

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LUCAS DIAS CANCIO

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO
MECANIZADOS NAS LAVOURAS DE ARROZ DA FRONTEIRA OESTE**

**Alegrete
2016**

LUCAS DIAS CANCIO

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO
MECANIZADOS NAS LAVOURAS DE ARROZ DA FRONTEIRA OESTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: José Wagner Kaehler

**Alegrete
2016**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

C215a Cancio, Lucas Dias

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO
MECANIZADOS NAS LAVOURAS DE ARROZ DA FRONTEIRA OESTE / Lucas
Dias Cancio.

63 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2016.

"Orientação: José Wagner Kaehler Kaehler".

1. Eficiência energética. 2. Sistemas de Irrigação para
lavoura de Arroz. I. Título.

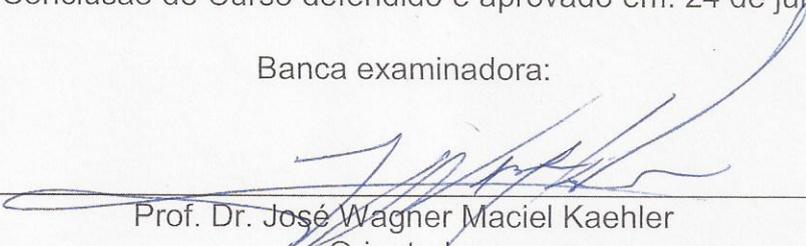
LUCAS DIAS CANCIO

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO
MECANIZADOS NAS LAVOURAS DE ARROZ DA FRONTEIRA OESTE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Elétrica da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 24 de junho de 2016.

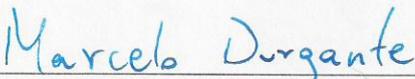
Banca examinadora:



Prof. Dr. José Wagner Maciel Kaehler
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Giovani Guarienti Pozzebon
UNIPAMPA



Prof. Me. Marcelo Hahn Durgante
UNIPAMPA

Dedico este trabalho aos meus pais, pela oportunidade de chegar até aqui. Aos meus familiares por todo apoio que recebi e a minha namorada por sempre ter me apoiado nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por toda graça concebida, por me guiar sempre pelo melhor caminho e me amparar diante das dificuldades enfrentadas.

Em especial aos meus pais Edson e Helena, pelo amor, carinho, dedicação na minha formação social e profissional. Por me darem o melhor exemplo e deixarem a melhor herança, a educação. Ao meu irmão Théo, que mesmo criança me motiva e torce pelo meu sucesso. Agradecer o incentivo e apoio da Cristiane, que também faz parte da minha família. De coração, a toda família Dias e a família Cancio, pelas incansáveis orações e por todo carinho.

Agradecer minha namorada Paula e toda a família Pascoal, pelo acolhimento, total carinho, apoio e fortaleza que encontrei para enfrentar as dificuldades. Pelo incentivo e por todos momentos bons.

Aos meus colegas de curso, pela amizade e dedicação nas atividades realizadas, pelas conversas, ajuda disponibilizada durante a graduação e, principalmente pelos momentos de distrações. Em especial ao Paulo Beltram, João Paulo da Silva, Gerson Senna, Cleiton Lucatel e Marconi Giacomini.

Aos meus amigos que sempre me motivaram para que nunca desistisse desse sonho, em especial ao Valmor Baumart, Khaoan Castro e Frederico Collazo.

Ao meu orientador Professor Dr. José Wagner Maciel Kaehler, por ter sido incansável, confiado na minha capacidade e ter compartilhado seus conhecimentos e experiência para minha melhor formação.

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível ”.

Charles Chaplin

RESUMO

Na safra 2014/15, segundo os dados do IRGA, a Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul foi responsável por 58% da produção no Estado, plantando cerca de 1120 mil hectares, sendo que 50,6% dessa produção de arroz foi irrigada por levantes com motores mecânicos elétricos, 19,4% por levantes com motores mecânicos a diesel e 30,0% por irrigação natural. Sabendo-se da complexidade desses sistemas de bombeamento, é imprescindível encontrar novas técnicas para se obter um melhor proveito energético, a fim de reduzir perdas no sistema elétrico e conseguir uma redução considerável na tarifa de energia. O alto valor das tarifas, particularmente no horário reservado é preocupação constante dos produtores. A tarifa teve um aumento de 40,2% em abril de 2014, para 163,0% no mesmo período em 2015. O enfoque do tema se dá pela necessidade de conscientização por parte dos produtores de arroz em mostrar maior relevância para implementação de projetos que visem coibir o desperdício de energia elétrica. A partir de um estudo minucioso de eficiência energética na propriedade do produtor Gilberto Pilecco, definiu-se o quanto de energia e de que forma estava sendo utilizada nas instalações de bombeamento para irrigação de arroz. Foi posto em prova uma comparação de um trabalho já realizado nessas instalações pela empresa APS Engenharia de Energia onde se verificou o grau de efetividade na implantação das medidas. Dessa forma, propôs-se alternativas para aprimorar as instalações a fim de alcançar uma maior redução de desperdícios e custos, particularmente na questão da operacionalização das instalações.

Palavras-Chave: Desperdício de energia elétrica, eficiência energética, bombeamento de água; irrigação.

ABSTRACT

In the 2014/15 harvest, according to the IRGA data, west border of Rio Grande do Sul accounted for 58% of state production, planting about 112 million hectares, whereas 50.6% of this amount by uprisings with mechanical electrical engines, 19.4% of this area is irrigated by uprisings with mechanical diesel engines, and 30.0% irrigate naturally. Because of the complexity of these pumping systems, it is essential to find new techniques to get a better energy advantage, in order to reduce losses in the electrical system and achieve a considerable reduction in electricity bill. The high value of taxes, particularly in the reserved time is a constant concern to the producers. The electricity taxes increased by 40.2% from April 2014 to 163.0% in the same period related to 2015. There is the need for awareness by rice producers to show greater relevance to the implementation of projects focused on curbing electricity waste. From a detailed study of energy efficiency of the property of the producer Gilberto Pilecco, it defined how much and how energy was being used in pumping for irrigation of rice. It was put to a comparison test of a work already carried out by the company in such facilities APS energy engineering where the degree of effectiveness in the implementation of the measures. Thus, proposed alternatives to improve the facilities in order to achieve a greater reduction of wastage and costs, particularly in the matter to the operation of the facilities.

Keywords: Electricity waste, energy efficiency, water pumping, irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de transformação de energia.....	19
Figura 2 – Sistema clássico de bombeamento de lavoura de arroz	22
Figura 3 – Sistema energético Eficiente em Força Motriz: Bombeamento.....	23
Figura 4 – Medidor Universal de Grandezas	26
Figura 5 – Alicate Wattímetro	26
Figura 6 – Câmera termográfica.....	27
Figura 7 – Tacômetro Estroboscópico.....	28
Figura 8 – Medidor de vazão ultrassônico.....	29
Figura 9 – Medidor de vazão tipo molinete	29
Figura 10 – Vista da propriedade através do satélite	30
Figura 11 – Foto do levante da Barragem antes da implementação das melhorias	31
Figura 12 – Quadro de comando do Açude (novo), fusível em estado crítico de operação.	36
Figura 13 – Quadro de comando do Açude (novo) com alta temperatura do relé térmico	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Impacto da carga de levante hidráulico na Fronteira Oeste.....	16
Gráfico 2 – Valores gerados pelo MUG para tensão.....	39
Gráfico 3 – Valores gerados pelo MUG para o fator de potência.....	40
Gráfico 4 – Valores gerados pelo MUG para potência ativa	41
Gráfico 5 – Valores gerados pelo MUG para potência reativa	42
Gráfico 6 – Valores gerados pelo MUG para potência aparente.....	42
Gráfico 7 – Potência ativa no período de 07/01/2016	48
Gráfico 8 – Fator de potência no período de 07/01/2016	48
Gráfico 9 – Valores de fator de potência indutivos e capacitivos	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área plantada por região e tipos de irrigação	12
Tabela 2 – Tarifas de energia.....	14
Tabela 3 – Rendimentos energéticos para cada classe de motor	21
Tabela 4 – Classificação do consumidor.....	31
Tabela 5 – Consumo e custos com energia elétrica na safra 2009/2010.....	32
Tabela 6 – Diferença do conjunto de bombeamento antigo e o implementado.....	33
Tabela 7 – Proposta de implementação para o novo levante	34
Tabela 8 – Resultados esperados com o projeto de eficiência	35
Tabela 9 – Valores das grandezas registradas pelo MUG	43
Tabela 10 –Horas de operação para os períodos ponta, fora ponta e reservado ...	44
Tabela 11 – Divisão de cada período de operação para 31 dias de faturamento ...	44
Tabela 12– Faturas de energia para safra 2009/2010	46
Tabela 13 – Demanda contratada e verificada.....	47
Tabela 14– Faturas de energia para safra 2015/2016	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AES SUL – American Electrical System SUL

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BEU – Balanço de Energia Útil

CEEE-GT – Companhia Estadual de Energia elétrica – Geração e Transmissão

CO₂ – Dióxido de Carbono

CONPET – Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural

EIRE – Exploração Integrada de Recursos Energéticos

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

IRGA – Instituto Rio Grandense de Arroz

MME – Ministério de Minas e Energia

MUG – Medidor Universal de Grandezas

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PIB – Produto Interno Bruto

PPE - Programa de Eficiência Energética

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PRODIST – Procedimento de Distribuição

PRONI – Programa de Nacional de Irrigação

RS – Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Objetivo geral	13
1.2. Objetivos específicos	13
1.3. Justificativas	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3. METODOLOGIA	25
4. ESTUDOS REALIZADOS PELA APS	30
4.1 Medidas propostas para a eficiência	32
4.2 Resultados esperados	34
5. AUDITORIA DA SITUAÇÃO ATUAL	36
5.1 Quadros de comandos dos Levantes da Barragem e do Açude (Novo) ...	36
5.2 Análises dos resultados do Medidor de Grandeza Universal (MUG)	38
5.3 Análise das faturas de energia	43
6. CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS	55
ANEXO A	56
ANEXO B	57
ANEXO C	58

1. INTRODUÇÃO

O cultivo do arroz destaca-se pela vasta produção e área cultivada em decorrência do largo consumo no contexto mundial. Este é cultivado e consumido em vários locais do mundo, desempenhando uma função estratégica tanto no aspecto social quanto no econômico. Estima-se que 150 milhões de hectares de arroz sejam cultivados por ano, no mundo, atingindo uma produção de cerca de 590 milhões de toneladas, sendo ainda 75,0% desse montante através da cultura do arroz irrigado. (EMBRAPA, 2015)

A cultura orizícola teve impacto significativo na economia brasileira nos anos 2000, onde representou 6,70% do valor da produção agrícola no país. A Região Sul representa 60,0% da produção total de arroz no Brasil, sendo o Rio Grande do Sul o maior produtor deste cereal no país. A produção gaúcha representa cerca de 3,0% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil. Na safra 2012 – 2013, o Rio Grande do Sul teve uma área plantada de 1.082.419 (44,7 %) com uma produção de arroz 8.067.269 (66,9%) toneladas o que correspondeu a uma produtividade média de 7.453 kg/ha. (IRGA, 2013).

Existem dois tipos de cultura de arroz em solo brasileiro: um deles é o arroz irrigado que necessita cerca de 5,0 a 10,0 cm de uma lâmina de água ao longo do crescimento e maturação da planta; e o arroz que não necessita ser inundado, ou seja, ele é adaptado ao processo tradicional, conhecido como arroz de sequeiro, o qual é irrigado naturalmente pelas precipitações. Entretanto, esse método que não necessita da lâmina de água para o cultivo não atinge uma produtividade satisfatória em relação ao arroz inundado, além disso, esse arroz é pouco aceito pelo mercado consumidor (KAEHLER, 2006).

O cultivo do arroz irrigado por submersão do solo necessita de aproximadamente 2000 litros de água para obter 1,0 kg de grãos com casca, sendo essa, uma das culturas mais exigentes de recursos hídricos para o seu cultivo. O manejo de água compreende um conjunto de regras a serem seguidas, todas de suma importância para o desenvolvimento da planta, das quais se destacam: a captação e distribuição; a necessidade para irrigação da lavoura; o período em que a planta ficará submersa; a altura da lâmina de água e drenagem do solo; dentre outros (EMBRAPA, 2005).

A instalação de um levante de água tem como objetivo transportar uma vazão, que consiste num volume de água por unidade de tempo, a uma altura geométrica definida através do desnível entre a fonte de água até o ponto mais alto da lavoura onde acontece a distribuição da água, utilizando princípios da força da gravidade. Desse modo, para que sejam alcançados resultados satisfatórios no que diz respeito à redução de energia, torna-se necessário adequar a vazão a ser recalçada às reais necessidades dos quadros de cultivo (KOPP, 2002).

O sistema de irrigação por estação de bombeamento é utilizado no Rio Grande do Sul desde 1903, sendo que na safra de 2014/2015, o estado gaúcho obteve área colhida efetiva de 1.120.823 toneladas segundo dados do Instituto Rio Grandense de Arroz (IRGA, 2015). É importante salientar que todo o cultivo do arroz no Estado é irrigado por submersão. Analisando os dados levantados sobre a área plantada no estado gaúcho, confrontando os mesmos com a proporção dos energéticos na irrigação, pode-se obter o total de carga instalada atualizada em diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul, como apresentado na Tabela 1. (KAEHLER, 2006).

