distorções de corrente, através da seguinte expressão:

$$FP = FP_1 * \left(\frac{1}{\sqrt{1 + DHT_i^2}} \right) \quad (5)$$

onde:

FP_1 - fator de potência da fundamental (ordem 1);

FP - fator de potência real da instalação (considerando distorções do sinal de corrente);

DHT_i - distorções harmônicas totais do sinal de corrente.

Neste caso, verifica-se o fator de potência apresentado na Equação (5), em geral, sempre será menor que o fator de potência da fundamental apresentado na Equação (2). Desta forma, é possível concluir que a capacidade de utilização dos circuitos diminui quando sinais distorcidos de tensão e corrente estão presentes.

2.2 Demanda e Fatores Típicos da Carga

A demanda de uma instalação é a carga nos terminais receptores, tomada em valor médio em um determinado intervalo de tempo. O período no qual é tomado o valor médio é designado por intervalo de demanda, sendo usualmente o período de 15 minutos (KAGAN, 2005).

A partir da determinação de valores médios e máximos da demanda é possível formular alguns fatores que podem caracterizar o comportamento das cargas presentes no sistema elétrico, sendo um dos principais, o Fator de Demanda (FD) apresentado a seguir:

$$FD = \frac{D_{máxima}}{P_{instalada}} \quad (6)$$

onde:

$D_{máxima}$ - demanda máxima registrada em determinado período de tempo [kW];

$P_{instalada}$ - potência instalada no sistema analisado [kW].

Este fator é geralmente menor que o unitário, pois um valor superior indicaria sobrecarga no sistema. Por sua vez, um valor próximo de zero, indica que a instalação opera com pouco aproveitamento de toda potência disponível. Outro fator comumente utilizado é o Fator de Carga (FC) dado pela seguinte expressão:

$$FC = \frac{D_{média}}{D_{máxima}} \quad (7)$$

onde:

$D_{máxima}$ - demanda máxima registrada em determinado período de tempo [kW];

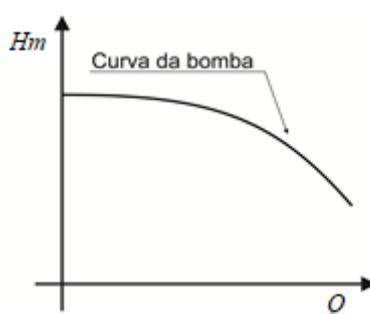
$D_{média}$ - demanda média registrada em determinado período de tempo [kW];

Este fator indica de maneira indireta como a curva de carga do sistema vai se comportar, uma vez que seu valor próximo da unidade mostra que os picos são pouco expressivos em relação à média de consumo, e valor próximo de zero indicam picos de consumo pontuais e distantes da média da carga.

2.3 Desempenho de Bombas Hidráulicas

Em uma bomba hidráulica, à medida que cresce a vazão a ser transportada, a altura manométrica, a potência e o rendimento se alteram. Para acompanhar essa variação e prever a operação do sistema de bombeamento são desenvolvidas as curvas características da bomba. Estas curvas relacionam os pontos de Vazão de Operação (Q), geralmente expressa em [m³/h] com a respectiva Altura Manométrica (H_m) geralmente expressa em [mca]. A partir desta curva, é possível verificar se determinada bomba é capaz de atender determinado sistema de tubulações, singularidades e desnível geométrico (LENHS, 2015). A Figura 2 apresenta o formato típico de uma curva característica de bomba hidráulica.

Figura 2 - Curva característica de uma bomba hidráulica



Fonte: LENHS, 2015

Em geral, uma bomba hidráulica é dimensionada para operar na situação de maior rendimento, porém com o seu desgaste ao longo dos anos, a curva característica acaba se alterando, acarretando na alteração dos possíveis pontos de operação e os rendimentos associados a eles. As curvas características das bombas são elaboradas pelos fabricantes a partir de ensaios em laboratórios, onde a vazão (Q) é obtida através de um medidor apropriado e a altura manométrica (H_m) através da medição das pressões na sucção e recalque da bomba. A Equação (8) apresenta a forma de se determinar a altura manométrica de uma bomba hidráulica em um ensaio experimental.

$$H_m [mca] = \frac{P_r - P_s}{\gamma} + \frac{V_r^2 - V_s^2}{2g} + z_r - z_s \quad (8)$$

onde:

H_m - altura manométrica [mca];

P_r e P_s - pressões no recalque e sucção da bomba respectivamente [N/m²];

γ - peso específico do fluido bombeado [N/m³];

g - aceleração da gravidade [m/s²];

V_r e V_s - velocidades do escoamento na tubulação de recalque e sucção respectivamente [m/s];

Z_r e Z_s - cotas dos pontos de medição de pressão no recalque e na sucção da bomba [m].

A partir da determinação da vazão e da altura manométrica é possível determinar a potência hidráulica de uma bomba através da seguinte expressão:

$$P_{hidráulica} [W] = \gamma \times Q \times H_m \quad (9)$$

onde:

$P_{hidráulica}$ - potência hidráulica [W];

γ - peso específico do fluido bombeado [N/m³];
 H_m - altura manométrica [mca];
 Q - vazão bombeada [m³/s].

Então, é possível obter a potência no eixo da bomba através da seguinte expressão:

$$P_{eixo}[W] = \frac{P_{hidráulica}}{\eta_{bomba}} \quad (10)$$

onde:

η_{bomba} - rendimento da bomba hidráulica [%].
 $P_{hidráulica}$ - potência hidráulica [W];

Nota-se, portanto, que a altura manométrica e a vazão influenciam diretamente no consumo de energia e no rendimento de uma bomba hidráulica, implicando também no seu custo de operação.

2.4 Desempenho de Motores Elétricos

Os motores elétricos são os responsáveis por fornecer a potência mecânica no eixo da bomba a partir da conversão da potência elétrica da rede. O motor de indução trifásico é uma máquina intrinsecamente eficiente, no entanto estima-se que 40% de todos os motores instalados na indústria operem com 40% ou menos da sua capacidade nominal (HURST, 2007), contribuindo para que as máquinas se desgastem mais facilmente uma vez que operam em um ponto de baixo rendimento e consomem potência reativa indutiva proporcional ao seu tamanho, reduzindo o fator de potência e sobrecarregando as instalações elétricas de maneira desnecessária.

Segundo Marques (2007) uma das formas de avaliar a operação de um motor elétrico é através da análise do carregamento do mesmo. Sendo o Fator de Carregamento (FC), apresentado na Equação (11), o indicador utilizado para expressar de maneira quantitativa esta análise.

$$FC (\%) = \frac{2 \times I_t - I_0}{2 \times I_N - I_0} \times 100 \quad (11)$$

onde:

I_t - corrente de operação [A];
 I_N - corrente nominal do motor [A];
 I_0 - corrente a vazio do motor [A].

Utiliza-se como referência que motores com fator de carga abaixo dos 75% apresentam fortes indícios de sobredimensionamento, e motores com fator de carga próximo de 100% indicam que são compatíveis com a carga acoplada ao seu eixo. Segundo Marques (2007) caso a corrente em vazio não possa ser obtida através de catálogos de fabricantes ou ensaios de medição, uma expressão que fornece uma estimativa do seu valor é dada por:

$$I_0 (\%) = 56,93 + 14,53 \times \ln(p) - 7,23 \times \ln(P_N) \quad (12)$$

onde:

I_0 - dado em percentual da corrente nominal do motor;
 p - número de pares de polos do motor;
 P_N - potência nominal do motor em [CV].

Uma estimativa do rendimento do motor para determinada condição de fator de carga pode ser obtido através da Equação (13).

$$\eta_{motor}(\%) = \frac{FC \times 0,736 \times P_N}{P_E} \times 100 \quad (13)$$

onde:

P_E - potência elétrica do motor demandada da rede [kW];

P_N - potência nominal do motor em [CV];

FC - Fator de Carregamento [%].

A potência elétrica de um motor de indução trifásico é dada pela seguinte expressão:

$$P_E[kW] = \sqrt{3} \times I_L \times V_L \times \cos \varphi \quad (14)$$

onde:

I_L - corrente de linha do motor [A];

V_L - tensão de linha aplicada ao motor [V]

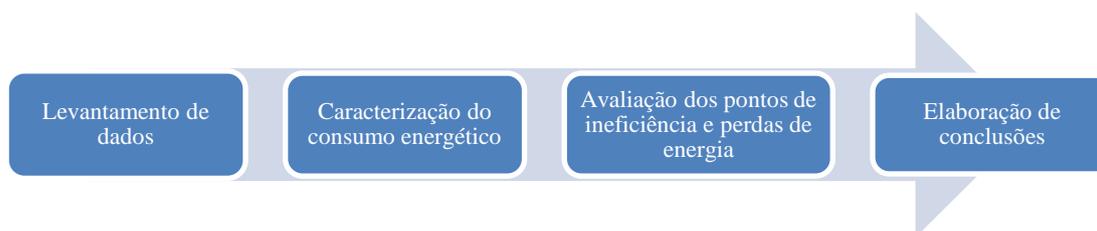
$\cos \varphi$ - fator de potência do motor.

Destaca-se que o valor de rendimento obtido através da Equação (13) se refere a uma estimativa, considerando apenas a condição em regime permanente. Para avaliações com o objetivo de tomada de decisão definitiva, deve ser realizar a uma análise térmica e de transitórios.

3 METODOLOGIA

O diagnóstico energético é o ponto de partida para qualquer projeto de eficiência energética, pois a partir dos levantamentos realizados durante o estudo, são indicados os pontos de ineficiência da instalação e elaboradas propostas para melhorias. No Brasil o termo é difundido amplamente em publicações do PROCEL, que apresenta metodologia para realização de diagnóstico em diferentes tipos de edificações. Assim como, pela NBR ISO 50002 que estabelece alguns critérios para realização deste tipo de estudo. Neste trabalho, adotou-se a metodologia apresentada por Nogueira (1990), utilizada pelo PROCEL e com critérios muito similares aos estabelecidos pela NBR ISO 50002. As etapas adotadas para execução do trabalho estão apresentadas na Figura 3.

Figura 3 - Metodologia de diagnóstico energético adotada na pesquisa



Fonte: Adaptado de NOGUEIRA, 1990.

Na etapa de levantamento de dados foi necessário obter toda documentação possível em relação a equipamentos, plantas, manuais e diagramas, deste modo, podendo definir as condições de contorno do estudo. Neste momento também foram planejadas as medições e pontos de aquisição de dados.

Na etapa de caracterização do consumo foi realizado um detalhamento do perfil de consumo de energia elétrica na edificação através da elaboração dos valores mensais de energia ativa, reativa, fator de potência, demanda máxima e média da instalação. Foram identificados dias típicos de consumo de energia elétrica e elaboradas curvas de carga para os mesmos.

Na etapa de avaliação dos pontos de ineficiência foi realizado um detalhamento da situação de operação dos conjuntos motobomba através da estimativa do rendimento e temperatura de operação dos motores e bombas, além da determinação experimental da curva característica das bombas. Foram avaliadas as distorções harmônicas produzidas pelo sistema de iluminação e sua influência no fator de

potência. Por fim, é apresentada uma possível solução para redução do consumo de energia elétrica da rede através da implantação de um sistema solar fotovoltaico.