Tabela 1 - Área plantada por região e tipos de irrigação

COLHIDO POR REGIÕES E RS - VERIFICADO 2014 – 2015			IRRIGAÇÃO DO ARROZ									
Região	Total		%	Mecânico Elétrico		%	Mecânico Diesel		%	Natural		%
	Área (ha)	Área (%)		Área (há)	Área (%)		Área (ha)	Área (%)		Área (há)	Área (%)	
CAMPANHA	168.419	15%	58%	19.551	2%	26%	51.666	5%	14%	97.202	9%	18%
DEPRESSÃO CENTRAL	149.453	13%		48.506	4%		34.379	3%		66.569	6%	
FRONTEIRA OESTE	331.212	30%		223.298	20%		74.134	7%		33.080	3%	
PLAN. COSTEIRA EXTERNA	141.876	13%		78.302	7%		16.537	1%		47.037	4%	
PLAN. COSTEIRA INTERNA	147.539	13%		68.632	6%		14.160	1%		64.747	6%	
ZONA SUL	182.324	16%		128.951	12%		25.574	2%		27.799	2%	
RS - TOTAL	1.120.823	100%		567.239	51%		217.149	19%		33.435	30%	

Fonte: Adaptado de KAEHLER (2006)

Diante da grande produção e do uso do sistema de irrigação, utiliza-se uma gama elevada de energia elétrica para o funcionamento dos sistemas hidráulicos. O uso da energia é dividido em três horários: o horário ponta, o horário fora ponta e o horário reservado. Ao contratar um serviço, o produtor apresenta a sua demanda e a distribuidora de energia define os horários que ele poderá utilizar a energia. O custo

elevado dessa energia, faz com que os produtores busquem alternativas para a redução da mesma.

A eficiência energética passou a ser instrumento muito utilizado, onde pode-se estabelecer formas mais econômicas e ambientalmente favoráveis para combater o desperdício de energia. Com isso, diagnósticos energéticos podem ser realizados nas propriedades, com intuito de apresentar soluções para redução de energia. Para isso, leva-se em conta o levante de maneira geral.

O presente trabalho apresenta um diagnóstico realizado pela empresa APS, com sede em Porto Alegre, em conjunto com a distribuidora de energia AES Sul, onde fez-se um estudo para buscar ações que contemplem a redução do desperdício de energia elétrica na propriedade do produtor Gilberto Pilecco, localizada no município de Alegrete.

1.1. Objetivo geral

O presente trabalho consiste em comparar um estudo de eficiência energética, realizado no ano de 2010, nas instalações de irrigação de uma lavoura de arroz, com o intuito de confrontar com medições na mesma lavoura realizadas em 2016.

1.2. Objetivos específicos

Para que se torne possível alcançar o objetivo geral desta pesquisa, definiram-se alguns objetivos específicos:

- Analisar o Projeto de Eficiência Energética Rural Irrigante, realizada pela APS Engenharia de Energia em parceria com a distribuidora de energia AES Sul;
- Realizar medições na propriedade onde o projeto de eficiência foi executado;
- Comparar os resultados obtidos com os resultados do projeto realizado em 2010, e verificar se os mesmos resultaram em promoção da eficiência;
- Se necessário, propor medidas para o melhor desempenho do sistema.

1.3. Justificativas

Constatou-se em vários estudos relativos ao uso rural da energia elétrica um problema histórico disseminado por toda a Fronteira Oeste do Estado Gaúcho, onde a carga é sazonal em virtude do bombeamento das lavouras de arroz. (KAEHLER, 2015). O produtor conta com dois patamares de utilização da energia elétrica em função da hidraulicidade do país, qual seja um período úmido e outro seco, ditado pela ocorrência de chuvas na região Sudeste.

No período úmido do Sistema Interligado Nacional, a irrigação ocorre fora dos horários de pico do sistema elétrico da concessionária. Este horário pode ser variável, dependendo do perfil de demanda global da mesma. O outro patamar é o chamado horário reservado, que começa às 21:30 e se estende até as 06:00 do dia seguinte. Neste período de 8 horas e meia o valor da energia é 30% do valor no horário de fora da ponta úmida. Nos três últimos anos as tarifas tiveram forte reajuste, tendo sido observado uma elevação de 40,2% no período 2013/2014, adicionado de 87,4% no período 2014/2015, fortemente impactado pela implantação da Bandeira Tarifária que reflete a escassez de água nos reservatórios.

A Bandeira vigente no período ora em avaliação foi a Vermelha, que impactou em R\$4,50 para cada 100 kWh consumidos. Esta provocou uma elevação de 163,5% nas tarifas do horário reservado no período 2014/2015 como é possível observar na Tabela 2.

Tabela 2 – Tarifas de energia

AES SUL - TARIFA VERDE – RURAL								
Grupo			Portaria Aneel Nº/Ano			Evolução Comparativo Percentual		
			1718 abr-14	1858 jan-15	1879 abr-15	14/13 Abr	15/14 jan	15/14 abr
23-13,8 KV (A4)	DFP	R\$/KW	11,45	11,44	12,65	16%	-0,10%	10,50%
	EPS	R\$/MWh	711,63	854,95	938,04	17,8	20,10%	31,80%
	EPU	R\$/MWh	711,63	854,95	938,04	17,80%	20,10%	31,80%
	EFPS	R\$/MWh	179,21	281,3	335,77	40,20%	57%	87,40%
	EFPU	R\$/MWh	179,21	281,3	335,77	40,20%	57%	87,40%
	EHR	R\$/MWh	59,74	93,77	157,42	40,20%	57%	163,50%

Fonte: Kaehler (2015)

Desde o processo de privatização da distribuição de energia no Rio Grande do Sul, a AES SUL buscou amenizar o impacto da carga no sistema de bombeamento na irrigação do arroz, realizando um levantamento minucioso das instalações dos produtores. A análise fundamentou-se num diagnóstico em 58 das propriedades da região oeste do Estado, perfazendo um total de 138 instalações elétricas, o que resultou em 13.280 CV. Este valor implica 6,2% da potência instalada na região da fronteira oeste.

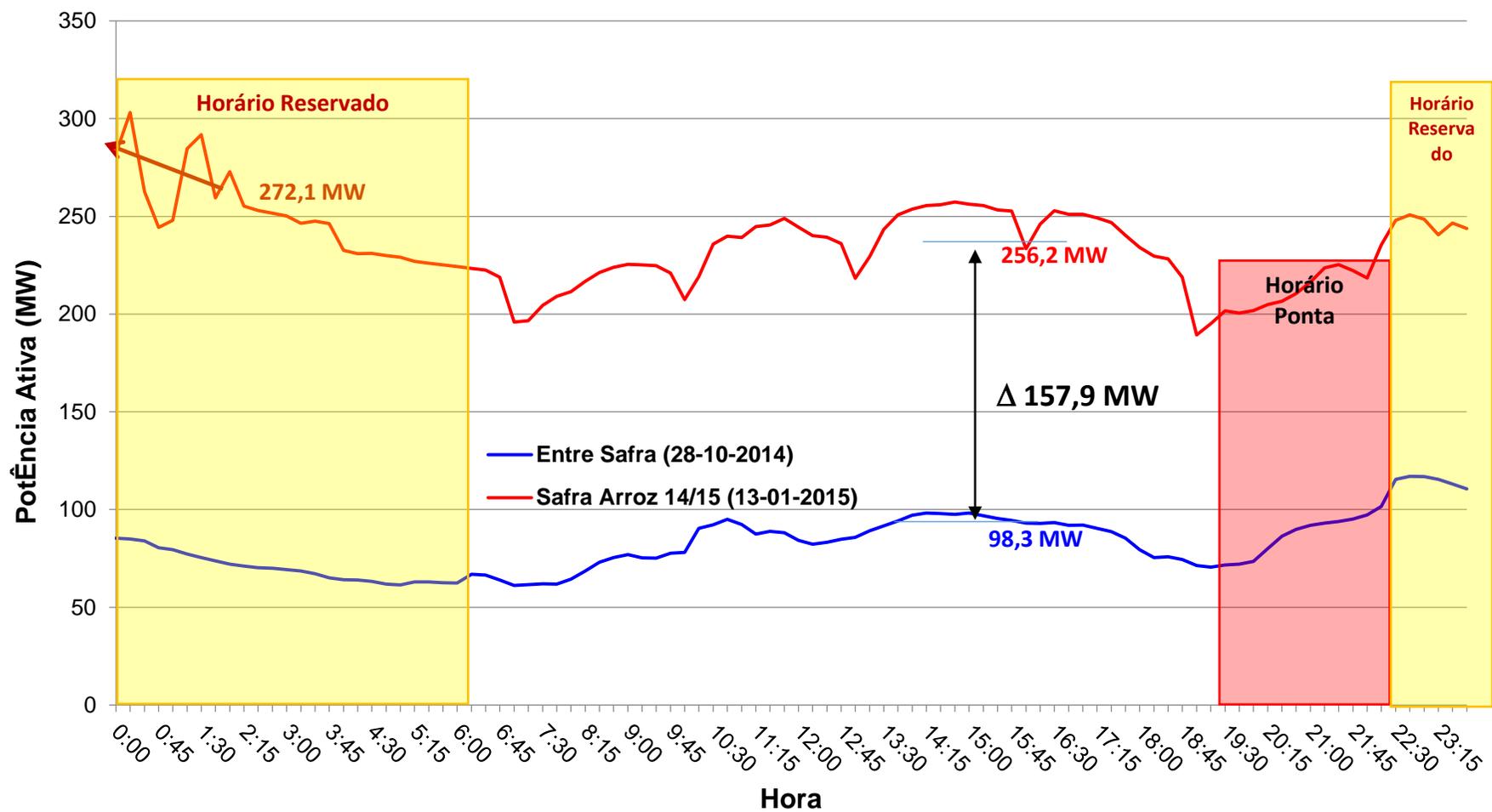
A abordagem do tema se dá pela necessidade de conscientização por parte dos produtores de arroz em mostrar maior relevância para implementação de projetos, que visem coibir o desperdício de energia elétrica.

Sabendo da complexidade desses sistemas de bombeamento é necessário delinear técnicas novas para obter um melhor rendimento energético, a fim de reduzir perdas no sistema e, além disso, conseguir uma redução significativa na tarifa de energia. O Gráfico 1 ilustra o impacto das cargas causadas pelos levantes hidráulicos na fronteira oeste do Rio Grande do Sul. O horário reservado é utilizado para ligar os motores e irrigar as lavouras em um horário onde a tarifa é menor, possibilitando ao produtor economizar na conta da energia elétrica e também, não sobrecarregando o sistema. Assim o Gráfico 1 mostra claramente a diferença de curva de carga no período de entre safra de 2014 para o período de safra de 2015. Existe uma variação de carga de 157,9 MW no horário de ponta típico da concessionária, de acordo com o período marcado na tabela, mostrando o quanto o período de safra tem impacto significativo no sistema elétrico. Entretanto, a carga plena deve ser avaliada com base no horário reservado, demarcado em amarelo, alcançando-se um montante de 185 MW.

É imprescindível encontrar novas formas para que o desperdício seja minimizado, para poder restringir os problemas econômicos e socioambientais. Quanto maior a necessidade de uso da energia, devido ao aumento da demanda, implica no aumento da geração e distribuição, o que acarreta na construção de novas usinas e novas redes de transmissão e distribuição, fazendo com que elas causem impactos diretos ao meio ambiente.

Diante de um estudo criterioso de eficiência energética, espera-se definir quanto de energia e de que forma está sendo utilizada em uma instalação de bombeamento para irrigação de arroz. Se for o caso, serão dadas alternativas para aprimorar as instalações a fim de alcançar uma redução de desperdícios e custos.

Gráfico 1 – Impacto da carga de levante hidráulico na Fronteira Oeste em subestações



Fonte: Compilação Banco de Dados da CEEE-GT

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A preocupação com a eficiência energética surgiu com a grande dúvida em relação ao petróleo em meados das décadas de 73 e 81, onde a escassez desse insumo energético forçou a alta dos preços do mesmo, renovando o espaço para novas formas de energia e maior eficiência no uso dos seus derivados. A eficiência energética passou a ser instrumento de grande prestígio para a redução de efeitos nocivos para o meio ambiente. Além disso, com a implantação da eficiência energética pode-se estabelecer formas mais econômicas e ambientalmente favoráveis para combater o desperdício de energia.

No Brasil existem três programas de eficiência energética reconhecidos internacionalmente, são eles: o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE).

Através da importância desses programas para a difusão da eficiência energética no país, no ano de 2000, foi estabelecida a Lei nº 9.991 o Programa de Eficiência Energética por parte das Distribuidoras de Energia Elétrica do País, através da aplicação de parte da receita líquida em projetos de eficiência energética.

Hoje, por condicionante de concessão devem ser destinados 1,0% da receita líquida sendo que 0,5% em pesquisa em prol da eficiência e outros 0,5% na aplicação de projetos em eficiência energética (BRASIL, 2000).

Em 2001, a Lei 10.295 estabeleceu a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia onde o Poder Executivo estabelece níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, disto originando o PBE.

Existem vários programas de conscientização de consumo de energia elétrica, com objetivo de reduzir os custos com o consumo da mesma. Desta forma, estabelecem ações, buscando o uso eficiente da energia e melhorando as atividades a fim de obter um melhor custo benefício.

Constata-se que estas ações possuem vários fatores que agregam benefícios para toda a sociedade, pois ao relocar recursos direcionados para atividade final, ameniza-se o fornecimento de energia elétrica, contribuindo para a redução

energética. Outro benefício que visa à eficiência energética é a redução das emissões de CO₂ e outros agentes nocivos ao meio ambiente.

A AES SUL implementa projetos de eficiência energética na sua área de concessão, relacionadas a iluminação pública, hospitais, indústrias, escolas, prédios públicos, bem como aos produtores rurais. Segundo a AES SUL, cerca de 25,0 % da energia consumida poderia ser evitada com ações de eficiência. Um dos projetos do Programa de Eficiência Energética (PPE) da AES Sul é o orizícola no segmento rural, que busca melhorias no sistema de irrigação das lavouras de arroz na fronteira oeste do estado gaúcho, onde está concentrado a maior parte da produção de arroz nesse Estado.