Destaca-se que o trabalho delimita-se a analisar apenas equipamentos relacionados ao consumo de energia elétrica, portanto, não foram avaliadas possíveis ineficiências no que tange conforto térmico e questões estruturais. Ademais, a proposta é identificar e indicar os principais pontos ineficientes e não aprofundar as soluções de cada um deles.

3.1 Características da Edificação

O estudo foi realizado em um dos prédios do IPH, localizado no Campus do Vale da UFRGS. É chamado de Pavilhão Marítimo devido aos estudos relacionados à obras marítimas que foram desenvolvidos no início de sua operação mas que hoje foram transferidos para outros locais do IPH.

O pavilhão comporta atualmente dois laboratórios, o Laboratório de Obras Hidráulicas (LOH) e o Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica no Saneamento (LENHS). O LOH tem como missão desenvolver pesquisa na área de obras relacionadas à estruturas hidráulicas, principalmente na área de barragens. Os estudos de caráter experimental ocorrem em modelos reduzidos onde são realizados ensaios visando avaliar o comportamento das estruturas quando submetidas a variadas situações de pressão e vazão de água, buscando o aumento da vida útil das construções, da capacidade de operação, eficiência e consequentemente a redução de custos de construção e manutenção. O LENHS foi criado por meio de uma parceria entre o PROCEL SANEAR e a UFRGS e desenvolve atividades de ensino, pesquisa e extensão relacionadas ao uso eficiente de energia e água no saneamento. Os trabalhos realizados tem como objetivo desenvolver e aprimorar tecnologias de construção, operação e gestão de sistemas de abastecimento de água. A Figura 4 apresenta com maior detalhamento a localização do prédio no Campus do Vale e o seu interior.

Figura 4 - Localização (esquerda) e interior do pavilhão (direita)



Fonte: Elaborado pelo autor

O pavilhão tem área de 3000 m² e possui uma sala de aula, duas salas de pesquisa, cinco gabinetes de professores, um refeitório e dois banheiros, no entanto, a maior parte de todo o pavilhão é ocupada com os modelos reduzidos utilizados nas pesquisas experimentais. Estima-se que circulem pelas dependências do pavilhão em média de 20 a 30 pessoas por dia, sendo que o mesmo tem horário de funcionamento das 08h00min às 18h00min. O público é composto por estudantes, bolsistas de iniciação científica, alunos de pós graduação, professores e funcionários.

Como possui diversas estruturas experimentais de grande porte e que utilizam elevadas vazões de água nos ensaios experimentais, a edificação conta com um sistema de bombeamento com três Conjuntos Motobomba (CMB), chamados de CMB1, CMB2 e CMB3 com potências de 75 CV, 25 CV e 50 CV respectivamente. O reservatório utilizado pelo sistema de bombeamento fica localizado no subsolo e armazena água proveniente das chuvas, sendo que possui volume de 600 m³. A água bombeada circula pelos modelos e retorna para o reservatório por um conjunto de canais de retorno. Os três motores são acionados por inversores de frequência, o que facilita a variação de vazão recalcada através da variação da rotação das bombas. A Figura 5 apresenta com maior detalhamento o sistema.

Figura 5 - Barrilete do sistema de bombeamento (esquerda) e conjuntos motobomba (direita)



Fonte: Elaborado pelo autor

Como a maioria das edificações do Campus do Vale, o pavilhão não possui medidor de energia elétrica e atualmente o suprimento de energia elétrica é através de rede subterrânea com condutores de 500MCM, proveniente de um transformador de 300 kVA com tensão no primário de 13,8 kV e tensão no secundário de 220/127 V localizado na área externa do pavilhão.

3.2 Levantamento de Dados

Após a obtenção dos documentos técnicos e caracterização da edificação, foi determinada a potência instalada do prédio, sendo que as cargas mais relevantes estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Potência instalada da edificação

Tipo de Equipamento	Quantidade	Potência Total (kW)
Motores Elétricos	24	200,4
Aparelhos de Ar Condicionado	10	12,6
Computadores	39	18,0
Lâmpadas	355	9,9
Outros	-	15,6
TOTAL		256,6

Fonte: Elaborado pelo autor.

A potência dos equipamentos foi determinada através das placas de identificação e devido a dificuldade de obtenção de informações de fabricantes em alguns casos, admite-se valores de até 10% de incerteza no momento em que se realizar aproximações de dados para obtenção de informações das placas de identificação (MARQUES, 2007).

Destaca-se que 55% da potência instalada de motores elétricos se refere aos três principais do sistema de bombeamento. Assim como 44% da potência instalada de iluminação se refere ao sistema de iluminação da área de ensaios e oficina. Portanto, somadas as potências destas duas cargas sem tem 44,7% de toda potência instalada da edificação.

Apesar do grande número de computadores, apenas em casos muito específicos todos são utilizados simultaneamente. Os aparelhos de ar condicionado são cargas com utilização sazonal e que envolvem parâmetros como questões de conforto térmico e infraestrutura. Os demais motores são de pequenos modelos experimentais e com baixa potência. As cargas da categoria “outros” são ferramentas e equipamentos com uso eventual. Portanto, por estes motivos optou-se por não analisar estas cargas e conduzir o estudo às cargas com maior uso ou consumo de energia, neste caso os motores elétricos do sistema de bombeamento e o sistema de iluminação da área de ensaios.

Após o levantamento da potência instalada identificaram-se os pontos onde seriam realizadas as medições de energia elétrica e outras grandezas. O Quadro 2 apresenta algumas informações sobre esta etapa.

Quadro 2 - Equipamentos utilizados no diagnóstico energético

Equipamento	Grandeza Medida	Marca/Modelo	Localização	Objetivo
Analizador de Energia 1 e 2	Parâmetros Elétricos	HIOKI – 3197 Exatidão: 0,3% FE	QGBT, motores e lâmpadas	Caracterizar consumo de energia elétrica
Medidor de Vazão	Vazão Volumétrica	INCONTROL VMF Exatidão: 5% FE	Tubulação de recalque do bombeamento	Determinar a curva das bombas
Manômetro Eletrônico	Pressão	LAMON DMP-01 Exatidão:0,1% FE	Sucção e recalque das bombas	Determinar a curva das bombas
Câmera Termográfica	Temperatura	FLUKE – Ti 90 Exatidão: ± 2 °C	Motores e bombas	Termografia dos equipamentos

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para determinar o consumo de energia da edificação e obter dados suficientes para elaboração do diagnóstico, optou-se por instalar um analisador de energia elétrica de forma permanente no QGBT da edificação. Esse equipamento pode apresentar até 35 variáveis relacionadas à qualidade de energia elétrica por meio da medição de corrente e tensão no barramento do quadro. A Figura 6 apresenta o momento da instalação do analisador de energia no QGBT.

Figura 6 - Instalação do analisador de qualidade de energia elétrica no QGBT



Fonte: Elaborado pelo autor.

O equipamento foi configurado para coletar dados com intervalo de cinco minutos e armazená-los na sua memória interna, portanto, a cada dez dias aproximadamente foi necessário fazer o descarregamento dos dados através do software fornecido pelo fabricante. Salienta-se que o analisador de energia coletou dados de maneira contínua entre os dias 01/11/2018 e 31/05/2019. Destaca-se também, que a partir do QGBT são derivados todos os circuitos de distribuição da instalação elétrica do pavilhão. O diagrama elétrico com maior detalhamento do QGBT está apresentado no ANEXO A.

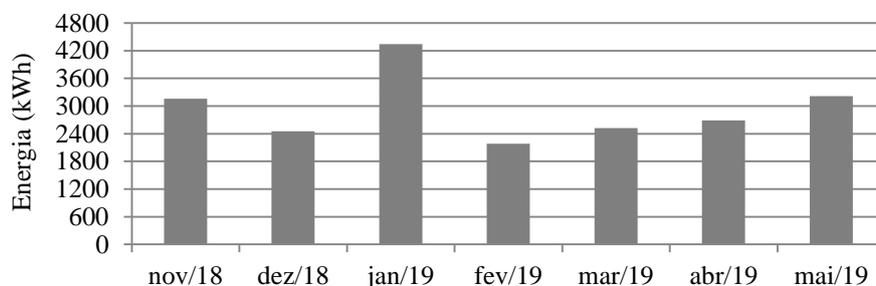
4 CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO

A partir dos dados coletados pelo analisador de energia foi possível obter o consumo diário e mensal de energia elétrica, os valores de demanda, o consumo de energia reativa, o fator de potência e alguns fatores que caracterizam como a energia elétrica é consumida na edificação, estes resultados estão apresentados nas próximas seções.

4.1 Consumo de Energia Ativa

O consumo de energia ativa é o mais significativo entre todos os parâmetros, pois representa o valor mais expressivo na fatura de energia elétrica de uma instalação. A Figura 7 apresenta os valores de consumo ativo total durante os meses em que os dados foram coletados.

Figura 7 – Consumo mensal de energia obtido com o analisador

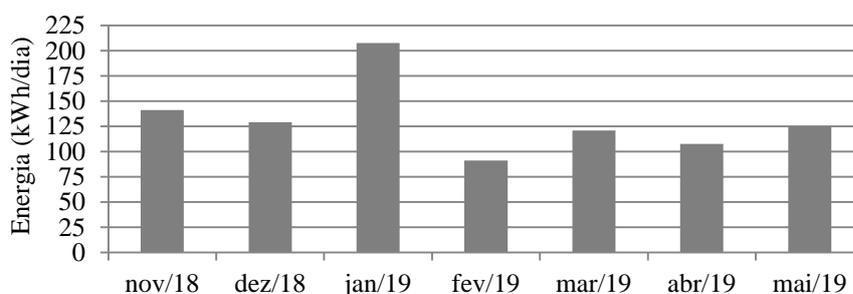


Fonte: Elaborado pelo autor

Em janeiro, verifica-se o maior consumo do período de análise, pois neste mês houve um aumento do tempo de permanência de pessoas na edificação, além de ser um mês com altas temperaturas, implicando em grande utilização de aparelhos de ar condicionado. No entanto o fator que mais influenciou o alto consumo foi a utilização do sistema de bombeamento em 17 dias, dos 19 dias úteis de trabalho. Tratou-se de um mês atípico, pois foi o período em que se concentrou o maior número de ensaios experimentais de um dos projetos de pesquisa, e isso fica evidenciado no consumo dos outros meses. Já em fevereiro se deu o menor consumo do período de análises, pois a Reitoria determinou expediente reduzido em todas as unidades da UFRGS, sendo o mesmo de 07h30min até 13h30min.

Destaca-se também que em dezembro, janeiro e março houveram semanas de recesso devido às festas de fim de ano e carnaval, impossibilitando a comparação direta do consumo mensal entre os meses analisados. Desta forma, a Figura 8 apresenta o consumo médio diário considerando apenas os dias em que houve circulação de pessoas na edificação.

Figura 8 – Consumo médio diário (considerando apenas dias úteis)

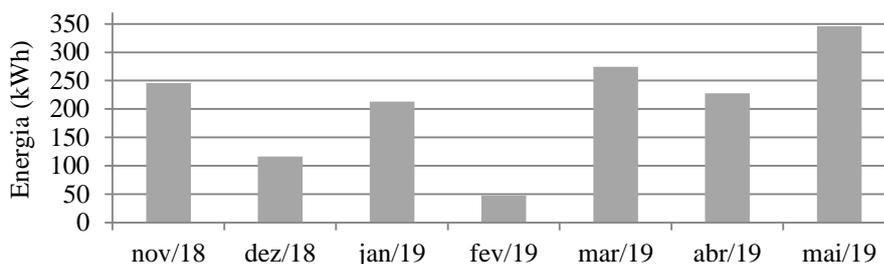


Fonte: Elaborado pelo autor

Desta forma são eliminadas as interferências dos recessos e verifica-se que os patamares de consumo ficam mais similares uns aos outros. Porém, mais do que recessos, questões climáticas ou ocupação da edificação, foi possível observar que o principal fator que influencia no consumo de energia é a quantidade de acionamentos e o tempo de uso dos CMB mensalmente. Verificou-se que o consumo médio diário em dias com acionamento dos CMB é 34% maior que em dias sem acionamento.