Segundo KAEHLER (2015), o Balanço de Energia Útil divulgado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e Empresa de Pesquisa Energética (EPE), entende por eficiência de um processo produtivo (η_{proc}) a relação entre o fluxo de produtos (P) e de recursos (R) relacionados ao processo. A Equação 1 mostra como se comporta um processo produtivo.

$$n_{proc} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{j=1}^m R_j} \quad \dots (1)$$

Onde:

n_{proc} : Rendimento do processo produtivo ou serviço energético de uso final;

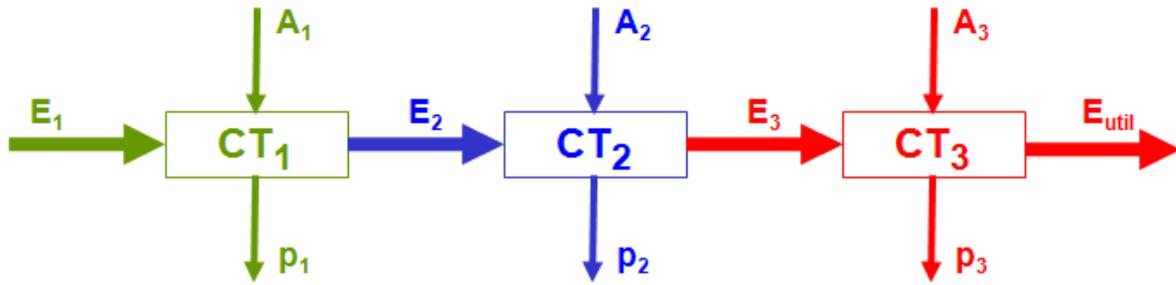
P_i : Potência ou energia útil demandada;

R_j : Potência ou energia total suprida.

No caso da eficiência energética de um processo de transformação de energia, o recurso será toda a energia fornecida ao sistema e o produto será a energia entregue pelo sistema e disponível para uso futuro. Atendendo a primeira lei da termodinâmica, a diferença entre recursos e produtos são as perdas (p_d), o que leva a uma eficiência sempre menor que 1.

Assim, considerando os processos produtivos de transformação de energia, teremos o sequenciamento dos diferentes centros de transformação energética, que responderão pela degradação energética ao longo do Sistema de Transformação, assim, a Figura 1 apresenta o sequenciamento de uma transformação em um processo de energia.

Figura 1 – Processo de transformação de energia



Fonte: Kaehler (2016)

Através do processo de transformação de energia tem-se que:

- CT_i – Centro de transformação i
- E_i – entrada de energia i
- A_i – Ingresso adicional de energia ao processo i.
- P_i – Perdas intrínsecas ao processo.

O equacionamento mostra a eficiência de um processo produtivo para a Figura 1, identificando as entradas e saídas de energia, assim como os respectivos rendimentos parciais e globais, obtém-se com as equações abaixo, que mostram o rendimento total do processo.

$$n_{CT1} = \frac{E_2}{E_1 + A_1}, \quad n_{CT2} = \frac{E_3}{E_2 + A_2}, \quad n_{CT3} = \frac{E_{UTIL}}{E_3 + A_3} \quad \dots (2)$$

$$P_1 = (E_1 + A_1) - E_2, \quad P_2 = (E_2 + A_2) - E_3, \quad P_3 = (E_3 + A_3) - E_{UTIL} \quad \dots (3)$$

$$n_{TOTAL} = \frac{E_{UTIL}}{E_1 + A_1 + A_2 + A_3} \quad \dots (4)$$

$$n_{CT1} \cdot n_{CT2} \cdot n_{CT3} = \frac{E_{UTIL}}{E_1 + A_1 + \frac{A_2}{n_{CT1}} + \frac{A_3}{n_{CT1} \cdot n_{CT2}}} \quad \dots (5)$$

$$E_1 + A_1 + A_2 + A_3 < E_1 + A_1 + \frac{A_2}{n_{CT1}} + \frac{A_3}{n_{CT1} \cdot n_{CT2}} \left\{ \begin{array}{l} n_{CTi} < 1 \\ n_{CTi} < n_{CTi} \cdot n_{CTi} + 1 \\ \frac{A_i}{n_{CTi}} > A_i \end{array} \right. \quad \dots (6)$$

O rendimento da cadeia de processos é menor que o produto dos rendimentos individuais de cada processo, a menos que para todos os processos em cadeia, toda a energia recebida pelo processo CT_i seja proveniente do processo CT_{i-1} , como é mostrado no Equação 7.

$$A_1 = A_2 = A_3 = 0$$

$$n_{TOTAL} = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 = \frac{E_{UTIL}}{E_1} \quad \dots (7)$$

Onde:

n_1 : Rendimento da transformação de energia 1;

n_2 : Rendimento da transformação de energia 2;

n_3 : Rendimento da transformação de energia 3;

n_{TOTAL} : Rendimento total da transformação de energia.

KAEHLER (2016) explicita as quatro formas de avaliar a eficiência energética:

- Termodinâmica;
- Física-termodinâmica;
- Econômica-termodinâmica;
- Econômica.

A eficiência energética em termos termodinâmicos refere-se às análises da transformação de uma forma de energia em outra. Na interpretação “física – termodinâmica” avalia-se os insumos energéticos necessários para produzir um determinado bem ou serviço e nesse caso, a energia que entra no sistema é mensurada em unidades termodinâmicas convencionais e a energia que sai do sistema em unidades físicas – exemplo: Energia que entra/tonelada de produto – (Consumo Específico de Energia);

No enfoque “econômico – termodinâmico” a eficiência energética é um indicador híbrido no qual o produto do processo é mensurado a preços de mercado e a energia que entra por unidades termodinâmicas convencionais – exemplo: Energia/PNB - (intensidade energética);

Finalmente na interpretação econômica, a eficiência energética é medida exclusivamente em termos monetários, tanto dos insumos que entram no processo quanto dos produtos e serviços que resultam do sistema.

Nos trabalhos que promovem a eficiência energética nos segmentos produtivos e na prestação de serviços energéticos de uso final prefere-se a segunda interpretação, a qual fundamenta o conceito de eficiência energética produtiva, estando estreitamente vinculado ao serviço energético produzido.

Ainda conforme o Balanço de Energia Útil (BEU), tendo como referência os dados disponíveis em 1994 do Balanço Energético Nacional, foram consideradas três categorias de motores elétricos: motores pequenos (potência ≤ 5 CV), motores médios ($5 < \text{potência} \leq 50$ CV) e motores grandes (potência > 50 CV).

Para se ter mais clareza em relação ao desempenho dos motores, foi associado o porte de cada motor aos diferentes setores considerados no estudo. Os rendimentos e usos de motores elétricos para seus respectivos fins estão ilustrados na Tabela 3, onde os setores de aplicações estão divididos em:

- Residencial e outros setores industriais;
- Comercial, público, agropecuário, transporte rodoviário e cerâmico;
- Energético, transporte ferroviário, ferro gusa e aço, ferro ligas, mineração e pelletização, e outros.

Tabela 3 – Rendimentos energéticos para cada classe de motor

Capacidade (CV)	Setores de aplicações	Rendimentos energéticos / ano			
		1984	1994	2005	Referência
Motores pequenos	A	0,62	0,7	0,75	0,83
Motores médios	B	0,85	0,88	0,89	0,91
Motores grandes	C	0,88	0,89	0,9	0,94

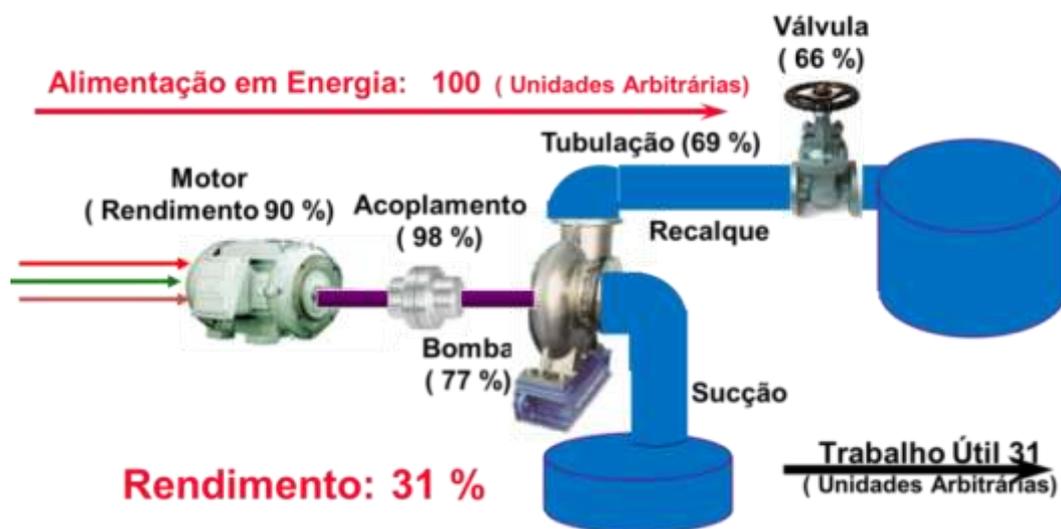
Fonte: Kaehler (2016)

É necessário ter conhecimento de como funciona um sistema de bombeamento, para delimitar suas características e seus componentes básicos, assim como as respectivas condições de uso.

Através do balanço típico de energia, podem-se descobrir possíveis perdas no sistema que reduzem sua eficiência.

Também se pode atribuir a um ponto de partida para distinguir variáveis que podem ser implementadas para futuras melhorias de eficiência no sistema. Na Figura 2, encontra-se estruturado um sistema típico de bombeamento de líquidos, onde um motor elétrico fornece energia mecânica para uma bomba centrífuga através do acoplamento dos dois equipamentos.

Figura 2 – Sistema clássico de bombeamento de lavoura de arroz



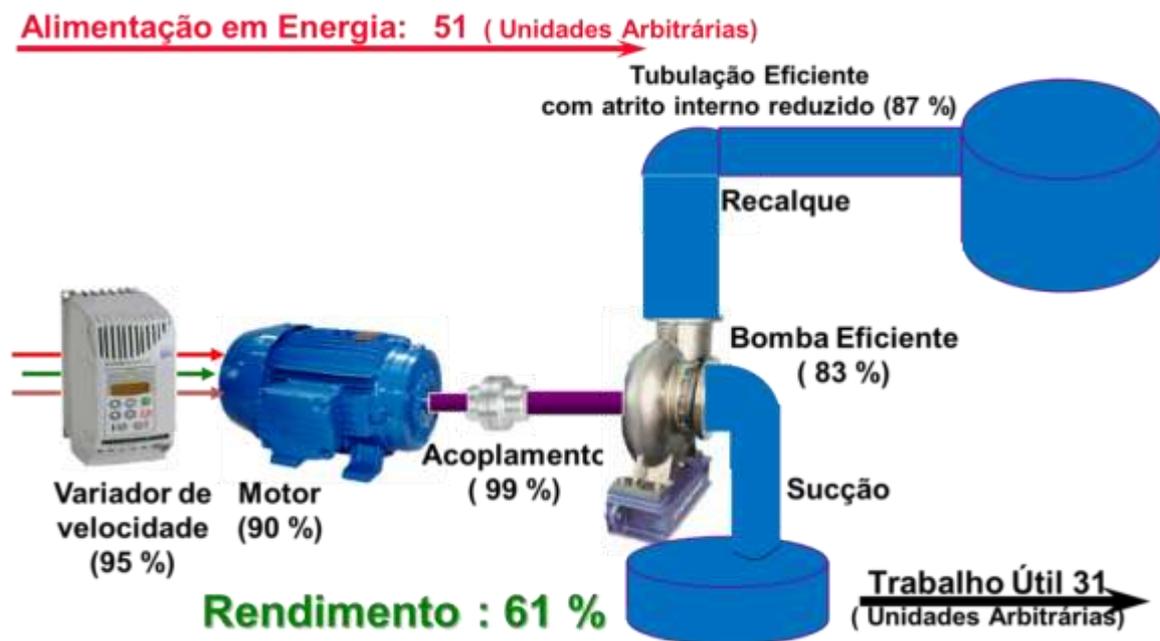
Fonte: Kaehler (2016)

A bomba assume a transferência do líquido através da sucção para o segmento de recalque hidráulico. O controle de vazão é feito através da válvula de retenção. O sistema recebendo 100 unidades energéticas arbitrárias supre as perdas elétricas e mecânicas do motor, as perdas mecânicas e hidráulicas da bomba centrífuga, das canalizações de sucção e recalque e da válvula de retenção. O serviço energético de uso final é vencer uma altura geométrica associada à um equivalente em altura das perdas cujo conjugação é denominada altura dinâmica a ser vencida pelos equipamentos de fornecer uma dada vazão requerida.

O produto dos múltiplos rendimentos dos equipamentos e componentes envolvidos resulta no rendimento útil ou produtivo do sistema. Neste caso resulta em um rendimento da ordem de 31,0%. Qual seja dos 100,0% supridos, somente 31,0% foram transformados em trabalho útil.

Na Figura 3, apresenta-se o processo de promoção da eficiência energética do sistema de bombeamento de fluídos. Melhora-se o rendimento da bomba centrífuga através da utilização de um motor elétrico de alto rendimento, capaz de suportar o controle eletrônico por inversor de frequência. Seleciona-se um acoplamento mais eficiente, assim como tubulações com menor perda de carga.

Figura 3 – Sistema energético Eficiente em Força Motriz: Bombeamento (KAEHLER, 2016)



Fonte: Kaehler (2016)

Elimina-se a válvula de retenção, passando a controlar a vazão através da variação de velocidade do motor, que modificará a performance da bomba centrífuga. Com isto evita-se a elevação das perdas hidráulicas do sistema. Para suprir o mesmo serviço energético de uso final que demanda 31 unidades energéticas arbitrárias faz-se agora necessário suprir ao motor elétrico somente 51 unidades de energia. Desta forma verifica-se que o rendimento do sistema, foi facilmente duplicado através da adoção de tecnologias de alta eficiência energética.

De acordo com o Programa Nacional de Irrigação (PRONI) em termos econômicos, as principais vantagens que um motor elétrico exerce sobre um motor a óleo diesel de mesma potência são a economia operacional, mesmo com a alta da tarifa de energia elétrica, usar óleo diesel não seria tão vantajoso; o tempo de vida

útil do motor; maior rendimento; partida direta em dias frios, sem precisar que o motor aqueça; disponibilidade de suprimento de energia elétrica pela concessionária, uma vez que para o óleo diesel, deve-se fazer armazenamento e transporte, o que pode variar ainda mais o custo do mesmo ZOCOLER (1998).

Em contrapartida, CARVALHO (2000) afirma que como desvantagem a construção de uma linha para o transporte da energia elétrica até o local da lavoura, sendo indispensável a dependência da qualidade do atendimento da concessionária junto ao cliente, para evitar constrangimentos referentes ao fornecimento de eletricidade.

Ainda para ZOCOLER (1998), o alto valor das tarifas de energia elétrica e dos combustíveis, os produtores irrigantes passam a se preocupar mais com a influência que essas variáveis incidem no custo da sua produção.

Os custos de um sistema de recalque são influenciados por alguns aspectos, que podem ser divididos em qualitativos e quantitativos. Os aspectos qualitativos estão atrelados a qualidade e tipo dos equipamentos, significa que, podem-se escolher equipamentos de melhor qualidade e assistência segurada pelo fabricante, seja elétrico ou diesel. Já aspectos quantitativos podem seguir as seguintes linhas:

- Porte do sistema: vazão, comprimento e pressão no final da adutora, potência da bomba hidráulica e desnível topográfico;
- Características de estação de bombeamento: custo de tarifa de energia e combustíveis, horário e época de funcionamento do motor, comprimento do ramal elétrico, potência da chave de partida.

Constatou-se que o melhor conjunto para irrigação da lavoura é aquele onde não é necessário mecanizar o sistema, onde a fonte de água estaria alocada em uma cota superior a área que será irrigada, com isso a condução da água é transportada através da gravidade.

No entanto, de acordo com KOPP (2002), no município de Uruguaiana, por exemplo, apenas 8,0% de toda área cultivada com arroz irrigado é realizada através da gravidade, ou seja, se faz necessário o uso de um sistema de bombeamento através de recalque para inundar a área cultivada.

3. METODOLOGIA

Efetua-se um diagnóstico do projeto de eficiência energética da propriedade e dessa maneira, analisaram-se as premissas que indicam os potenciais de redução de energia desse projeto, a fim de aferir o quão eficiente e, se de alguma forma esse estudo proporcionou ao proprietário resultados relevantes.

Em campo, fez-se a análise de como estão as condições das instalações elétricas dos levantes, bem como os transformadores, para-raios, quadro de comando e o banco de capacitores. Essa análise foi realizada de maneira visual, sendo posteriormente, realizadas as medições das grandezas elétricas como tensão, corrente, fator de potência, distorção harmônica de tensão e corrente, potência ativa, reativa e aparente e corrente de neutro.

Para a realização da primeira etapa de medições utilizou-se o equipamento Medidor Universal de Grandezas – MUG do modelo IMS Power Net P-600, semelhante ao usado pela concessionária de energia. Este equipamento consiste em um medidor e registrador eletrônico programável de grandezas elétricas trifásicas e monofásicas, em tempo real, sendo o principal aproveitamento, a supervisão de redes de distribuição de baixa e média tensão. O MUG ordena as medições em corrente alternada de tensão, corrente, potência ativa, reativa e aparente além de verificar o fator de potência e a frequência.

O MUG pode ser programado para aferir algumas ou todas das grandezas que se necessitar. O usuário pode determinar os tempos de medição e registros. Para esse trabalho, o MUG registrou os dados do quadro de comando durante um período de meia hora e os valores foram aferidos a cada 30 segundos, e podendo exportar os dados para outros softwares. A Figura 4 apresenta o MUG utilizado.

Outro equipamento utilizado nas medições é o Alicata Wattímetro de modelo ICEL Digital AW – 4700, que tem como propósito medir a tensão e corrente alternada, bem como a frequência, potência ativa, reativa e aparente, fator de potência, energia ativa, ângulo fase, medição trifásica, além de possuir memória de 99 leituras e realizar registros de máximo e mínimo, podendo transportar os dados. A figura 5 exibe o equipamento utilizado.

Figura 4 – Medidor Universal de Grandezas – MUG



Fonte: EIRE (2016)

Figura 5 – Alicates Wattímetro



Fonte: EIRE (2016)

Ao mesmo tempo em que o MUG faz a leitura e o registro das grandezas no quadro de comando, é realizado uma análise térmica com a câmera térmica pontual, modelo FLIR T 420, conforme a Figura 6. Com essa câmera é possível verificar a temperatura das instalações através de uma distância segura, fornecendo uma imagem satisfatória.

Utilizou-se para verificar se existe temperatura excessiva no quadro de comando dos levantantes. Caso houvesse, pode-se identificar se há rompimento de cabos ou defeitos em relés, bem como outros equipamentos que compõe o quadro de comando.

Figura 6 – Câmera termográfica



Fonte: EIRE (2016)

A segunda etapa das medições se concentra na retirada dos dados de placa do motor e da bomba hidráulica, utilizando o equipamento Tacômetro Estroboscópico de modelo TC-5070, conforme a Figura 7. Este tacômetro é ideal para inspecionar e medir a velocidade de rotação de equipamentos como: motores, bombas, centrífugas, ventiladores, entre outros. Utilizou-se esse equipamento para medição da velocidade dos motores.

Figura 7 – Tacômetro Estroboscópico



Fonte: EIRE (2016)

Posteriormente, utilizou-se medidores de vazão hidráulico nas canalizações que compõe os levantes. Foram utilizados dois equipamentos: o medidor de vazão ultrassônico Polysonics DCT7088 e o medidor de corrente universal C31, apresentados na Figura 8.

O medidor ultrassônico é diretamente acoplado na parte externa da canalização, podendo registrar a velocidade do fluido através de ondas sonoras e dessa forma, com base no tempo de trânsito das ondas sonoras, calcular a velocidade com que o fluido transcende ao longo da canalização.

O medidor ultrassônico é configurado através de um teclado integrado a tela para introduzir variáveis tais como o tamanho das canalizações, material, espessura da parede e o tipo de fluido a ser medido. Os resultados são exportados para um programa que compõe o equipamento onde os dados são coletados e registrados.

Utilizou-se também um molinete para a medição da vazão no final de cada canalização, conforme a Figura 9, onde é possível através de um cabo de suspensão posicionar o material de forma que este meça a velocidade quando a água está saindo para a lavoura de arroz.

Figura 8 – Medidor de vazão ultrassônico



Fonte: EIRE (2016)

Figura 9 – Medidor de vazão tipo molinete



Fonte: EIRE (2016)

Por fim, realizou-se a medição topográfica onde foram levantadas as curvas de níveis do terreno, com as alturas coletadas relativas ao um ponto de referência, coletando as alturas geométricas. Com isso, se torna possível calcular a altura manométrica, para posterior dimensionamento da potência do motor para conduzir a água ao final do encanamento.

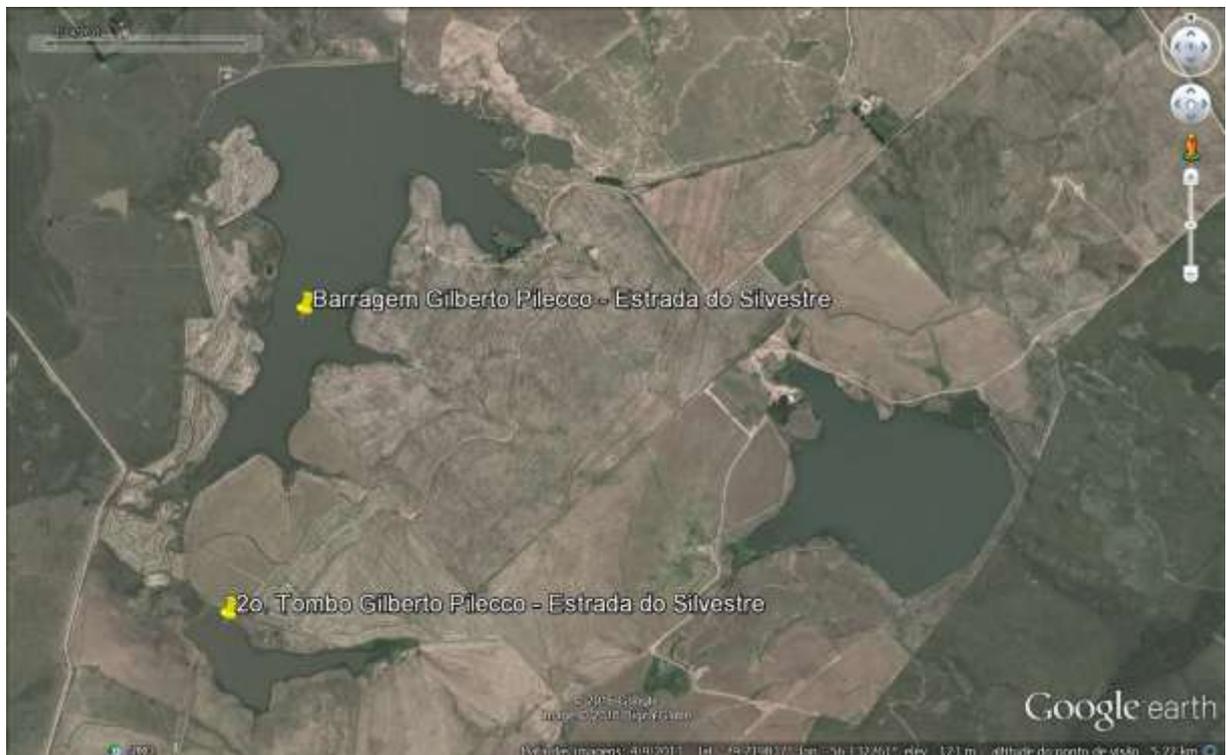
4. ESTUDOS REALIZADOS PELA APS

O Projeto de Eficiência Energética realizado para o Produtor Gilberto Pilecco, faz parte do Programa de Eficiência Energética Rural Irrigante, realizado no ano de 2010 pela distribuidora de energia AES SUL em parceria com a empresa APS Engenharia de Energia. Este programa visa a redução do desperdício de energia elétrica, assim como a abatimento nos custos da fatura de energia do produtor.

A escolha deste produtor deveu-se pelo bom potencial de economia de energia elétrica verificado em sua lavoura, constatado durante o estudo. Desta forma, a companhia de energia esperava uma redução de carga em seu sistema, evitando que houvesse a necessidade de ampliação de redes de distribuição, transmissão e geração de energia elétrica em seu uso final.

A propriedade esta localizada na PRL Estrada Silvestre, 166' HS 0000, no município de Alegrete e é abastecida pela subestação Alegrete – 4, alimentador ALE – 41 - Itapororó. A Figura 10 apresenta a localização da propriedade.

Figura 10 – Vista da propriedade através do satélite



Fonte: Google Earth (2016)

O levante em análise possuía uma capacidade de bombeamento para atender 522 ha, composto por três motores, sendo dois motores de 125 CV e um de 250 CV. A vazão total para atender a área foi de 850 l/s. A Figura 11 apresenta como era o levante antes da execução do projeto de eficiência energética.

Figura 11 – Foto do levante da Barragem antes da implementação das melhorias



Fonte: APS (2010)

A Tabela 4 apresenta a classificação do consumidor perante a concessionária de energia.

Tabela 4 – Classificação do consumidor

Nome	Nº Consumidor	Tarifa	Tensão	Demanda Contratada	Tipo De Uso
Gilberto Pilecco	3276346	HV-A4	23 kV	410 kW	Rural-Irrigante

Fonte: APS (2010)

Para estabelecer o preço médio da energia utilizada pelo produtor, tomou-se como base os valores totais das faturas de energia elétrica e os totais de MWh consumidos nos meses de dezembro de 2008, janeiro e fevereiro de 2009. Isto está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Consumo e custos com energia elétrica na safra 2009/2010

Cliente	Consumo Anual (kWh)	Custo Anual (R\$)	Preço Médio (R\$/MWh)
NUC 28976779	869,65	122.961,83	141,39

Fonte: APS (2010)

Pode-se observar no Anexo A, elaborado pela APS, baseada nas faturas de energia da safra 2009/2010, que o consumidor acionou o seu sistema com maior frequência em horário fora de ponta, buscando aproveitar os benefícios da tarifa de energia elétrica neste período.

4.1 Medidas propostas para a eficiência

Perante as análises realizadas pelo projeto nas instalações do sistema de bombeamento da lavoura em questão, foram propostos para que se houvesse economia de energia a troca de alguns equipamentos que compõem o sistema.

- Substituição de motores Standard por motores de Alto Rendimento exclusivamente dimensionados de acordo com as necessidades do sistema;
- Substituição das bombas antigas por bombas com melhor rendimento operacional;
- Aquisição de balsas para os conjuntos novos de Moto bombas;
- Trabalhos de terraplanagem para adequação do sistema.

A Tabela 6 mostra a descrição do sistema de bombeamento da barragem e a medida proposta para o mesmo.