Outro aspecto importante da utilização de energia elétrica em uma instalação com grande porte é o consumo no horário de ponta. A CEEE estabelece este período sendo das 18h00min às 21h00min nos meses sem horário de verão e postergado em uma hora neste período (neste caso de 04/11/2018 à 16/02/2019). A Figura 9 apresenta a parcela do consumo ativo total no período da ponta para os meses analisados.

Figura 9 – Consumo de energia ativa no horário de ponta



Fonte: Elaborado pelo autor

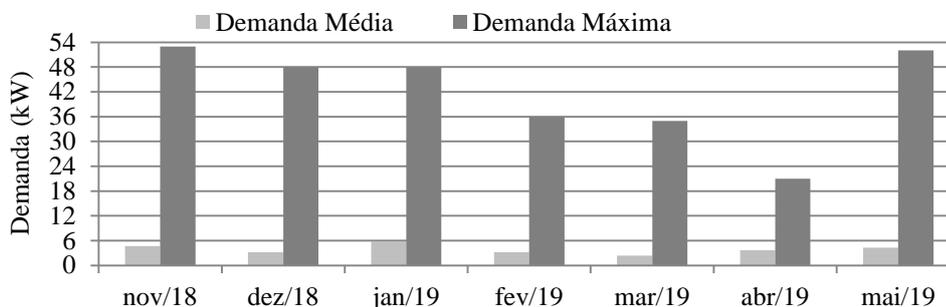
Em média o consumo na ponta não é tão representativo, uma vez que neste período a edificação está fechada, sendo o consumo predominante da iluminação externa.

Segundo a Superintendência de Infraestrutura (SUINFRA) da UFRGS o consumo no horário de ponta e fora de ponta do Campus do Vale no mês de janeiro de 2019 foi de respectivamente 89.703 kWh e 1.227.924 kWh. Por sua vez, o consumo do pavilhão no mesmo mês, representou 0,34% do consumo total do Campus no horário fora da ponta e 0,24% do consumo total no horário de ponta, ou seja, mesmo com cargas de potência relevante o consumo da edificação tem pouca representatividade no consumo total do campus.

4.2 Demanda

Uma avaliação importante na caracterização do consumo de energia se dá através do registro das demandas máximas e médias ao longo do ano na instalação, a Figura 10 apresenta os valores registrados durante os meses analisados.

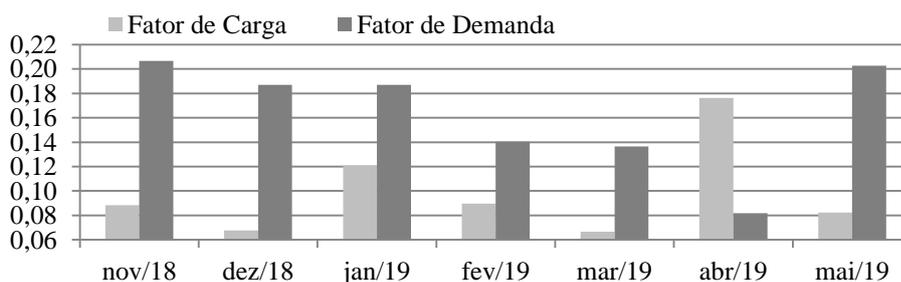
Figura 10 - Demandas médias e máximas registradas mensalmente com o analisador de energia



Fonte: Elaborado pelo autor

É possível notar como as altas demandas ocorrem pontualmente, uma vez que todos os meses a demanda média é significativamente menor que a demanda máxima registrada. Este é um fato particular da instalação e pode ser representado também através do Fator de Carga e Fator de Demanda, calculados mensalmente através das Equações (7) e (6) e apresentados na Figura 11.

Figura 11 - Fator de carga e fator de demanda



Fonte: Elaborado pelo autor

O *FD* mostra que apesar de uma grande densidade de carga no prédio e mesmo em meses de alto consumo se utiliza em torno de 20% da potência instalada da edificação. Já o *FC* evidencia como a demanda média é distante da demanda máxima, pelo fato dos acionamentos dos motores elétricos serem pontuais e de duração de poucas horas. É possível notar uma inversão de grandeza de valores de *FD* e *FC* em abril, pois neste mês ocorreu a menor demanda máxima registrada, ocasionando uma demanda média mais próxima da demanda máxima, e consequentemente elevando a razão entre as mesmas.

Segundo a SUINFRA, a demanda máxima no horário de ponta e fora de ponta do Campus do Vale no ano de 2018 foi em média de 2.375 kW e 4.289 kW respectivamente. Já para o pavilhão, durante os meses analisados, registrou-se uma média de 17 kW no horário de ponta e 42 kW no horário fora de ponta. Portanto, é possível estimar que o pavilhão tenha em média uma representação de 0,39% na demanda de horário de ponta e 0,98% na demanda do horário de fora de ponta de todo o Campus do Vale, desta forma evidenciando como a edificação acaba tendo pouca influencia no consumo global.

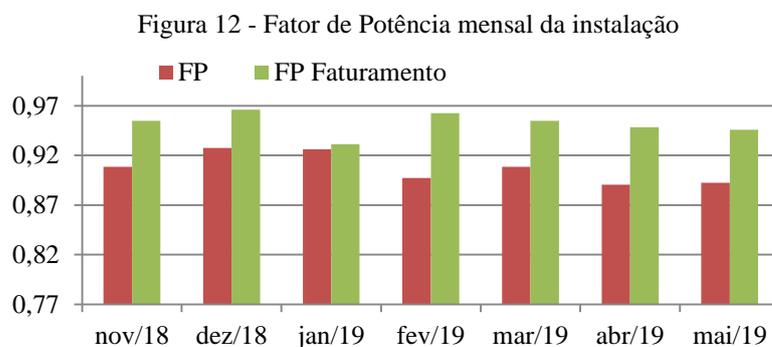
4.3 Fator de Potência

Como a edificação é apenas uma parte de um sistema elétrico e não possui faturamento mensal de energia, existem duas abordagens que podem ser feitas quanto ao fator de potência.

Na primeira, considerando a metodologia de medição estabelecida na Resolução Normativa Nº 414/2010 elaborada pela Agência Reguladora de Energia Elétrica (ANEEL), que indica que a distribuidora de energia elétrica deve realizar a medição de energia reativa capacitiva durante seis horas consecutivas do período das 23h30min às 06h30min, restringindo o resto do dia a medição de energia reativa indutiva. Neste caso, desconsideram-se as distorções harmônicas e o fator de potência é calculado através da Equação (2).

Na segunda abordagem contabiliza-se o fator de potência de maneira horária, independente de sua característica (capacitiva ou indutiva), ademais se considera as distorções harmônicas e seu valor é obtido através da Equação (5).

A Figura 12 apresenta os resultados encontrados para elaboração do fator de potência para cada abordagem citada acima, sendo o “FP” (colunas vermelhas) obtido na primeira abordagem com a Equação (2). Já o “FP Faturamento” (colunas verdes) foi elaborado através da segunda abordagem e calculado através da Equação (5).



Fonte: Elaborado pelo autor

Foi possível verificar que durante o dia, com o acionamento dos motores elétricos há uma parcela de energia reativa indutiva que circula na rede, no entanto, identificou-se também, que as lâmpadas LED do sistema de iluminação contribuem fortemente com uma parcela de energia reativa capacitiva. Desta forma o fator de potência alterna de capacitivo para indutivo durante o dia, dependendo da carga acionada.

Portanto, verifica-se que o fator de potência elaborado considerando as restrições horárias de medição acaba ficando superestimado, pois na maior parte do dia, as principais cargas acionadas, são as lâmpadas LED, tornando o FP total da instalação capacitivo, e, portanto não sendo contabilizado. É possível verificar que nesta situação em nenhum dos meses haveria violação do valor de referência de 0,92 estabelecido pela ANEEL.

Por outro lado o fator de potência obtido na segunda abordagem, que considera as distorções harmônicas totais do sinal de corrente, registradas pelo analisador de energia e contabilizado de maneira horária independente de sua característica (indutiva ou capacitiva), apresenta um valor mais próximo da

realidade, e evidencia que de fato há grande parcela de energia reativa que circula na instalação, independente de sua natureza.

No entanto, na prática, ocorre que o reativo capacitivo injetado na rede ao longo do dia acaba se diluindo em todo “barramento” do Campus do Vale, o que de fato é positivo, pois auxilia na elevação do FP de toda instalação do Campus.

4.4 Estimativa de Custo Mensal da Energia Elétrica

Optou-se por estimar o custo mensal de energia elétrica na edificação considerando apenas o consumo de energia ativa no horário de ponta e fora da ponta, pois como o prédio representa apenas uma parcela do consumo de todo o Campus, não teria sentido prático nas condições atuais quantificar o consumo excedente de reativos e a contribuição para as demandas máximas e ultrapassagens. A composição final do custo adotada é dada pela seguinte expressão:

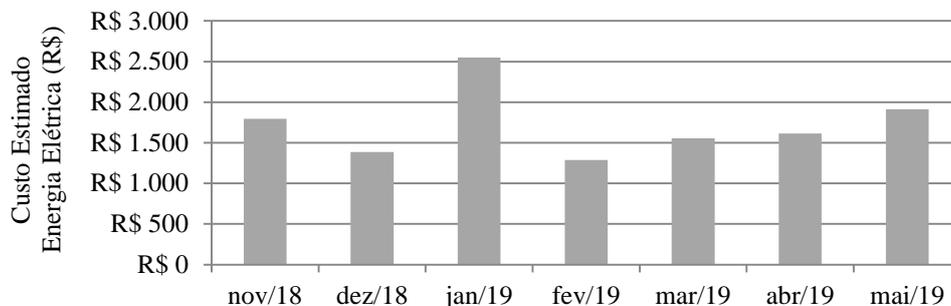
$$Custo\ Final\ [R\$] = \frac{\left(E_P \times \frac{R\$}{kWh_p} + E_{FP} \times \frac{R\$}{kWh_{fp}} \right)}{(1 - ICMS - PIS - COFINS)} \quad (15)$$

onde:

- E_P - valor mensal de energia consumida no horário de ponta [kWh];
- E_{FP} - valor mensal de energia consumida no horário fora de ponta [kWh];
- $R\$/kWh_{fp}$ - valor da tarifa da energia elétrica no horário fora de ponta;
- $R\$/kWh_p$ - valor da tarifa da energia elétrica no horário de ponta;
- $ICMS, PIS e COFINS$ - impostos mensais aplicados de acordo com o mês vigente.

Adotaram-se os valores de tarifas e impostos aplicados pela CEEE na modalidade tarifária azul do subgrupo A3, apresentados no ANEXO B. A Figura 13 apresenta os valores finais calculados utilizando a Equação (15).