Tabela 6 – Diferença do conjunto de bombeamento antigo e implementado

ITEM	ANTIGA	IMPLEMENTADA
	Levante da Barragem	Levante da Barragem
Área a ser irrigada (ha)	522	522
Vazão total (l/s)	850	1.200
Horas de funcionamento (h/dia)	21	16
BOMBA		
Modelo/Marca	2x10 BDE e 1x KSB 300-500	IMBIL - ITAP 600-700
Diâmetro da polia (mm)	X	900 7c 8v
Altura manométrica total (m)	25,53	11,6
MOTOR		
Modelo/Marca	2xWEG e 1xSIEMENS	1xVOGES
Potência (cv)	2x125 cv e 1x 250 cv	1x250 cv
Diâmetro da polia (mm)	X	295 7c 8v
RENDIMENTO TOTAL (%)	47,36	75,81

Fonte: APS (2010)

Segundo as ações do projeto de eficiência, foi necessária a aquisição de um motor VOGES de 250 CV, uma bomba IMBIL – ITAP 600-700, novas polias para o sistema de bombeamento, uma balsa nova para o conjunto motor- bomba, material para reformulação da canalização e um trabalho de terraplanagem para aumentar a capacidade de bombeamento de água que antes era de 850 l/s para 1200 l/s. A troca dos motores irá reduzir 250 CV de potência e aumentar a capacidade de bombeamento para 41,17% mantendo a mesma área de irrigação.

No projeto proposto, o levante da barragem será dividido em dois levantes, aproveitando um açude que está acima da barragem como depósito e onde será implementado um novo levante com duas bombas de 125 CV. Como os motores serão trocados por motores de alto rendimento, os motores antigos serão descartados.

O projeto prevê ainda a instalação de um novo levante o que deverá dividir o serviço e não deixar o levante da barragem sobrecarregado, dessa forma, as características do novo levante, denominado levante do açude, são expressos na Tabela 7.

De acordo com estudo de eficiência, a prática para o desenvolvimento desse novo levante do açude, que possui capacidade de armazenamento de 90.000 m³ de água, irá permitir que o levante da barragem não sobrecarregue, ou seja, irá diminuir o número de horas de operação do mesmo.

Tabela 7 – Proposta de implementação para o novo levante.

ITEM	PROPOSTA
	Levante do Açude
Área a ser irrigada (ha)	522
Vazão total (l/s)	1.200
Horas de funcionamento (h/dia)	21
BOMBA	
Modelo/Marca	2xIMBIL - ITAP 500-600
Diâmetro da polia (mm)	2x800 7c vv
Altura manométrica total (m)	12
MOTOR	
Modelo/Marca	2xVOGES
Potência (CV)	2x125 CV
Diâmetro da polia (mm)	2x255 7c 5v
RENDIMENTO TOTAL (%)	74,91

Fonte: APS (2010)

Com a aquisição dos novos equipamentos descritos na tabela, o novo levante irá operar com dois motores de alto rendimento VOGES de 125 CV, duas novas bombas IMBIL – ITAP 500-600, além da aquisição de polias e uma balsa nova, trabalhos de terraplanagem e mantendo o aumento de 350 l/s na capacidade de bombeamento para a mesma área.

4.2 Resultados esperados

Os resultados esperados com o processo de efficientização dos sistemas de levante do produtor Gilberto Pilecco, estão baseados na redução de potência instalada, com a substituição de bombas em um levante, uso de motores de alto rendimento com Selo Procel além das adequações nos sistemas de bombeamento, considerando o sistema atual atendendo nova vazão e área a ser irrigada. A Tabela 8 apresenta os resultados esperados após as ações propostas de melhoramentos dos levantes da lavoura em questão.

Tabela 8 – Resultados esperados com o projeto de eficiência

DESCRIÇÃO	SISTEMA ATUAL	SISTEMA ATUAL (para nova vazão)	SISTEMA PROPOSTO
Quantidade	1 Estação	1 Estação	2 Estações
Potência total (CV)	500	705,88	500
Potência total (kW)	449	633,88	368,34
Energia Consumida (MWh/ano)	869,65	1.227,74	630,43
Custo Específico (R\$/ha)	235,56	332,55	170,76
RESULTADOS ESPERADOS			
Redução de Potência (kW)	265,55		
Energia Conservada (MWh/ano)	597,31		
Economia (%)	48,65		

Fonte: APS (2010)

Segundo o projeto de eficiência, a estimativa de redução de consumo foi fundamentada na redução de potência instalada, com a substituição de bombas, motores antigos pelos motores de alto rendimento comprovado pelo selo Procel, além de adaptações nos sistemas de bombeamento, considerando o sistema atual atendendo nova vazão dos levantes para área a ser irrigada.

É importante ressaltar que a economia de energia foi fundamentada de acordo com a diferença entre o sistema existente para uma nova vazão e o sistema proposto. Desse modo, a economia de energia anual seria:

$$1.227,74 \text{ MWh/ano} - 630,43 \text{ MWh/ano} = 597,31 \text{ MWh/ano}$$

Isso totalizava uma economia de aproximadamente 48,65%. O projeto visou beneficiar o produtor de forma que com a economia de energia elétrica, os valores que então eram tidos como custos para a lavoura, se reverterão em lucro após a quitação do projeto.

5. AUDITORIA DA SITUAÇÃO ATUAL

Na safra 2015/16 a equipe de alunos e professor da UNIPAMPA precederam a uma avaliação técnica das instalações de irrigação dos levantes da Estrada do Silvestre de propriedade do Sr. Gilberto Pilecco. Foram efetuadas avaliações elétricas, térmicas, hidráulicas por grupo de motobomba, assim como as condições topográficas dos mesmos. Abaixo descreve-se os aspectos mais representativos observados.

5.1 Quadros de comandos dos Levantes da Barragem e do Açude (Novo)

No levantamento de campo efetuado no processo de auditoria de resultados, o quadro do levante do açude necessita de reparos, pois apresentou falhas de conservação, onde é possível perceber na Figura 12, que o cobre está com uma coloração roseada, ou seja, está em estado de corrosão dos contatos e principalmente o relé térmico que se encontra com temperatura excessiva de aproximadamente 141° C, detectado através da câmera termográfica, deixando evidente um problema de sobrecorrente que supostamente foi causado por uma descarga atmosférica.

Figura 12 – Quadro de comando do Açude (novo) fusíveis com os terminais em mal estado de operação.



Fonte: Próprio autor

Ao deparar-se com o quadro de comando, observou-se que o mesmo apresentava um ruído diferente do que se espera de um quadro de comando normal, o que possibilita identificar a existência de problemas no sistema.

O que chama atenção no quadro de comando é o fato do fusível estar dimensionado para 500 A para proteção de um motor de 125 Cv. Partindo desse ponto, calculou-se a Corrente Nominal I_L para que seja compreendida a instalação desse fusível.

De acordo com Franchi (2008), para o dimensionamento dos fusíveis do tipo NH, deve-se descobrir qual a potência ativa do motor. Transformando a potência do motor de CV para kW, basta realizar o produto da potência dada em CV por 0,736.

Após encontrar a potência do motor em kW, pode-se calcular a corrente nominal como mostra a Equação 8.

$$I_L = \frac{\text{Potência (kW)}}{\sqrt{3} \cdot 380} \quad \dots (8)$$

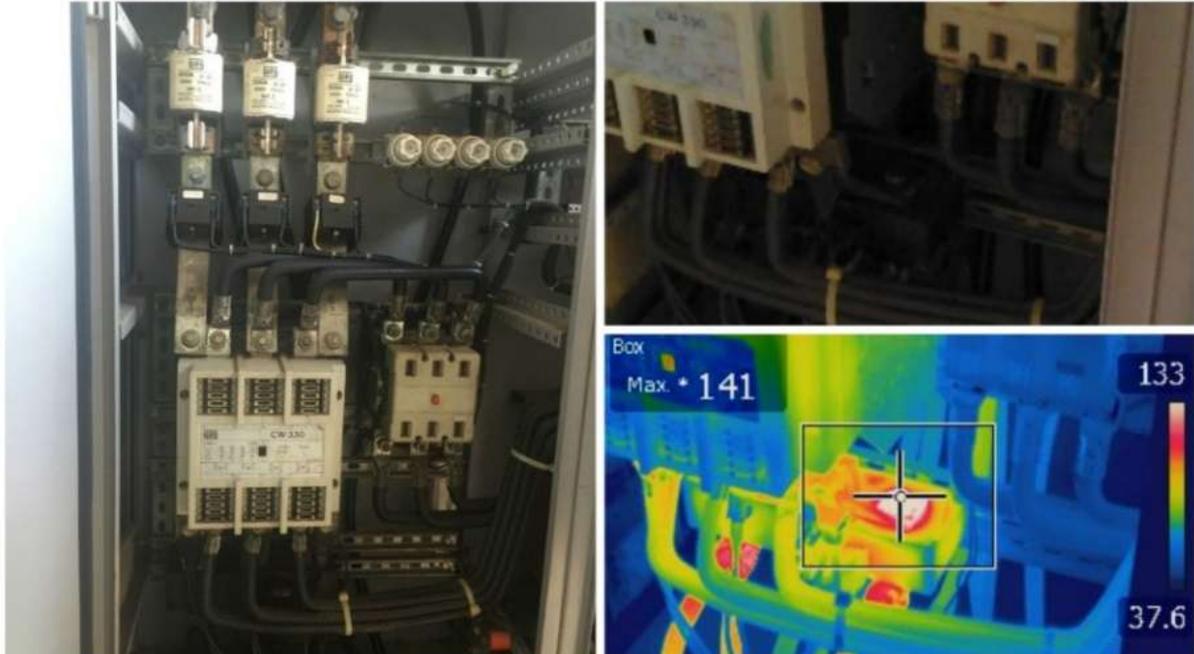
O valor encontrado para a potência do motor foi de aproximadamente 92 kW, e a corrente nominal I_L é de 139,77 A, porém, considerando um acréscimo de 20% da sua corrente nominal, cobrindo um envelhecimento prematuro do dispositivo, aumentando dessa forma a sua vida útil, e portanto, temos então que o valor para a proteção deverá ser de 167,73 A. Logo de acordo com o catálogo da WEG AUTOMAÇÃO (2016), o fusível apropriado para o sistema em questão deveria ser um fusível NH2 – 200 A tipo FNH2-200U.

Isso pode explicar o fato de o fusível da Figura 12 apresentar a coloração roseada, pois certamente está conduzindo corrente permanente, colocando em risco o sistema que está designado para realizar a proteção. Se ele possui capacidade de 500 A, e a corrente necessária para a proteção é de 167,73 A, esse fusível nunca vai atuar pois precisará uma corrente maior que 500 A para ativá-lo.

O relé térmico é o responsável pela proteção, controle e comando do circuito elétrico, atuando por efeito térmico provocado por correntes elevadas. As medições no quadro de comando do açude não foram finalizadas, pois as condições no qual o relé apresentou impossibilitou que o mesmo fosse investigado a fundo, já que a segurança estava em risco havendo o risco de uma possível explosão no dispositivo, portanto, optou-se pela não instalação do MUG para verificar as grandezas do

sistema. A Figura 13 apresenta o quadro de comando e a alta temperatura que se encontra o relé térmico.

Figura 13 – Quadro de comando do Açude (novo) com alta temperatura do relé térmico



Fonte: Próprio autor

5.2 Análises dos resultados do Medidor de Grandeza Universal (MUG)

Segundo a WEG (2016), muito da vida útil do motor elétrico varia de acordo com alguns fatores que precisam ser ressaltados: valores de tensão próximos aos valores nominais, baixa presença de harmônicas na rede elétrica, valores altos de fator de potência, dimensionamento adequado e proteção correta. Todos esses fatores devem fazer com que o equipamento tenha maior durabilidade, evitando que o mesmo sofra alterações, como por exemplo, a rebobinagem, pois o motor rebobinado não consegue atender os padrões de um motor novo.

A queima de um motor elétrico pode ocorrer através de um curto-circuito causado pela falha no material isolante ou por problemas na rede no qual está ligado. O fio de cobre que constitui o bobinado dos motores é revestido por uma fina película de material isolante, que impede que a corrente flua desordenadamente pelos enrolamentos. Este material isolante é fabricado para aguentar níveis elevados

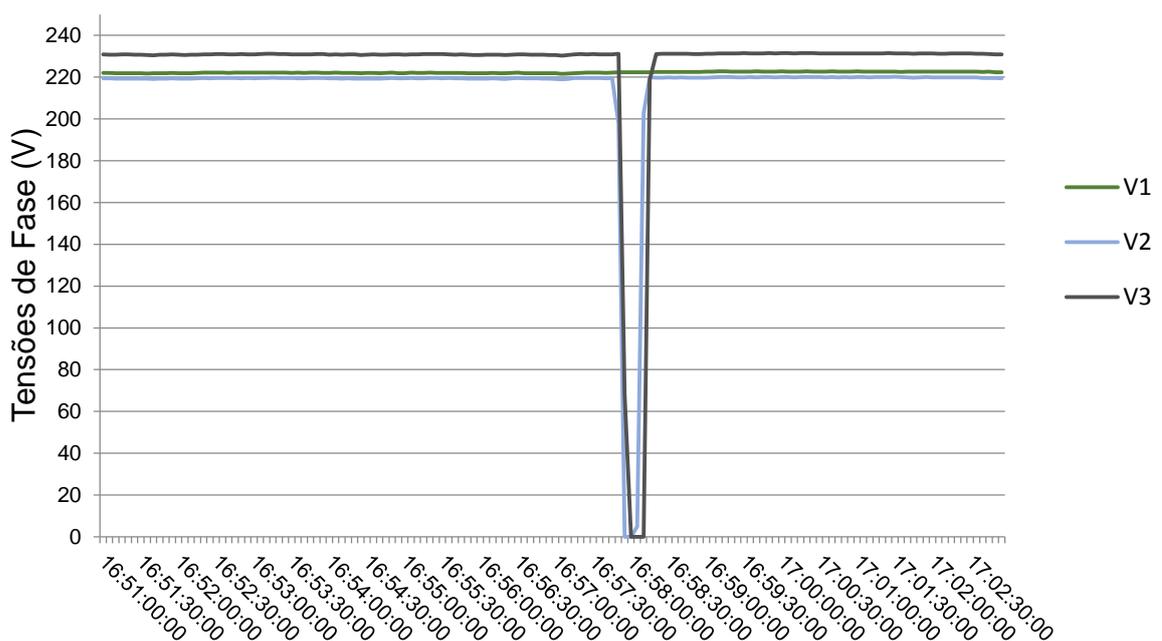
de temperatura e tensão, entretanto, a baixa qualidade da energia que o alimenta, prejudica a durabilidade do material.