Figura 13 - Custo estimado com energia elétrica na edificação



Fonte: Elaborado pelo autor

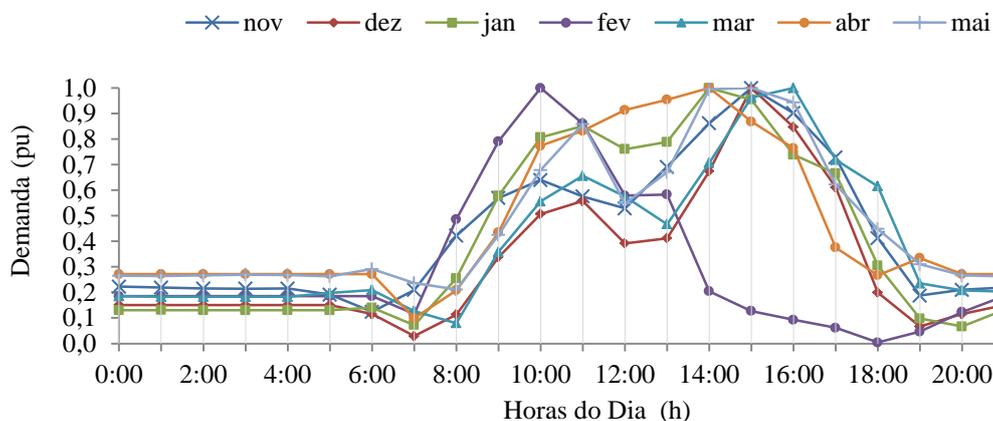
Uma vez que a potência instalada da edificação é alta, seria plausível em uma primeira análise esperar também um custo elevado de energia, no entanto os grandes consumos são pontuais, o que resulta em um custo mensal relativamente baixo se comparado à densidade de carga no local. Para o mês de janeiro, o acionamento dos CMB em praticamente todos os dias, teve reflexo no custo mais elevado dos meses analisados, porém se tratou de um mês atípico. Já a redução de expediente proposta pela reitoria em fevereiro, surgiu efeito, pois foi o mês com menor custo estimado de energia.

4.5 Curvas de Carga

Durante as análises foram identificados três dias típicos de consumo da edificação: (1) dias com ensaio experimental (quando pelo menos um dos CMB do sistema de bombeamento é acionado); (2) dias sem ensaio experimental (quando não é acionado nenhum dos três CMB principais) e (3) fins de semana, feriados ou recesso (quando não há circulação de pessoas na edificação). Portanto, como forma de melhorar a visualização do comportamento da carga ao longo do dia e durante os meses, optou-se por

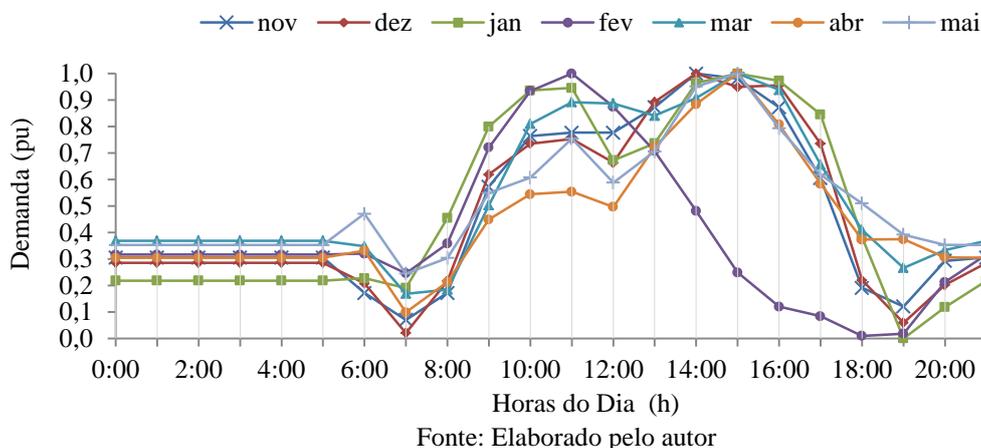
elaborar curvas com as médias horárias para cada um dos dias típicos citados anteriormente. Destaca-se que esta análise tem caráter qualitativo, com o objetivo de visualizar o comportamento da carga e, portanto os valores estão adimensionalizados em função da demanda máxima diária. A Figura 14 apresenta as curvas médias para os dias com ensaio experimental, ou seja, utilizando o sistema de bombeamento.

Figura 14 - Curvas de carga dos dias com acionamento dos CMB



Nota-se, que há certo padrão de comportamento, pois o pico de consumo é sempre no horário da tarde por voltas da 15h00min, exceto para o mês de fevereiro em que o expediente foi reduzido. Também é possível notar o consumo elevado do mês de janeiro, no qual foram realizados ensaios experimentais em praticamente todos os dias de trabalho. A Figura 15 apresenta as curvas médias mensais para os dias sem ensaio experimental utilizando os conjuntos motobomba.

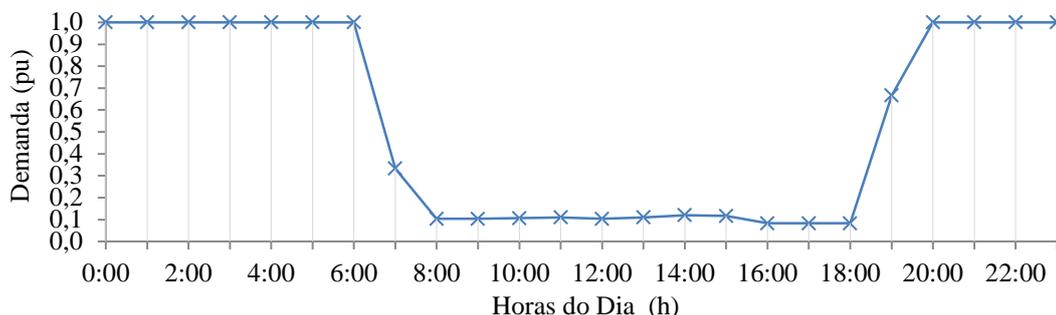
Figura 15 - Curvas de carga dos dias sem acionamento dos CMB



Nesta análise o padrão fica ainda mais evidente e se verifica de maneira muito clara a diferença do comportamento da carga em dias com ensaio e dias sem ensaio. Nos dias sem acionamento dos CMB as curvas são mais regulares entre si, alterando-se apenas na amplitude. Verifica-se novamente que a curva referente ao mês de janeiro é mais elevada, pois se trata do mês com maior consumo. O efeito das altas temperaturas e da maior ocupação do prédio fica mais destacado, pois mesmo sem o acionamento dos CMB ela ainda fica mais acentuada em relação aos outros meses. Os picos em geral ainda permanecem no horário da tarde, por volta das 15h00min e 16h00min.

Os finais de semana, feriados e recessos tem o comportamento idêntico entre si, pois não há ocupação da edificação, portanto, optou-se por obter uma única curva de carga a partir das médias horárias de todos os sábados, domingos, feriados e dias de recesso da série de dados, apresentada na Figura 16.

Figura 16 – Curva de carga dos dias sem ocupação da edificação



Fonte: Elaborado pelo autor

Como não há circulação de pessoas no pavilhão, o consumo diário se restringe a algum equipamento que permaneceu acionado, e ao consumo da iluminação externa da edificação durante a noite e madrugada. A demanda média destes dias é de 1,43 kW e a demanda máxima registrada foi de 3,75 kW.

Evidentemente, as curvas apresentadas nas Figuras 14, 15 e 16 se tratam de uma aproximação sintetizada dos três dias típicos do funcionamento da edificação. No entanto, destaca-se que o comportamento do consumo também depende de fatores como dia da semana, período do ano, temperatura, eventos esportivos, culturais, políticos, entre outros.

5 AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO

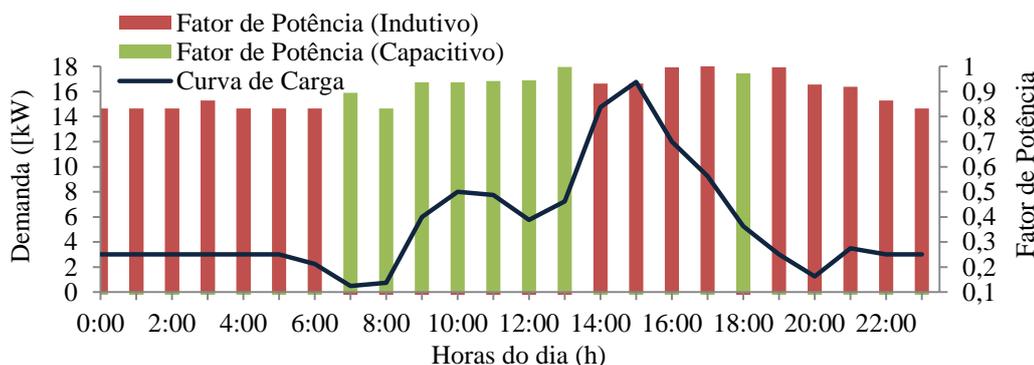
Nas próximas seções será discutido de forma mais ampla as condições de operação de duas das principais cargas da instalação, a iluminação e os conjuntos motobomba.

5.1 Iluminação Interna

O pavilhão possui 55 pontos de iluminação na área onde estão os modelos experimentais utilizados nos ensaios. Cada ponto tem duas luminárias com quatro lâmpadas LED tubulares de 120 cm e 20 W cada, totalizando 220 lâmpadas com uma potência instalada de iluminação de 4,4 kW. Destaca-se que esse sistema de iluminação foi reformado em 2017, pois até então, em cada ponto havia uma lâmpada mista de 500 W, totalizando uma potência instalada de 27,5 kW. A reforma ocasionou uma redução de 84% da potência instalada do sistema, além do ganho na qualidade da iluminação e economia significativa de energia.

Durante as análises das curvas de carga em conjunto do fator de potência horário, verificou-se que quando o sistema de iluminação é a principal carga acionada na edificação, o FP da instalação se torna capacitivo, já quando os CMB são acionados, o mesmo passa a ser indutivo. A Figura 17 ilustra este comportamento, onde estão apresentadas a variação do FP e a curva de carga do dia 07/01/2019, quando houve acionamento de pelo menos um CMB.

Figura 17 - Curva de carga e comportamento do fator de potência no dia 07/01/2019



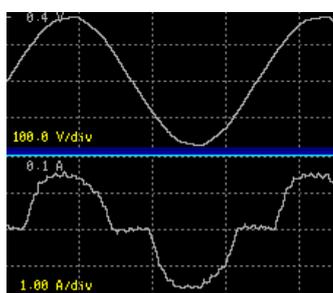
Fonte: Elaborado pelo autor

Enquanto apenas o sistema de iluminação com as lâmpadas LED e outras cargas leves como computadores e itens de escritório estavam acionadas, o fator de potência registrado pelo analisador de energia instalado no QGBT era capacitivo, já no momento que um dos motores é acionado, por volta das 13h00min, a demanda cresce e o fator de potência se torna indutivo.

Outro fato verificado foi que o nível das distorções harmônicas do sinal de corrente (DHT_i), no momento em que as cargas principais acionadas do pavilhão são as lâmpadas LED, são da ordem de 19,3%, 28% e 18,2% na fase R, S e T respectivamente. Então, para verificar a real influência do sistema de iluminação LED no FP e nas distorções harmônicas da instalação foram realizados dois ensaios com as marcas de lâmpadas presentes no sistema.

O ensaio consistiu em montar um conjunto de oito lâmpadas em paralelo alimentadas com fase e neutro da rede, e instalar um analisador de energia na entrada do circuito, deste modo seria possível analisar o comportamento específico das lâmpadas isoladas de toda a instalação do pavilhão. A Figura 18 apresenta o sinal de tensão e corrente, registrados para marca “A”.

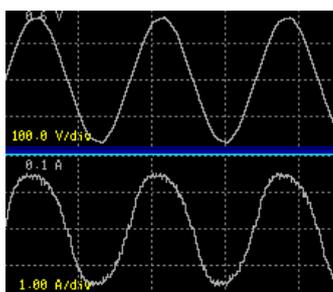
Figura 18 - Sinal de tensão (superior) e corrente (inferior) durante ensaio com lâmpadas da marca “A”



Fonte: Elaborado pelo autor

Para esta situação, o analisador registrou DHT_i da ordem de 28% e valores de potência reativa de 40 var capacitivo, com FP de 0,93 capacitivo, mostrando que de fato estas lâmpadas atribuem característica capacitiva ao sistema. Para verificar o comportamento de operação das lâmpadas da Marca “B”, o mesmo ensaio foi realizado, os resultados encontrados são apresentados na Figura 19.

Figura 19 - Sinal de tensão (superior) e corrente (inferior) durante ensaio com lâmpadas da marca “B”



Fonte: Elaborado pelo autor

Para este caso verificou-se DHT_i da ordem de 9,8%, menos da metade da encontrada para as lâmpadas da Marca “A”. Assim como a potência reativa registrada foi de 20 var capacitiva, resultando em um FP de 0,96 também capacitivo, além da visível redução da degradação do sinal de corrente.

A IEC 61000-3-2 – *Electromagnetic compatibility (EMC) - Limits for harmonic current emissions* - estabelece que equipamentos de iluminação com potência de 20 W e corrente de fase menor que 16 A, devem possuir valores de corrente harmônica de ordem 3 e 5, menores que 0,068 A e 0,038 A, respectivamente. Nos ensaios realizados as lâmpadas da marca “A” apresentaram correntes harmônicas de ordem 3 e 5, de 0,02625 A e 0,01875 A, respectivamente. Já as lâmpadas da marca “B” apresentaram correntes harmônicas de ordem 3 e 5 de 0,01125 A e 0,00125 A. Portanto ambas as marcas estariam dentro dos limites estabelecidos. Porém, foi possível confirmar que de fato estas lâmpadas adicionam conteúdo harmônico à instalação elétrica e contribuem para tornar o fator de potência capacitivo.

Outro efeito da presença das distorções harmônicas é o surgimento de corrente no condutor neutro. Em circuitos desequilibrados na carga com presença de distorções harmônicas no sinal de

corrente, é normal que surja uma corrente no neutro, que em tese, deve ser bem menor que a corrente individual em cada fase. Neste tipo de circuito, os múltiplos ímpares da terceira harmônica não se anulam, mas se somam e surgem como uma corrente neste condutor. Para o caso da edificação, além de outros equipamentos eletrônicos, há as 220 lâmpadas que se caracterizam como uma carga monofásica não linear, agravando o efeito.

Os dados apresentados no Quadro 3 são as correntes harmônicas de ordem ímpar das três fases, medidas no analisador de energia instalado no QGBT da edificação.

Quadro 3 – Correntes harmônicas medidas nas três fases no QGBT da instalação

Ordem Harmônica	Corrente Eficaz de Fase (A)		
	Fase R	Fase S	Fase T
1	21	16	26
3	4	3	5
5	2	2	4
7	1	1	3
9	1	1	2
11	1	1	2

Fonte: Elaborado pelo autor

Estes dados foram coletados às 15h00min (geralmente o pico de consumo) onde todo o sistema de iluminação com lâmpadas LED estava acionado e não havia nenhum motor em operação. Para essa condição a corrente medida no neutro foi de 16 A, exatamente a soma das componentes harmônicas de ordem ímpar e múltiplas de três, apresentadas no Quadro 3, neste caso evidenciando como as distorções harmônicas geradas pela iluminação e por outros equipamentos estão causando um surgimento da corrente do neutro. Destaca-se que esta corrente é 76,19% da corrente fundamental da fase R, é idêntica a corrente da fundamental para fase S e 61,53% do valor da fundamental da fase T. Destaca-se a importância de se monitorar estes valores, uma vez que pode haver violação da corrente máxima admitida pelo cabeamento dos circuitos, aquecimento dos condutores, aumento das perdas e queda de tensão. Além do fato que esta corrente circula no transformador externo do pavilhão causando aquecimento e perdas mais elevadas. Uma possível mitigação deste problema seria a instalação de filtros de harmônicos no circuito de iluminação.

5.2 Bombas Hidráulicas

As principais perdas que influenciam na queda de rendimento de uma bomba hidráulica, são as mecânicas, hidráulicas e volumétricas (MACINTYRE, 1987). As perdas mecânicas englobam as perdas por atrito, que causam aquecimento dos componentes dissipando parte da energia em calor.

A primeira análise realizada no sistema de bombeamento foi a verificação da temperatura dos componentes das bombas em duas condições de operação. Na primeira, com ponto de operação próximo ao de maior rendimento e na segunda com as bombas operando em um ponto de baixo rendimento. Estes pontos foram obtidos através dos catálogos das mesmas, que estão apresentados no ANEXO C, D e E.

O Quadro 4 apresenta os dados coletados, sendo que as temperaturas foram medidas utilizando a câmara termográfica com características apresentadas no Quadro 1.

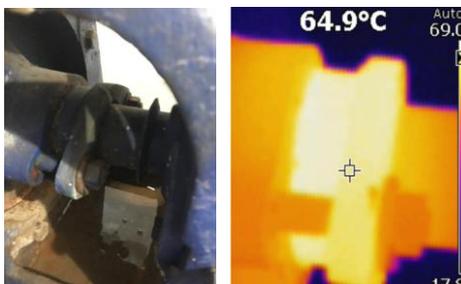
Quadro 4 – Temperatura de operação dos componentes das bombas em (°C)

Bomba	Condição de Alto Rendimento			Condição de Baixo Rendimento		
	Carcaça	Mancal		Carcaça	Mancal	
		Lado Acoplamento	Lado Caixa de Gaxetas		Lado Acoplamento	Lado Caixa de Gaxetas
CMB1	27,4	42,3	39,3	27,2	40,1	42,5
CMB2	25,6	32,4	27,3	25,1	35,0	30,3
CMB3	23,2	29,2	54,4	24,2	37,3	64,9

Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo Mattos (1998), os mancais de bombas hidráulicas não devem exceder a temperatura de operação de 65°C. No entanto, verificou-se que a bomba do CMB3, operando na condição de baixo rendimento, apresentou uma temperatura de 64,9 °C no mancal próximo a caixa de gaxetas, como apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Rolamento da bomba CMB3 com temperatura crítica



Fonte: Elaborado pelo autor

O valor é praticamente o limite recomendado na literatura e possivelmente a causa desta elevação de temperatura está ligada à má lubrificação da região. Mattos (1998) recomenda que o mancal da caixa de gaxetas tenha gotejamento de 30 a 60 gotas por minuto, auxiliando no resfriamento do rolamento, no entanto, este gotejamento não foi verificado.

A temperatura da carcaça está diretamente relacionada com a temperatura do fluido bombeado, neste caso, água a temperatura ambiente, portanto admite-se que os valores encontrados em ambas as situações estão dentro da normalidade. Ademais, indica-se que para essa classe de bombas são admitidas temperaturas de fluido de trabalho de até 80°C (KSB, 2013).

A outra análise realizada nas bombas hidráulicas foi verificar se as mesmas estão operando de maneira similar às condições originais de fabricação, para isto, optou-se por determinar experimentalmente as suas curvas características. Portanto foi necessário determinar os dados de pressão no recalque e na sucção da bomba, além da vazão bombeada pela mesma. Os equipamentos utilizados estão especificados no Quadro 1. Foram coletados seis pontos de operação e a altura manométrica foi obtida através da Equação (8).

A partir da obtenção da curva característica da bomba é possível realizar uma análise comparativa com a curva fornecida pelo fabricante, pois ao longo dos anos é natural que ocorra um desgaste dos componentes, ocasionando redução de capacidade da bomba e conseqüentemente a alteração de sua curva característica.

Nos catálogos de bombas, além das curvas características é possível verificar as curvas de isorendimento, que apresentam os rendimentos comuns para curvas de diferentes diâmetros de rotores e condições de bombeamento. Uma das premissas de projetos de sistemas de bombeamento de água é que a bomba escolhida opere próximo do seu ponto de máximo rendimento. No entanto os CMB da edificação não atendem uma condição fixa de bombeamento, uma vez que abastecem diferentes modelos através de diferentes configurações que podem ser estabelecidas nas tubulações, além de operarem em diferentes rotações devido o acionamento com inversor de frequência, portanto os rendimentos de operação se alteram constantemente. Deste modo, optou-se por determinar as curvas características e analisar os rendimentos máximos para a condição nominal, tendo em vista que condições diferentes, possivelmente vão possuir rendimentos menores.

A primeira bomba analisada foi a pertencente ao CMB1 conectada ao motor de 75 CV, esta bomba tem rotação nominal de 1770 rpm, no entanto o motor está limitado à uma velocidade de 1600 rpm, sendo que este parâmetro está configurado no inversor de frequência. Logo, foi necessário corrigir os valores obtidos de H_m e Q , obtendo os correspondentes na condição de rotação nominal através das leis de similaridade apresentadas nas Equações (16) e (17).

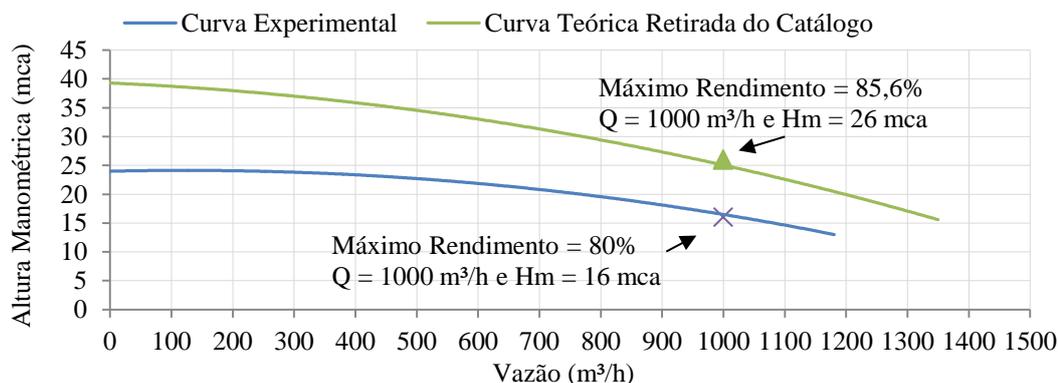
$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad \frac{H_2}{H_1} = \frac{N_2^2}{N_1^2} \quad (16 - 17)$$

onde:

Q_2 e Q_1 - vazões na condição 1 e 2 [m^3/s];
 N_2 e N_1 - rotações nas condições 1 e 2 [rpm];
 H_2 e H_1 - alturas manométricas na condição 1 e 2 [mca].

A Figura 21 apresenta a curva teórica e a curva obtida experimentalmente para a bomba do CMB1.