Caso a instalação possua um alto fator de potência, faz com que os fios esquentem mais para um mesmo valor de corrente, fazendo que o material atinja altas temperaturas degradando o material isolante.

Se a rede se apresentar níveis de tensão com muita variação, no aspecto de a tensão for excessivamente abaixo de valores nominais, exigirá do motor uma corrente maior para lhe entregar a mesma potência ativa, da mesma forma que se houver tensões maiores, irá danificar o material rapidamente. E quanto mais rápido a tensão variar, a temperatura de todo o motor irá aumentar.

Com o dispositivo MUG, é possível conferir se as instalações do levante estão seguindo os requisitos técnicos exigidos para o bom funcionamento dos motores do conjunto hidráulico. Para que isso seja possível, instalou-se o MUG no quadro de comando do Levante da Barragem e este programado para registrar os valores das grandezas integralizando os registros a cada 5 segundos para uma um período de 11 minutos, adquirindo os valores referentes a tensão, corrente, fator de potência, potência ativa, potência reativa e aparente da instalação, e assim, identificar possíveis avarias que existem no sistema, conforme o Gráfico 2, que faz o detalhamento para os níveis de tensão.

Gráfico 2 – Valores gerados pelo MUG para tensão

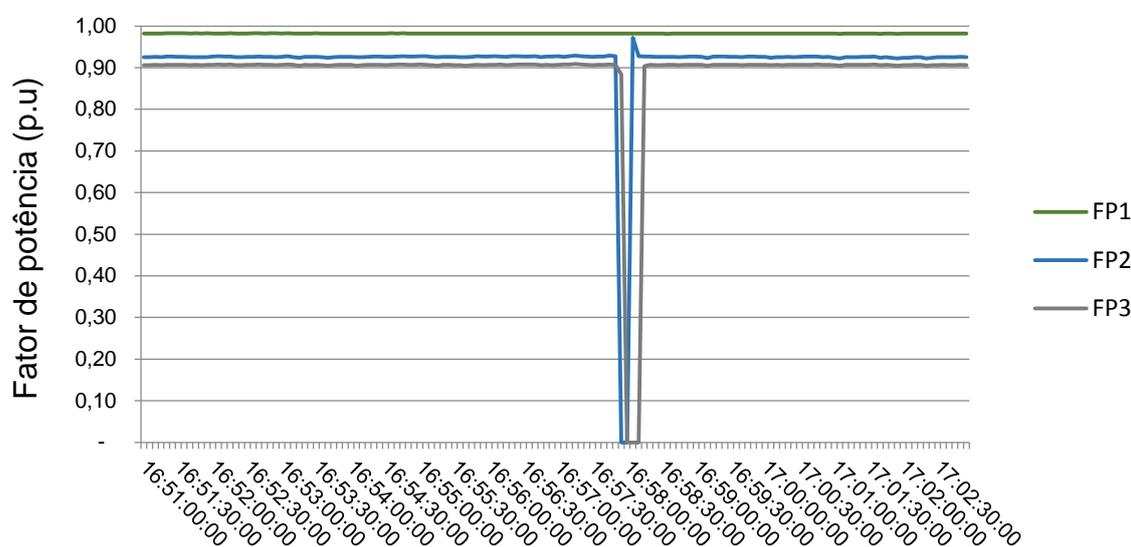


Fonte: Próprio autor

Observa-se no Gráfico 2, que nas fases 2 e 3 houve uma interrupção do sistema de aproximadamente 1 minuto, enquanto a fase 1 não foi atingida pela falta de energia. Percebe-se que os níveis de tensão estão dentro do adequado seguindo a recomendação do Modulo 8 do PRODIST (2010), cujo o valor da tensão lida deve estar entre $201 \leq TL \leq 231$ V.

O fator de potência não registrou, para esse período de medição, valores que são considerados críticos, ou seja, valores abaixo de 0,92 aceito pela concessionária de energia, portanto, não demonstra preocupação. O gráfico 3 demonstra os valores para o fator de potência do sistema.

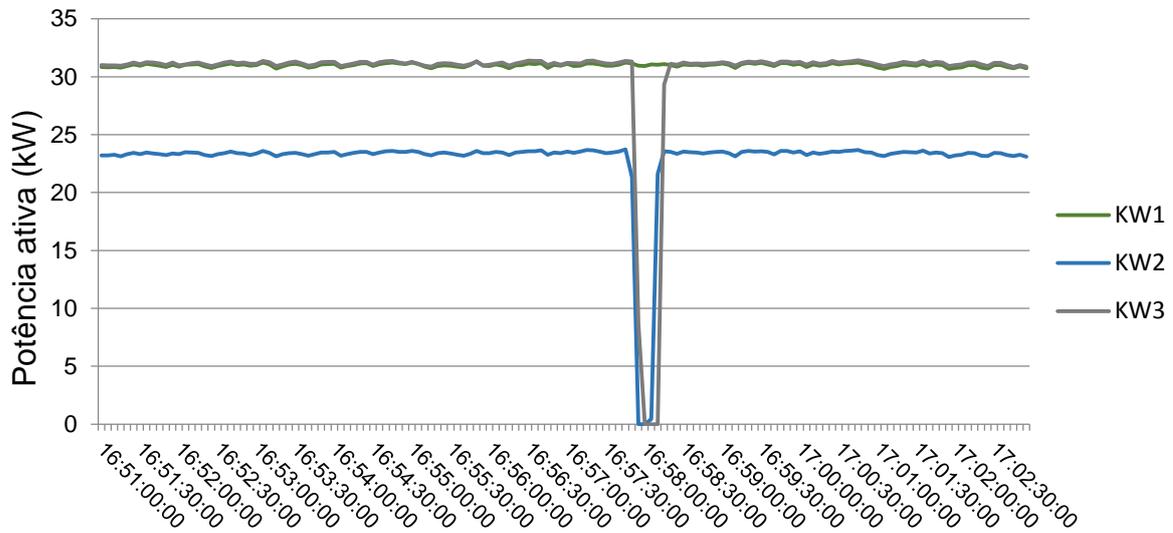
Gráfico 3 – Valores gerados pelo MUG para o fator de potência



Fonte: Próprio autor

O Gráfico 4 mostra os valores para potência ativa nas três fases, de acordo com os valores obtidos para o fator de potência, mostram que o nível para potência ativa possui uma pequena diferença, sendo a fase 1 e 3 estando em níveis parecidos, porém a fase 2 está um pouco desbalanceada em relação a fase 1 e 3. Comparando o Gráfico 2 com o Gráfico 4, após a falha ocorrida na rede elétrica, o dispositivo de proteção contra interrupções de uma ou mais fases, também conhecido como relé falta de fase, não veio a atuar no sistema de comando para o desligamento do motor, o que indica possível defeito ou queima desse relé.

Gráfico 4 - Valores gerados pelo MUG para potência ativa



Fonte: Próprio autor

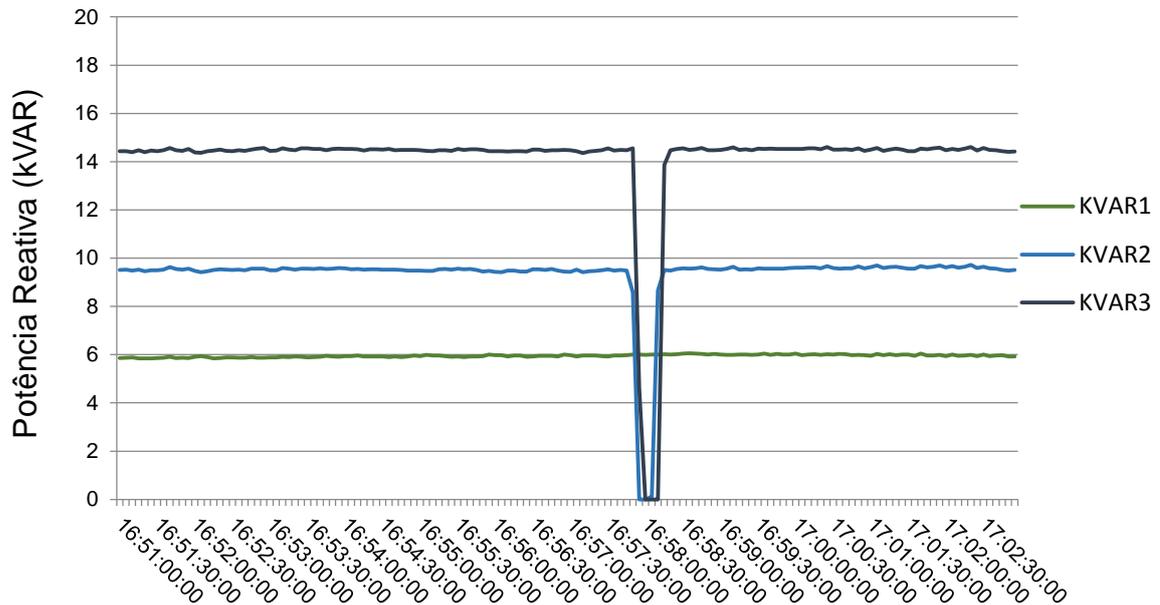
O Gráfico 5 representa os valores de potência reativa, o que deixa evidente é a grande variação nos níveis de potência reativa entre as fases. Como a potência reativa é utilizada para carga nos capacitores e para a produção de campos magnéticos nas bobinas dos motores e transformadores, ela não é propriamente consumida, ou seja, é utilizada, porém logo é devolvida para a rede.

Dessa forma a concessionária impõe limites para sua utilização. Como capacitores e bobinas se beneficiam da potência reativa em tempos inversos, acrescenta-se banco de capacitores para que troquem potência reativa entre si, melhorando o fator de potência.

Como os limites medidos para potência reativa apresentam uma grande variação entre si, pode haver um problema tanto no banco de capacitores como nas bobinas do motor, o que poderia ser um motor rebobinado.

É importante manter os níveis de potência reativa o mais baixo possível, pois a potência ativa terá mais espaço para sua circulação. Desta forma, quanto mais próximo os valores de potência ativa, reativa e aparente, a instalação será mais eficiente.

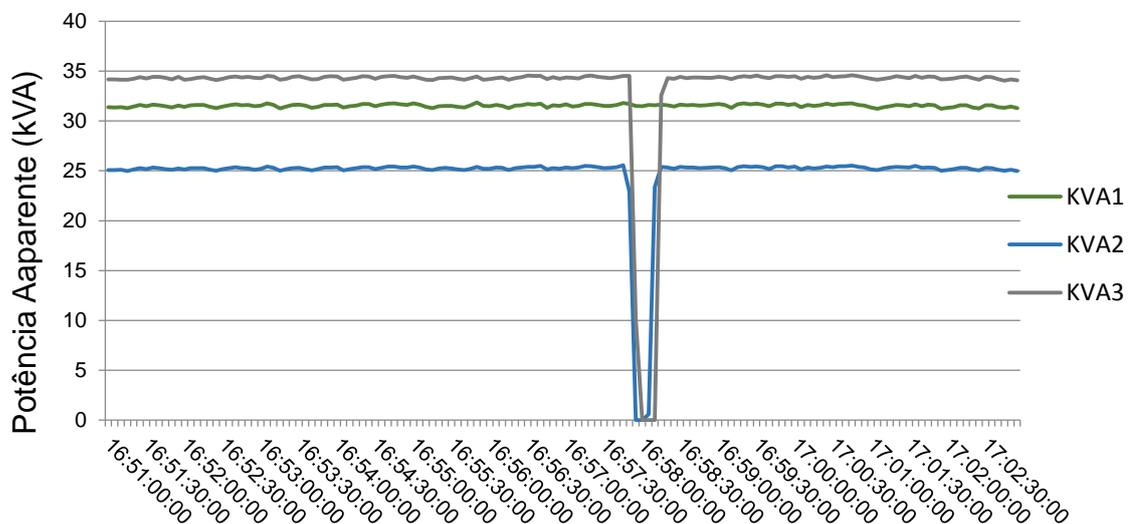
Gráfico 5 - Valores gerados pelo MUG para potência reativa



Fonte: Próprio autor

No Gráfico 6, são apresentados valores para a potência aparente do sistema, deixando claro a variação dos valores medido não são os mais adequados, levando em conta que os valores entre fase deveriam ser os mais próximos possíveis. Levando em consideração o desbalanceamento da diferença de corrente das fases, pode-se concluir que este motor pode ter sido rebobinado, o que pode causar o desnível de corrente reativa nas fases.