Figura 21 - Curvas características da bomba hidráulica pertencente ao CMB 1



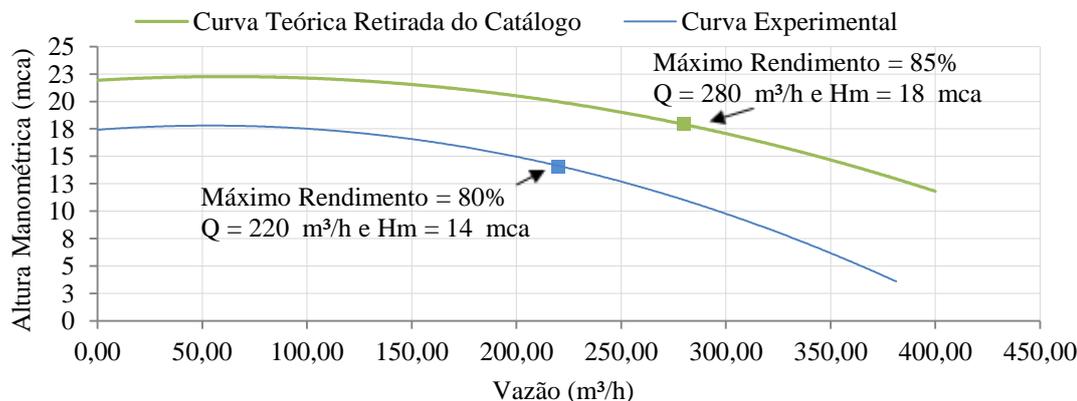
Fonte: Elaborado pelo autor

Verifica-se que visivelmente a bomba opera abaixo de sua condição de nominal e através das curvas de isorendimento foi possível identificar que o ponto máximo passou de 85,6% na condição original para 80% na condição atual.

Utilizando a Equação (10) verificou-se que para atender o ponto de máximo rendimento da curva original, seria necessária uma potência no eixo da ordem de 107 CV, no entanto o motor acoplado na bomba tem potência de 75 CV. Portanto, além do desgaste natural do rotor e demais componentes, um dos motivos da curva real estar abaixo da curva teórica se deve a potência no eixo, fornecida pelo motor, ser menor que a necessária, fazendo com que a bomba não opere com sua capacidade nominal. No ponto de máximo rendimento da curva experimental a potência no eixo é da ordem de 73 CV que é aproximadamente a potência do motor acoplado à mesma.

A Figura 22 apresenta os resultados obtidos para o ensaio realizado com a bomba pertencente ao CMB2, conectada ao motor de 25 CV.

Figura 22 - Curvas características da bomba hidráulica pertencente ao CMB 2



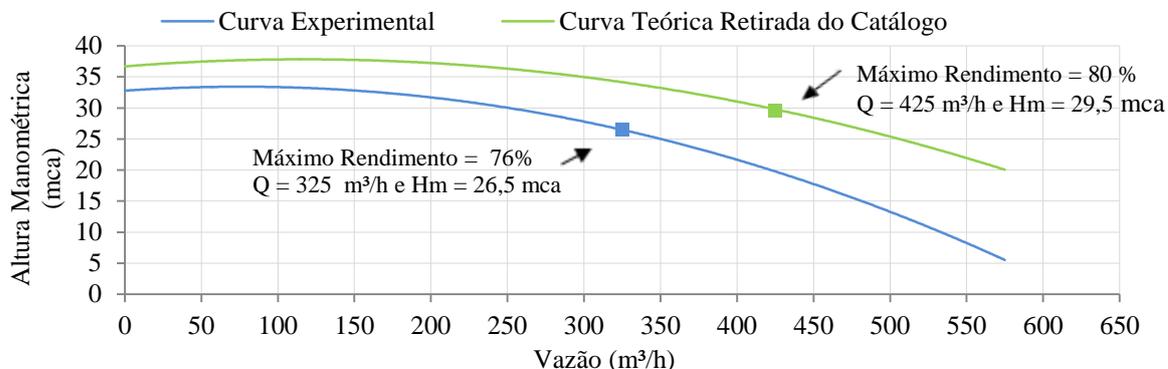
Fonte: Elaborado pelo autor

Essa bomba também apresenta desgaste uma vez que a curva experimental está deslocada da curva do catálogo. Verifica-se que neste caso o rendimento máximo atingível também passou de 85% para 80%. No ponto de rendimento máximo para a curva original, calculou-se uma potência no eixo de em torno de 22 CV, que é compatível com o motor de 25 CV. No entanto na condição atual a potência no

eixo passou a ser de 14 CV, fazendo com que para esta situação e demais pontos de operação, o motor esteja trabalhando bem abaixo de sua condição nominal.

A Figura 23 apresenta os resultados obtidos para o ensaio realizado com a bomba pertencente ao CMB3, conectada ao motor de 50 CV.

Figura 23 - Curvas características da bomba hidráulica pertencente ao CMB 3



Fonte: Elaborado pelo autor

Verifica-se que esta bomba opera em condições um pouco mais próximas das nominais, o ponto de máximo rendimento passou de 80% nas condições originais para 76% nas condições atuais. Já a potência no eixo no ponto de máximo rendimento das condições originais era de 58 CV, um pouco acima da potência do motor. No entanto nas condições originais, no ponto de máximo rendimento necessita-se de uma potência no eixo de 42 CV. Desta forma, é possível verificar que o motor está compatível com a bomba hidráulica uma vez que os valores oscilam em torno de 50 CV.

5.3 Motores de Indução Trifásicos

Dentre as diversas análises e ensaios que podem ser realizados para avaliar o funcionamento de um motor de indução trifásico, optou-se por analisar a temperatura de operação dos componentes e o carregamento do motor. Os dados de placa dos motores analisados estão apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Dados de placa dos motores dos conjuntos motobomba

Equipamento	Potência (CV)	Rotação Nominal (RPM)	Fator de Potência	Tensão (V)	Rendimento (%)	Corrente Nominal (A)	Classe de Isolamento
Motor CMB1	75	1770	0,87	220	94,4	175	F
Motor CMB2	25	1160	0,77	220	92,2	67,5	B
Motor CMB3	50	1770	-	220	-	120	F

Fonte: Elaborado pelo autor

Como o motor do CMB3 é uma máquina antiga, a placa se encontra danificada impossibilitando a verificação dos valores de FP e rendimento, também não foi possível obter o catálogo online.

A primeira análise realizada dos motores diz respeito à temperatura de operação. Tendo em vista que todos são acionados por inversores de frequência, e, portanto operam com diferentes rotações e variadas condições de carga no eixo, não seria possível verificar a condição de operação para cada situação de bombeamento.

Portanto, optou-se por realizar um ensaio de temperatura dos componentes nas mesmas condições utilizadas no ensaio das bombas hidráulicas, ou seja, em uma situação com o conjunto motobomba operando próximo do rendimento elevado e outro ponto operando com baixo rendimento, o Quadro 6 apresenta os dados encontrados.

Quadro 6 – Temperatura em (°C) de operação dos motores elétricos

Equipamento	Condição de Rendimento Ótimo			Condição de Rendimento Baixo		
	Carcaça Motor	Rolamento Motor	Acoplamento	Carcaça Motor	Rolamento Motor	Acoplamento
Motor CMB1	35,6	35,7	22,6	22,7	22,3	22,8
Motor CMB2	26,6	29,6	22,9	32,8	34,6	23,9
Motor CMB3	23,8	22,8	22,4	28,8	29,8	23,5

Fonte: Elaborado pelo autor

Tomando como base a classe de isolamento dos motores, verifica-se que as temperaturas das carcaças não estão próximas dos valores de referência determinados pela norma ABNT NBR 7094, que estabelece temperaturas de motores com Classe B de 130°C e Classe F de 155°C. Destaca-se que existem ensaios padronizados de medição de temperatura em motores elétricos, que envolvem diversos parâmetros e considerações. Os ensaios realizados com a câmara termográfica são apenas amostrais e visam buscar anomalias de operação de maneira simplificada. Para a temperatura dos rolamentos, foi utilizado como referência o valor apresentado por (WEG, 2003), que recomenda temperatura máxima de 60°C para motores de indução trifásicos, valor que também não foi atingido.

A segunda análise realizada foi em relação ao carregamento e rendimentos dos motores, possibilitando avaliações de sobredimensionamento. Marques (2007) indica que se realize a análise de carregamento para a condição mais crítica em que os motores podem operar, portanto, optou-se por bombear água para o modelo experimental que exige os maiores valores de vazão e altura manométrica.

O ensaio foi realizado individualmente para cada motor operando na rotação nominal. Os valores de tensão e corrente foram obtidos através de um analisador de energia instalado no inversor do motor. A corrente em vazio dos motores dos CMB1 e CMB2 foi encontrada em catálogo, no entanto para o motor do CMB 3 foi necessário utilizar a Equação (12). A potência elétrica foi calculada através da Equação (14) e o fator de carregamento e o rendimento foram calculados utilizando a Equação (11) e (13) respectivamente. Os resultados encontrados estão apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 - Fator de Carregamento e Rendimento dos motores elétricos

Motor	Corrente a Vazio (A)	Corrente de Operação (A)	Corrente Nominal (A)	Tensão de Saída (V)	Fator de Potência	Potência Elétrica (kW)	FC (%)	Rendimento Motor (%)
CMB1	58	162	176	198	0,96	53,3	90,5	93,6
CMB2	34,64	49	67,55	210	0,83	17,89	63,5	70,8
CMB3	48,79	123	125	220	0,93	46,10	96,0	82,3

Fonte: Elaborado pelo autor

É necessário ressaltar que o motor do CMB1 não está operando com rotação máxima, devido uma parametrização do inversor que bloqueia a velocidade de rotação em 1600 rpm. Porém mesmo assim, este motor opera com carregamento elevado e conseqüentemente com bom rendimento, no entanto, como visto anteriormente a bomba hidráulica acoplada ao mesmo poderia ser melhor utilizada caso este motor fosse capaz de fornecer maior potência no eixo.

Para o motor do CMB2 verifica-se um valor de FC de 63,5%, abaixo do valor de referência de 75%, fato que corrobora com a análise realizada de sua bomba hidráulica, que nas atuais condições para o ponto de máximo rendimento exigiria uma potência no eixo de 14 CV. Neste caso, verifica-se que o rendimento também sofre redução com o possível sobredimensionamento do motor, ficando em torno de 70%. Como visto anteriormente, a bomba do CMB3 é a que mais se aproxima das condições originais e isso se reflete no ensaio de seu motor, que apresenta FC elevado e rendimento razoavelmente alto, tendo em vista que se trata de uma máquina muito antiga.

Nota-se que os valores obtidos de rendimento e fator de carregamento se tratam de estimativas, no entanto estão em consonância com as análises realizadas para as bombas hidráulicas, mostrando que há potencial para redução de desperdícios, principalmente no CMB1 e CMB2, pois suas bombas podem ser compatibilizadas com motores que atendam as suas condições atuais.

Durante os ensaios para verificação do carregamento, foram também coletadas as distorções harmônicas totais do sinal de corrente para cada fase dos três motores, apresentadas no Quadro 8.

Quadro 8 - Distorções harmônicas totais no sinal de corrente dos motores elétricos

Equipamento	DHT _i Fase U (%)	DHT _i Fase V (%)	DHT _i Fase W (%)
Motor CMB1	29,4	30,6	29,6
Motor CMB2	120,9	125,7	127,9
Motor CMB3	33,5	34,1	31,6

Fonte: Elaborado pelo autor

Pelo fato dos motores serem acionados por inversores de frequência, de fato, espera-se distorções harmônicas elevadas. Nota-se que o motor do CMB2 possui as mais significativas e que se refletem no FP da máquina que fica da ordem de 0,83. Além do baixo FP, valores muito elevados de DHT_i podem ocasionar acionamentos não desejados de dispositivos de proteção, aquecimento dos enrolamentos e vibração nos motores. Este efeito pode ser mitigado com a instalação de uma reatância de rede na entrada do inversor do CMB2, que reduz o conteúdo harmônico e aumenta o fator de potência.

6 IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Como o pavilhão conta com duas faces de telhado com aproximadamente 1500 m² cada, se encontra em um ponto do Campus do Vale sem prédios que possam ocasionar sombreamento e está localizado em uma região com irradiação solar favorável para este tipo de empreendimento, optou-se por realizar uma análise prévia do potencial de geração e redução de custos que um sistema fotovoltaico acarretaria. Foram realizadas simulações utilizando o software Radiasol que a partir das coordenadas geográficas da edificação, da inclinação desejada dos módulos e do desvio azimutal em relação ao Norte, fornece dados de insolação média horária e mensal.

Segundo Pinho (2014), os módulos devem ser instalados com uma inclinação idêntica à latitude do local para o melhor aproveitamento da irradiação, portanto, adotou-se o valor de 30° como ideal. Também se recomenda que o SFV instalado no hemisfério sul seja voltado para o Norte, no entanto, as faces do telhado da edificação são voltadas para noroeste e sudeste. Desta forma, se adotou a face noroeste como a mais indicada para instalação dos módulos, fato que foi validado através do Radiasol, uma vez que os módulos da face noroeste recebem em média 4,4 kWh/m²/dia, enquanto na face sudeste 4,1 kWh/m²/dia. A Figura 24 apresenta a orientação da edificação e a identificação da face de telhado adotada para simulação de geração.

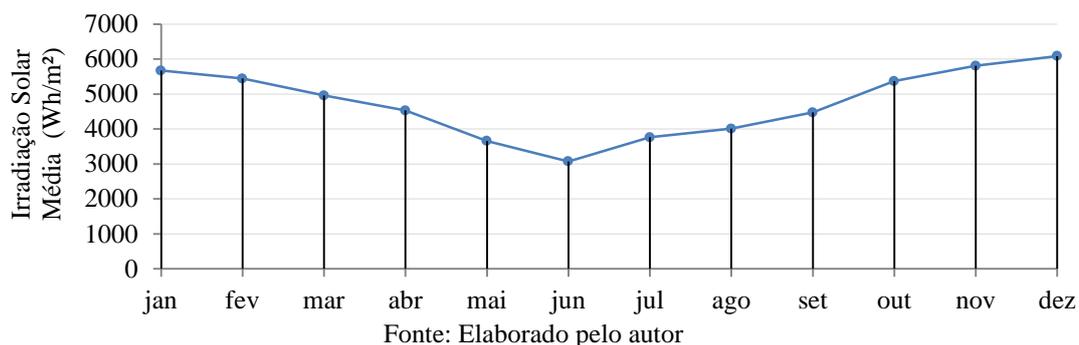
Figura 24 - Localização geográfica da edificação e indicação da face de telhado adotada



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 25 apresenta as médias mensais de insolação para as coordenadas geográficas da edificação, para uma inclinação de 30° e um desvio azimutal do norte de 76° para oeste. Verifica-se uma queda nos meses de outono e inverno, quando se tem menos horas de sol durante o dia.

Figura 25 – Irradiação solar média obtida com o Radiasol



Após quantificar a irradiação solar média mensal na localidade da edificação, é necessário determinar o consumo mensal de energia elétrica do prédio. Como foram realizadas medições apenas dos meses de novembro a maio, optou-se por considerar que o consumo de energia dos meses de junho, julho e agosto seria uma média do consumo medido dos meses de abril e maio, já os consumos de setembro e outubro seria uma média do consumo dos meses medidos de novembro e março. Apenas pelo fato de serem meses similares nas temperaturas e ocupação da edificação. Para quantificar a potência total de módulos utilizou-se a Equação (18).

$$P_{FV} [kW] = \frac{E \times G_{stc}}{TD \times H_{tot}} \quad (18)$$

onde:

E - consumo mensal de energia elétrica [kWh];

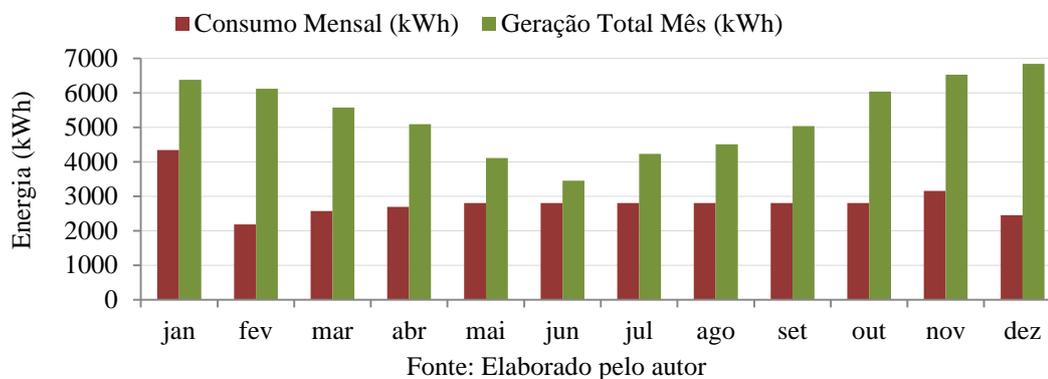
G_{stc} - irradiância padrão na qual são dadas as especificações dos módulos [1000 Wh/m²];

TD - taxa de desempenho [%];

H_{tot} - irradiação total no plano dos módulos [Wh/m²].

Então a partir dos valores mensais de irradiação total e consumo de energia, foi possível determinar o respectivo valor de P_{FV} , neste caso, foi adotado o valor de 40 kWp, o mais alto encontrado para todos os meses. Utilizando o valor de potência unitária de módulo comercial de 260 W, resulta-se em um total de 154 módulos para a instalação, a eficiência considerada do módulo foi de 16%, área de 1,6 m² e para taxa de desempenho (TD) foi utilizado o valor de 0,8. Multiplicando o número de módulos, pela área unitária, pela irradiação solar média mensal e pela eficiência do sistema foi possível estimar a previsão de geração mensal que está apresentada no gráfico da Figura 26.

Figura 26 - Consumo e geração estimada mensal de energia elétrica a partir do SFV



Verifica-se que há excedente de geração em todos os meses do ano, acarretando na eliminação do custo mensal fixo com energia elétrica na hipótese da instalação do sistema. Segundo (IDEAL, 2017) o custo da instalação de sistemas fotovoltaicos no Brasil em 2017 (incluindo estruturas, inversor e

cabeamento) foi da ordem de R\$ 6,00/Wp, logo, é possível estimar um investimento inicial da ordem de R\$ 234.780,00.

Como a geração excedente seria injetada no próprio sistema do Campus do Vale, estima-se uma economia anual da ordem de R\$ 25.000,00 a partir do custo evitado com energia elétrica. A partir destes valores, considerando que o investimento inicial seja proveniente de recurso público e que não seja necessário financiamento, o tempo de retorno seria de 9,5 anos. Evidentemente, este cálculo se trata de uma estimativa, onde foram desconsiderados parâmetros como custos de manutenção, substituição de equipamentos, entre outros. No entanto, verifica-se que há um grande potencial de geração, tendo em vista que a vida útil deste tipo de instalação é de 25 anos. Ademais, se utilizou apenas 8% da área total de telhado neste dimensionamento, caso a potência instalada fosse maior, a economia anual seria mais elevada ocasionando retorno financeiro extremamente significativo após a equalização do investimento inicial.

5 CONCLUSÕES

Através da medição de dados foi possível apresentar o consumo mensal de energia, determinar valores de demanda, fator de potência e elaborar curvas de carga para dias típicos, além de avaliar a operação de cargas relevantes da instalação.

O consumo de energia elétrica da edificação é fortemente influenciado pelo número de acionamentos e o tempo de uso dos CMB durante o mês. Sendo que em dias com acionamento, estima-se que em média haja um aumento de 34% no consumo diário. O pavilhão tem em média uma representação de 0,39% na demanda de horário de ponta e 0,98% na demanda do horário de fora de ponta de todo o Campus do Vale, evidenciando sua baixa participação no consumo global do Campus.

As lâmpadas LED do sistema de iluminação tornam o FP da instalação capacitivo quando são as maiores cargas acionadas, além disto, inserem conteúdo harmônico no sistema, contribuindo para surgimento de corrente no neutro.

O motor do CMB1 pode operar com rendimento e carregamento da ordem de 93% e 90% respectivamente, no entanto verificou-se que a bomba hidráulica opera abaixo de sua condição nominal, pois a potência mecânica fornecida pelo motor não é suficiente. Seria necessário acoplar à bomba um motor com potência em torno de 100 CV para atender suas características nominais.

O motor do CMB2 pode operar com rendimento e carregamento de 70% e 63% respectivamente. Verificou-se que este motor trabalha com baixo carregamento devido à bomba hidráulica estar muito desgastada e operar muito abaixo da condição nominal. Identificou-se que um motor que forneça potência no eixo em torno de 14 CV seria suficiente para atender as condições atuais. Recomenda-se que esta bomba seja reparada, pois possivelmente está com seu rotor danificado.

O motor do CMB3 pode operar com carregamento e rendimento de 96% e 83% respectivamente, também se verificou que este conjunto motobomba é o que opera mais próximo de suas condições nominais.

A implantação do SFV traria economia anual de R\$ 25.000,00 com energia elétrica e um tempo de retorno do investimento de 9,5 anos, mostrando-se um investimento extremamente viável para a edificação.

Foi possível verificar que a gestão do uso de energia elétrica em uma edificação está intimamente ligada a conhecer o consumo de maneira detalhada, identificando onde estão os equipamentos de baixo rendimento, os principais pontos de ineficiência e inadequações da instalação. Quando se trata de um prédio do poder público, a realização de ações de eficiência energética se torna ainda mais complexa, uma vez que envolvem diversos fatores, no entanto, é possível notar que no pavilhão, há uma grande preocupação na contribuição para redução de desperdícios e aumento da eficiência energética. Tendo em vista a reforma do sistema de iluminação interna reduzindo a potência instalada em 84%, além da captação da água das chuvas para utilização nos modelos das pesquisas, e a reforma do QGBT no ano de 2015, com troca de todo barramento, substituição de cabeamento e dispositivos de proteção. Todas estas, realizadas com recursos provenientes de projetos de pesquisa desenvolvidos nos laboratórios.

Neste processo é possível constatar como o planejamento das ações é de extrema importância, pois somente com estratégias claras que visem o médio e longo prazo, é possível alcançar um estágio avançado da eficiência e sustentabilidade das instalações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, **Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica, Resolução Normativa nº 484/2010, Direitos e Deveres dos Consumidores e Distribuidores**. MME, Brasília, 2017.