Gráfico 6 - Valores obtidos pelo MUG para potência aparente



Fonte: Próprio autor

Para uma análise mais precisa, montou-se uma tabela que compõe os valores mínimos e máximos, com os valores das grandezas registradas pelo MUG, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9 – Valores das grandezas registradas pelo MUG

Grandezas Elétricas		Mínima	Máxima	Média
Correntes (A)	I1	140,30	143,60	141,96
	I2	113,72	116,39	115,09
	I3	147,31	149,72	148,7
Tensões (V)	V1	221,511	222,77	222,25
	V2	0,00	220,11	214,79
	V3	0,00	231,53	224,98
Potências Ativas (kW)	kW1	30,68	31,33	31,00
	kW2	0,00	23,73	22,90
	kW3	0,00	31,42	30,34
Potência Reativa (kVAR)	kVAR1	5,84	6,06	5,95
	kVAR2	0,00	9,72	9,33
	kVAR3	0,00	14,60	14,12
Potência Aparente (kVA)	kVA1	31,24	31,86	31,55
	kVA2	0,00	25,55	24,72
	kVA3	0,00	34,59	33,45
Fator de Potência (FP)	FP1	0,98	0,98	0,98
	FP2	0	0,97	0,91
	FP3	0	0,91	0,89
Valores Médios Trifásicos	Corrente (A)	133,89	136,39	135,25
	Fator de potência (Fp)	0,94	0,98	0,94
	Potência ativa (Kw)	30,93	114,46	84,24
	Potência reativa (Kvar)	5,99	30,30	29,40
	Potência aparente (Kva)	31,49	91,89	89,73
	Corrente de neutro (A)	3,41	4,05	3,86

Fonte: Próprio autor

5.3 Análise das faturas de energia

Segundo a resolução 414/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, a passagem de períodos de ponta e fora ponta, deve ser estabelecida pela concessionária de energia elétrica em um período de 1 mês. Para isso temos as seguintes condições para o uso final de energia para o produtor rural na Tabela 10.

Tabela 10 – Horas de operação para os períodos ponta, fora ponta e reservado

Operação Diária	21 horas
Sem operação na ponta	-
Horário Reservado	8,5 horas
Fora Ponta	12,5 horas
Dias de Operação	31 dias
Meses de Faturamento	1 mês

Fonte: ANEEL (2010)

De acordo com a LEI FEDERAL Nº 10.438, de 26 de Abril de 2002, em seu Art. 25 estabeleceu-se que os descontos especiais nas tarifas de energia elétrica aplicadas para os consumidores que se enquadram na Classe Rural, abrangendo Cooperativas de Eletrificação rural, serão concedidos ao consumo que se verifique na atividade de irrigação e aquicultura desenvolvida em período diário contínuo de 8h30m de duração, é permitido ao concessionário ou permissionário de serviço público de distribuição de energia elétrica o estabelecimento de escalas de horário para início, mediante acordo com os consumidores, garantindo o horário compreendido entre 21h30m e 6h do dia seguinte.

Assim ter-se ainda em um período compreendido de 31 dias, 387,5 horas operando o sistema em período fora Ponta, com 263,5 horas no Horário Reservado como é mostrado na Tabela 11.

Tabela 11– Divisão de cada período de operação para 31 dias de faturamento.

	Dias Úteis	Fim de Semana	Total de Horas
Dias do Mês	21	10	31
Fora Ponta	262,5	125	387,5
Reservado	178,5	85	263,5
Ponta	63	-	63
TOTAL			714

Fonte: LEI FEDERAL Nº 10.438 (2002)

Seguindo as premissas da Resolução 414 da ANEEL, é possível calcular a quantidade de horas em que o consumidor operou em cada mês através da equação 9.

$$\text{Horas de Operação} = \frac{\text{Consumo Total}}{\text{Demanda Lida}} \quad \dots (9)$$

Para calcular os dias em que o sistema opera no mês, deve-se dividir o tempo em que o sistema operou por 21 horas, pois os períodos de ponta não são contabilizados aos finais de semana de acordo com a equação 10.

$$\text{Dias de Operação} = \frac{\text{Horas de operação}}{21} \quad \dots(10)$$

O tempo em que atuou no Horário Reservado pode ser obtido através da equação 11.

$$\text{Dias de operação Horário Reservado} = \frac{\frac{\text{Consumo Total}}{\text{Demanda Lida}}}{8,5} \quad \dots (11)$$

Para calcular a atuação no Horário Fora de Ponta deve-se observar o consumo total em fora de Ponta, dessa forma, calcula-se a razão do consumo total em Fora Ponta e a Demanda Lida por 12,5 horas, que é o tempo de operação para Fora Ponta como mostra a equação 12.

$$\text{Dias de operação Fora de Ponta} = \frac{\frac{\text{Consumo Total FP}}{\text{Demanda Lida}}}{12,5} \quad \dots (12)$$

A Tabela 12 consiste no complemento do Anexo A fornecido pela AES Sul, compreendendo o período da safra 2009/2010, onde se fez os cálculos das horas de operação, dias em que se operou no mês, dias em horário reservado e fora ponta.

De acordo com o Anexo A e a tabela 12, ordenou-se o número de demanda contratada, máxima demanda, consumo e horas de operação por período de safra como mostra a Tabela 13.

Tabela 12 – Faturas de energia para safra 2009/2010

Período	SAFRA 2009/2010														
	R\$	Área (há)	Dem. Contrada (KW)	Dem. Lida (KW)	Consumo P (KWh)	Consumo FP (KWh)	Consumo HR (KWh)	Consumo Total (KWh)	UFER P	UFER FP	UFDR FP	HORAS DE OPERAÇÃO	DIAS POR MÊS	DIAS DE HR	DIAS DE FP
out/08	26,67	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
nov/08	11203,05	522	30	266	249	23.152	13.040	36.441	-	-	-	137,00	6,52	5,77	6,96
dez/08	28103,05	522	240	434	3.628	113.632	74.800	192.060	3	608	4	442,53	21,07	20,28	20,95
jan/09	28462,71	522	240	433	183	129.632	79.104	208.919	872	9.520	0	482,49	22,98	21,49	23,95
fev/09	31264,12	522	240	449	2.054	136.016	82.128	220.198	106	12.512	18	490,42	23,35	21,52	24,23
mar/09	8242,46	522	240	233	1.471	25.616	11.376	38.463	752	7.328	17	165,08	7,86	5,74	8,80
abr/09	3154,67	522	240	125	1.116	5.200	1.936	8.252	76	912	6	66,02	3,14	1,82	3,33
mai/09	-	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
jun/09	-	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
jul/09	-	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ago/09	-	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
set/09	-	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
out/09	-	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
nov/09	-	522	410	36	69	496	208	773	-	-	-	21,47	1,02	0,68	1,10
dez/09	8656,70	522	410	428	519	26.752	16.688	43.959	-	-	-	102,71	4,89	4,59	5,00
jan/10	23374,84	522	410	432	1.821	97.696	60.768	160.285	678	11.760	-	371,03	17,67	16,55	18,09
fev/10	20696,97	522	410	427	535	126.976	83.104	210.615	533	8.400	-	493,24	23,49	22,90	23,79
mar/10	6.236,06	522	410	423	7	11.152	6.944	18.103	8	848	-	42,80	2,04	1,93	2,11

Fonte: Próprio Autor

Tabela 13– Demanda contratada e verificada

Grandezas	Safrá			
	08-09	09-10	14-15	15-16
Demanda Contratada kW	240	410	373	373
Máxima Demanda Faturada kW	449	432	385	392
Consumo kWh	704.333	433.735	354,947	549.723
Horas de Operação	1.784	1.031,25	963,96	1.414,23

Fonte: Próprio autor

5.4 Análise da Memória de Massa

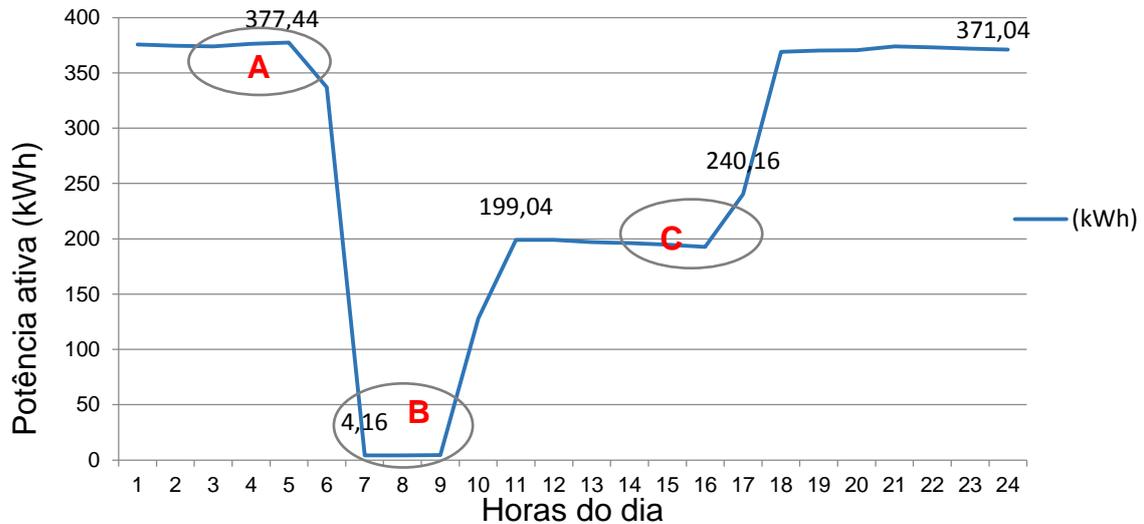
A memória de massa é um registro de potência ativa, reativa e aparente em um período de 30 dias disponibilizado pela concessionária de energia para classes de acordo com o consumo ou segmento específico de clientes a tensão de fornecimento.

É um serviço extra que pode ser requerido pelo cliente e são disponíveis em arquivo público, porém estão condicionadas ao medidor e sua disponibilidade de armazenamento pela distribuidora.

O arquivo público de acordo com a RN 414 (ANEEL,2012), só pode ser lido com um software específico e esse arquivo tem um prazo de até 30 dias uteis a contar da data da solicitação, e ainda, pode ser cobrado pelo serviço com uma taxa de R\$ 53,51, a ser faturado na fatura de energia seguinte.

Para este caso, não foi possível obter o arquivo público da memória de massa do produtor, pois esse serviço tende a ser lento e à maioria das vezes, a solicitação é feita mais de uma vez até que seja atendida. Além da demora em se obter os dados de memória de massa, atualmente a concessionaria envia para o cliente os registros em formato .xlsx (Excel), existindo a desconfiança de que esses dados não reflitam a realidade das medições, por erros de aquisição ou manipulação dos dados. O Gráfico 7 apresenta o registro de potência ativa no sistema para o período de 24 h de quinta-feira 07/01/2016.

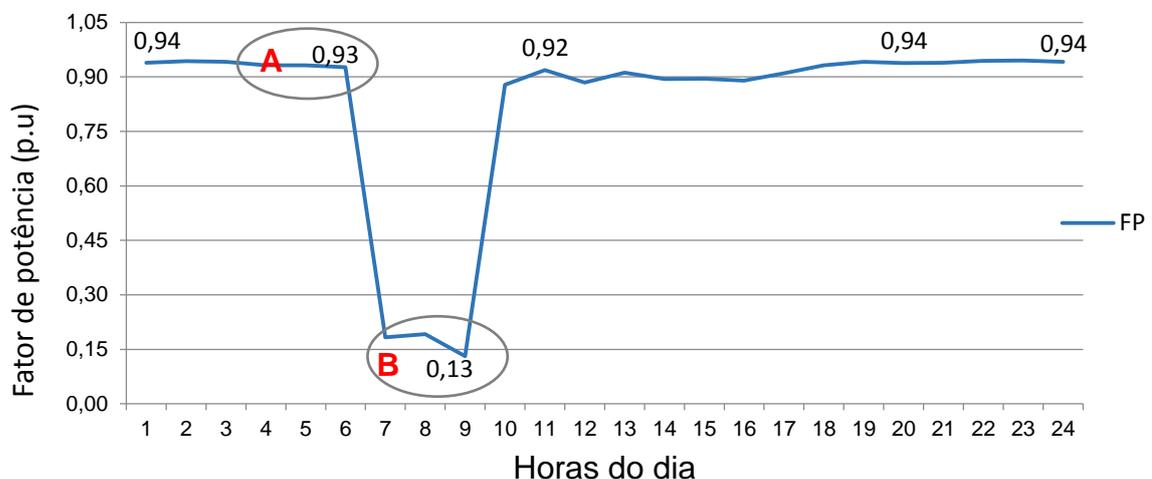
Gráfico 7 – Potência ativa no período de 07/01/2016



Fonte: Próprio autor

Percebe-se na região A que o carregamento do sistema é total no horário reservado, o que significa que ele está com os motores em pleno funcionamento com os dois levantes bombeando água. Já na região B, os motores são desligados, pois está em horário de ponta definido pela concessionária com o cliente, período este que compreende de 06:00 até 09:00. No ponto C, o carregamento do sistema é parcial, pois está bombeando água da barragem grande para o açude e logo após, o carregamento volta a carga total, com os dois levantes ligados. O Gráfico 8 apresenta valores para fator de potência para o mesmo período do Gráfico 7.