ANTUNES, F.; LEÃO, R.; SAMPAIO, R.. **Harmônicos em sistemas elétricos**. 1ª Edição, Elsevier Brasil, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISSO 50002-2014: Diagnósticos energéticos — Requisitos com orientação para uso**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS., NBR. 7094. **Máquinas Elétricas Girantes– Motores de Indução–Especificação**. Rio de Janeiro, 2003.

DE MATTOS, E. E.; DE FALCO, R.. **Bombas industriais**. Interciência, 1998.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE), **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Brasília: MME/EPE, 2017.

HURST, J.; DOMINGUEZ, H. **Raising the standard for electric motor efficiency**. Intech-Research Triangle Park, North Carolina/USA, 2007.

IDEAL, “**O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica – 2017**”, Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina. Brasil, 2017.

JANNUZZI, G. M. **Eficiência Energética no Setor Público**. Projeto Perspectivas dos Investimentos Sociais no Brasil – Estudo 50. Belo Horizonte, 2010.

KAGAN, N.; OLIVEIRA, C.; ROBBA, E.; **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica**. 1ª Edição. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

KRAUSE, C. B. et al. **Manual de prédios eficientes em energia elétrica**. Rio de Janeiro: IBAM/ELETROBRÁS/PROCEL, 2002.

KSB, **Manual de Operação e Montagem Meganorm**, Elaborado por KSB Aktiengesellschaft, Frankenthal 2013.

LENHS, **Manual de redução de uso de energia elétrica em sistemas de bombeamento**. Elaborado pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS/UFRGS). 1ª Edição. Porto Alegre, 2016.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e instalações de bombeamento**. In: Bombas e instalações de bombeamento. Guanabara, 1987.

MARQUES, M.C.S.; HADDAD, J.; GUARDIA, E. C., *et. al.*. **Eficiência Energética: Teoria e Prática**. FUPAI, 1ª Edição, 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (EPE), **Balanco Energético Nacional 2018, ano base 2017**. Brasília: MME, 2018.

NOGUEIRA, L. A. H., “**Auditoria Energética**”, notas de aula. Escola Federal de Engenharia de Itajubá, UNIIFEI, Itajubá, MG, 1990.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A., **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, v. 1, p. 47-499, 2014.

PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL), **Relatório Resultados PROCEL 2018, Ano Base 2017**. Rio de Janeiro: PROCEL, 2018.

SALES, R. P. LED, O Novo Paradigma da Iluminação Pública. Dissertação (Mestrado) Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2011.

SILVA, R. S. **Gestão de energia em instituições públicas: metodologia baseada no modelo de excelência em gestão pública**. 2014. Dissertação – (Mestrado em Engenharia). Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SILVA, A. K.; DUARTE, O. F. P.; *et. al.* **Gerenciamento de Energia Elétrica: O Sistema de Medição Setorizada da PUCRS**. In: XII Salão de Iniciação Científica – PUCRS, Porto Alegre - RS, 2011.

TOLMASQUIM, M.T., *et al.* **Tendências da Eficiência Elétrica no Brasil – Indicadores de Eficiência Energética**. Rio de Janeiro: ENERGE, COPPE/UFRJ, PROCEL/ ELETROBRÁS, 1998.

UFRGS, **Relatório de Gestão 2018**. Porto Alegre, 2018. Relatório realizado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

WEG, **Manual de instalação e manutenção de motores elétricos de indução trifásicos baixa/alta tensão**. Elaborado por WEG INDÚSTRIAS S.A., Jaraguá do Sul, 2003.

ANEXO B – Valores de Tarifa e Impostos Utilizados na Composição do Preço de Energia Elétrica

Tabela de Tarifas - Grupo A

Vigentes a partir de 22/11/2018, conforme Resolução Homologatória ANEEL nº 2.484/2018.



Tarifas de Energia Elétrica aplicáveis ao Grupo A - Em R\$ sem impostos

			A2 (138 kV)	A3 (69 kV)	A4 (13,8/25 kV)	A5 (220/217 V)
Modalidade Tarifária Horária Azul	Demanda Ponta	R\$/kW	12,85	13,64	38,43	50,75
	Demanda Fora Ponta	R\$/kW	10,05	8,17	16,94	12,88
	Energia Ponta	R\$/kWh	0,534600	0,536340	0,548920	0,570290
	Energia Fora Ponta	R\$/kWh	0,357770	0,359510	0,372090	0,393460

Composição do Preço a ser Aplicado
$\text{Preço Final} = \frac{\text{Preço Homologado}}{(1 - \text{PIS}(\%) - \text{COFINS}(\%) - \text{ICMS}(\%))}$

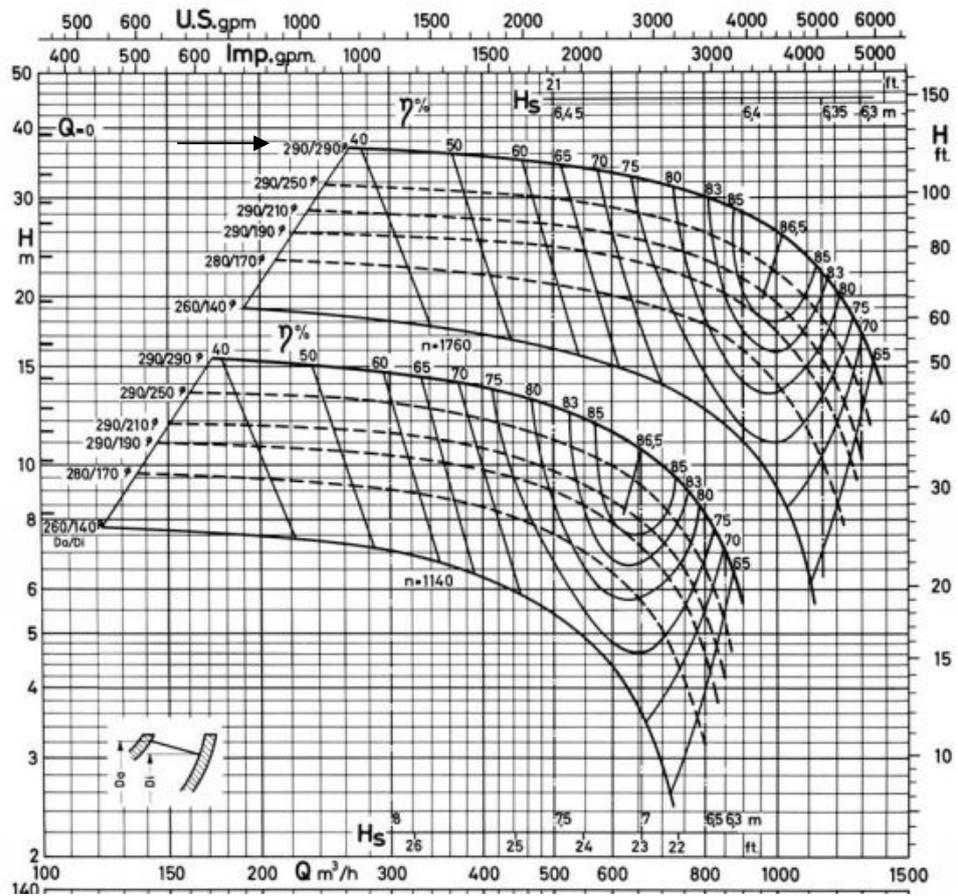
Alíquotas de ICMS	
30%	Residencial (acima de 50 kWh), Comercial, Poderes Públicos, Serviços Públicos, Rural (sem CPR)
18%	Industrial (reconhecido pela SEFAZ)
12%	Residencial (até 50 kWh) Rural com CPR (sobre 100 kWh + diferimento)

Mês/Ano	%PIS	%COFINS	% (PIS + COFINS)
06/2019	0,5971	3,1187	3,7158
05/2019	0,7388	3,4560	4,1948
04/2019	0,9983	4,4378	5,4361
03/2019	1,1899	5,3004	6,4903
02/2019	1,1503	5,1026	6,2529
01/2019	0,9150	4,2118	5,1268
12/2018	0,4672	2,1516	2,6188
11/2018	0,7452	3,4520	4,1972

ANEXO C – Curva Característica da Bomba Hidráulica do CMB 1

Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	KSB ETA	Tamanho Size Tamaño	250-29	
Oferta nº Project - No. Oferta - nº	Item nº Item - No. Pos - nº	Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidad Nominal	1760 rpm 1140 rpm	

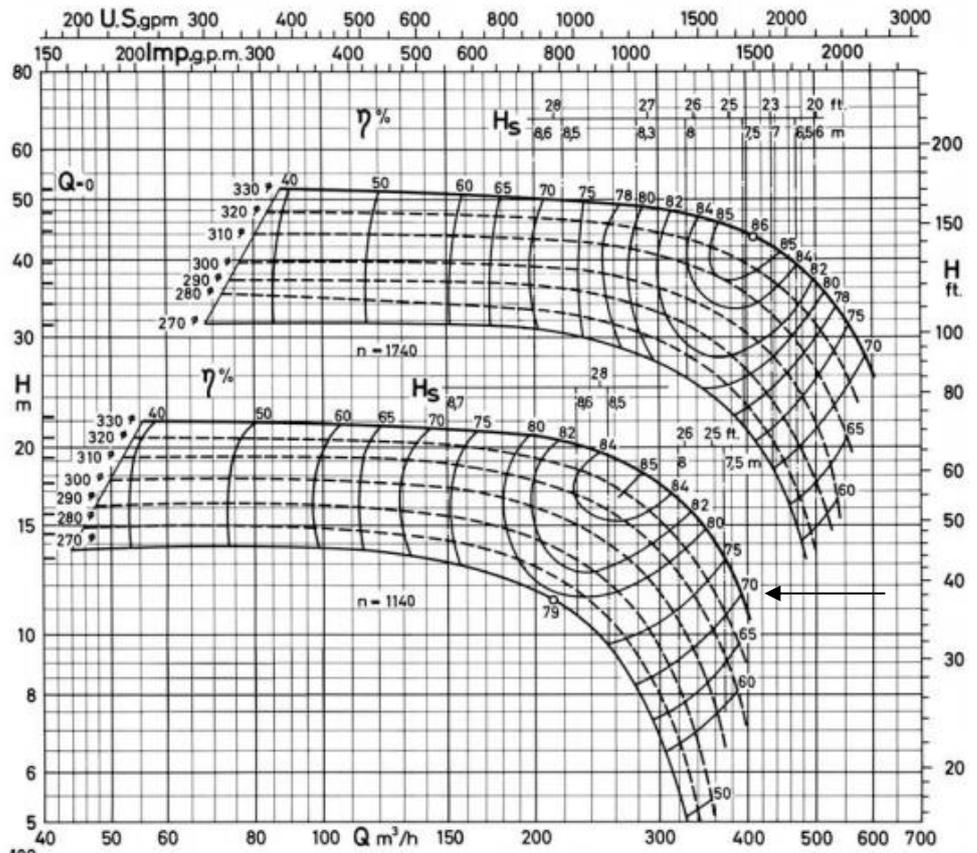
Altura Manométrica
Head
Altura Manométrica



ANEXO D – Curva Característica da Bomba Hidráulica do CMB 2

Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba KSB ETA	Tamanho Size Tamaño 150-33	
Oferta n° Project - No. Oferta - n°	Item n° Item - No. Pos - n°	Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidad Nominal 1740 rpm 1140 rpm

Altura Manométrica
 Head
 Altura Manométrica



ANEXO E – Curva Característica da Bomba Hidráulica do CMB 3