Gráfico 8 – Fator de potência no período de 07/01/2016



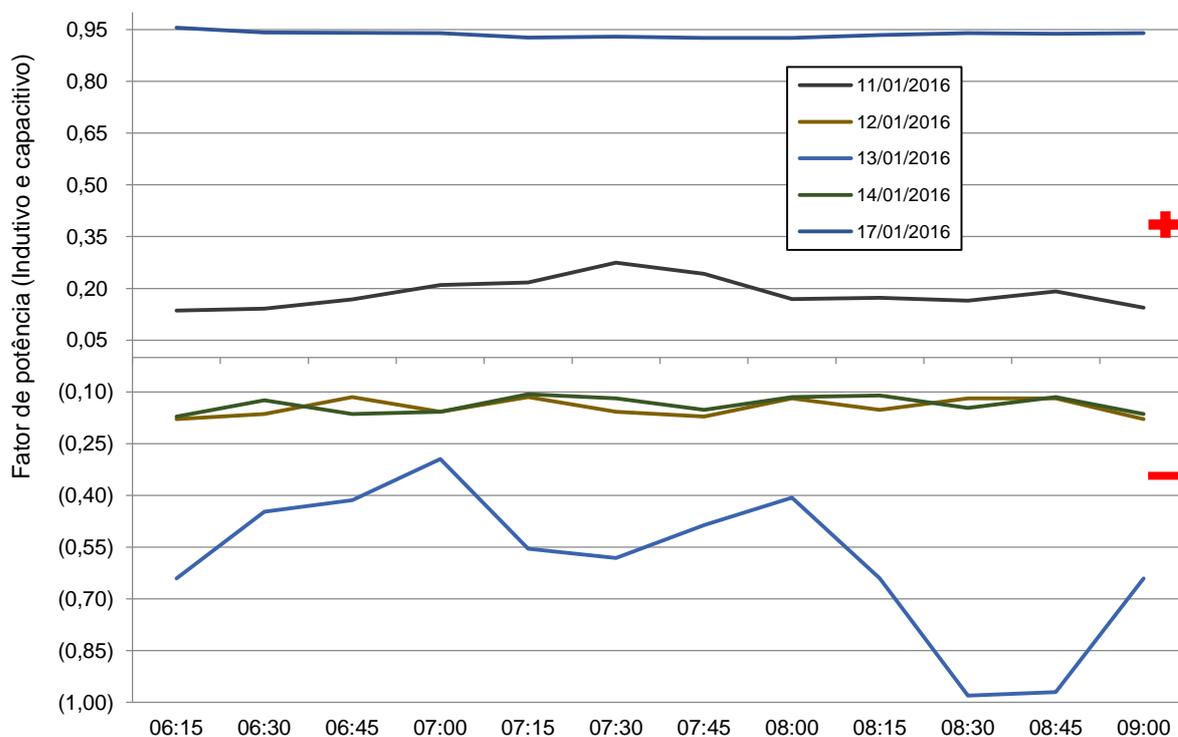
Fonte: Próprio autor

Percebe-se que na região A, os níveis de fator de potência estão dentro do esperado, acima de 0,92 nível que é determinado pela concessionária, porém no ponto B, os valores registrados são críticos, o que pode gerar multas para o produtor. Esses valores abaixo da faixa de 0,92 podem ser explicados pelo fato de que, quando os motores são desligados, o banco de capacitor está desligando completamente e não está realizando a compensação dos reativos do transformador do sistema, e dessa forma os reativos do transformador induzem os valores de fator de potência reduzir bruscamente.

Como a medição da concessionária é realizada em alta tensão, o registro ocorre antes do transformador do levante e, portanto, no momento em que o levante estiver desligado, estarão presentes apenas os reativos do transformador do levante. Logo, faz-se necessário a instalação de um banco de capacitores de alta tensão para fazer a correção do fator de potência do transformador.

Ainda, segundo a memória de massa, verificou-se que alguns dias compreenderam valores imprevistos de fator de potência indutivos e capacitivos. Esta análise pode ser observada de acordo com o Gráfico 9.

Gráfico 9 – Valores de fator de potência indutivos e capacitivos



Fonte: Próprio autor

Para elaboração do Gráfico 9, não foram considerados os finais de semana, pois aos sábados e domingos, os valores de fator de potência mantiveram-se de acordo com o limite imposto pela concessionária que é de 0,92. No entanto, nos dias úteis na saída do horário reservado a partir das 06:00 da manhã, esses valores sofreram uma alteração em três dias diretos, apresentando fator de potência capacitivos, que são os valores negativos mostrados no Gráfico 9. Isto pode ser explicado pelo alívio da solicitação da rede, pela saída do motor, restando somente o capacitivo gerado pela rede de distribuição e pela solicitação de indutivo por parte da magnetização do transformador. A ocorrência neste período de Fator de Potência Indutivo no dia 11/01 não tem outra explicação a não ser erro de leitura por parte da concessionária. Vale salientar que os dados analisados foram fornecidos pela AES SUL já em planilha Excel, logo podem ter sofrido manipulação.

Constatou-se ainda que, ao desligar os motores ao final do período reservado, existe valores de potência ativa para o horário de ponta entre 06:00 e 09:00 da manhã. Ainda no dia 8/01/2016, foi registrado um valor de 100,48 kW e um fator de potência de 0,88, seguido de 0,18 na hora seguinte. Isto ocorre devido ao timer (dispositivo que aciona o motor) não estar ajustado no mesmo horário do registrador da concessionária, o que acarreta multas para o produtor, pois não é permitido a operação dos levantamentos nesse horário. Mais informações estão contidas no Anexo C.

Ainda, para o período da memória de massa de 07/01 a 18/01/2016, foi registrado um valor máximo de 379,52 kWh de potência ativa. Essa leitura de carga acontece a cada 15 minutos, e dessa forma, conforme manual de tarifação de energia elétrica (2011), a demanda medida no final do mês é a máxima demanda verificada ao longo do mês. Para uma melhor análise, conferir o Anexo B.

Considerando o valor máximo demandado pela memória de massa e comparando com o valor de demanda lida, conforme a Tabela 14, que apresenta as faturas de energia da safra 2015/16, o valor para demanda lida em janeiro é de 386 kW. Isso faz com que se torne difícil fazer uma análise completa, pois os registros de memória de massa concebidos pela concessionária são de apenas 10 dias, faltando 20 dias para ser explorado o que impossibilita uma análise completa em relação ao real consumo.

Tabela 14 – Faturas de energia para safra 2015/2016

Período	SAFRA 2015/2016														
	R\$	Área (há)	Dem. Contrada (KW)	Dem. Lida (KW)	Consumo P (KWh)	Consumo FP (KWh)	Consumo HR (KWh)	Consumo Total (KWh)	UFER P	UFER FP	UFDR FP	HORAS MEDIÇÃO	DIAS POR MÊS	DIAS DE HR	DIAS DE FP
dez/14	2.056,44	522	103	107	87	20.700	12.893	33.680	1	169	95	314,77	14,99	14,18	15,48
jan/15	6.680,78	522	103	106	-	20.694	15.052	35.746	-	754	464	337,23	16,06	16,71	15,62
fev/15	8.124,78	522	103	110	-	28.546	17.237	45.783	-	478	316	416,21	19,82	18,44	20,76
mar/15	8.384,12	522	103	104	-	22.841	15.456	38.297	-	303	224	368,24	17,54	17,48	17,57
abr/15	3.859,51	522	103	103	-	4.432	5.019	9.451	-	462	501	91,76	4,37	5,73	3,44
mai/15	0	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
jun/15	123,88	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
jul/15	0	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ago/15	16,4	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
set/15	146,96	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
out/15	146,03	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
nov/15	4.603,36	522	103	101	-	5.642	4.985	10.627	-	496	435	105,22	5,01	5,81	4,47
dez/15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
jan/16	70.624,51	522	373	386	883	135.952	67.792	204.627	1005	15600	8544	530,12	25,24	20,66	28,18
fev/16	62.861,34	522	373	392	253	151.904	78.818	230.975	894	752	608	589,22	28,06	23,65	31,00
mar/16	33.362,79	522	373	387	185	67.440	46.496	114.121	187	432	368	294,89	14,04	14,13	13,94

Fonte: Próprio autor

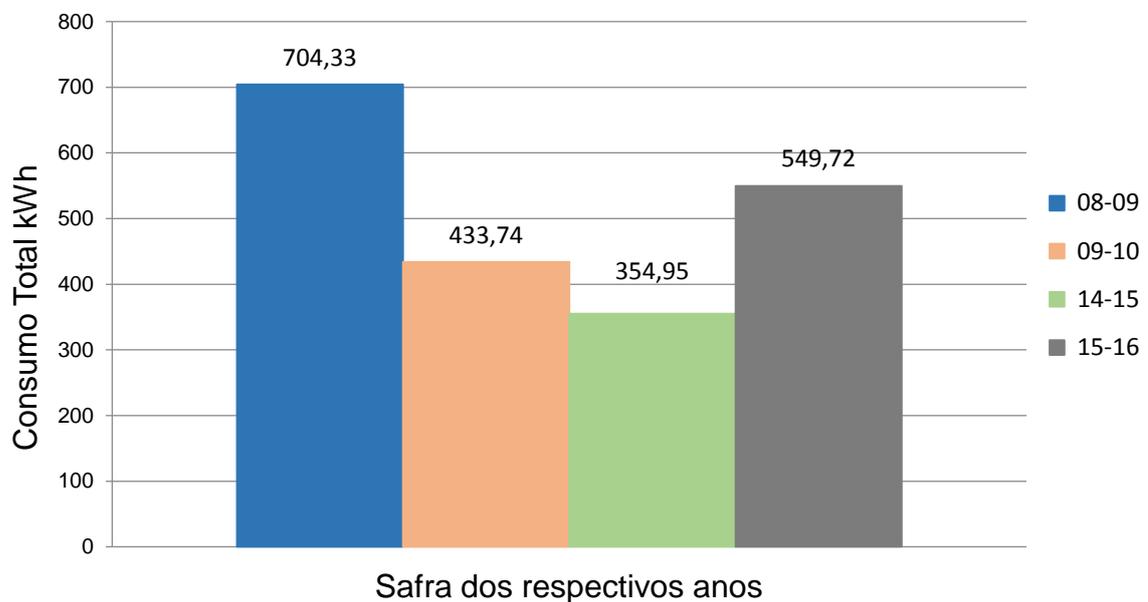
5.5 Análise da Eficiência Energética

Após a implantação do projeto de eficiência, era esperado uma redução de potência ativa de aproximadamente 265,55 kW, energia conservada de 597 MWh/ano totalizando uma redução total de 48,65% de economia de energia para a nova configuração dos levantes.

As instalações do levante ainda continuam as mesmas, nada se alterou, nem mesma a área irrigada que segue de 522 ha. Os dados para registros de vazão no levante não serão possíveis analisar, por conta de falhas dos aparelhos usados, portanto, considera-se os valores do projeto de eficiência para os 522 há que serão irrigados.

Analisando as faturas de energia para as safras que antecederam o projeto de eficiência, montou-se o Gráfico 10 que apresenta os valores de consumo total em kWh por safra analisada.

Gráfico 10 – Consumo total em kWh por safra



Fonte: Próprio autor

O Gráfico 10 demonstra que houve uma redução do consumo total após a implementação do projeto elaborado para o produtor. Comparando-se a safra de 08-09 com a safra de 2014-15 houve uma redução de 349,38, ou 49,6% de consumo total durante a irrigação, satisfazendo os resultados esperados pelo projeto de eficiência. Porém, ao comparar com 2015-16, percebe-se que houve um aumento significativo do consumo para esta safra em relação a safra passada de 2014-15.

O que pode explicar essa variação foi o ano atípico enfrentado para esta safra em função de vários problemas climáticos que aconteceram em novembro e dezembro de 2015. Houve inundações decorrentes das fortes chuvas que atingiram a fronteira oeste do Estado o que atrasou o plantio das sementes.

Passado as chuvas e enchentes, fez-se necessário uso intensivo dos levantes em janeiro e fevereiro, portanto, isso explica o fato de o consumo ter sido maior do que na safra passada como está apresentado na Tabela 12, que indica que o tempo de operação dos motores foi maior para essa safra.

Comparando os valores da safra 08-09 com 15-16, houve uma redução de 154,61, ou 21,95% de consumo total durante a safra, deixando evidente os problemas enfrentados em relação as chuvas, fazendo com que os motores fossem acionados por mais tempo, o que aumentou a demanda de carga para essa safra.

6. CONCLUSÕES

A irrigação através de bombas acionadas por motores elétricos tem uma parcela considerável no custo final da geração do arroz. O alto custo das tarifas faz com que a busca pela eficiência energética seja cada vez mais constante, e mediante a isso, a concessionária de energia elétrica trabalha com programas que visam contemplar através de ações, a redução do desperdício de energia elétrica advindo das perdas existentes nas suas instalações.

Para o caso apresentado, constatou-se que a redução estimada inicialmente pelo projeto de eficiência foi efetiva do ponto de vista energético. As adequações impostas pelo projeto foram eficazes, fazendo com que um dos conceitos de eficiência, que busca minimizar o desperdício de energia em seu uso final, foi atingido, pois aumentou a capacidade de vazão de seus levantes e diminuiu-se parte da demanda contratada e consumida para irrigar a mesma área.

No entanto, observam-se falhas nas condições de operação e manutenção dos sistemas, o que provoca comportamento inadequado dos equipamentos e seus comandos. Atenção especial deve ser dada quando da ocorrência de intempéries climáticas que resultam em condições indevidas de operação, conforme evidenciado no trabalho. Além disso, esta manutenção deve ser realizada por profissionais qualificados e os equipamentos devem ser bem dimensionados.

O acompanhamento das condições de operação elétrica, através da memória de massa do fornecimento de energia elétrica é uma premissa básica para o enquadramento adequado do faturamento, podendo identificar os pontos falhos da instalação, assim como os erros administrativos ocasionados pela inadequada manipulação dos dados contabilizados.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **RN 414**: Condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Brasília, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional**: Modulo 8 (Qualidade de Energia Elétrica). Brasília, 2010.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.991**, de 24 de julho de 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF, 2000.

CARVALHO J.A.; B.JUNIOR R.A.; REIS J.B.R.S.. **Análise de custos na escolha do tipo de motor para acionamento de bombas em áreas irrigadas**. Lavras – Minas Gerais: UFLA, 2000.

EMBRAPA. **Cultivo do arroz irrigado no Brasil: sistemas de produção**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrigadoBrasil/cap01.htm>>. Acesso em: 30 out. 2015.

FRANCHI, C.M. **Acionamentos elétricos**, 4ª Edição. Editora Érica Ltda, 2008.

IRGA - INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Produtividade municipais safra 14/15**. Porto Alegre, 2015.

_____. **Produtividade municipais safra 12/13**. Porto Alegre, 2013.

KAEHLER J. W. M; et.al. **Ações integradas de eficiência energética no segmento orizícola da AES SUL e sua repercussão no segmento econômico gaúcho**. Belo Horizonte, 2006.

KAEHLER J.W.M. **Energia Elétrica: Gargalos e oportunidades**. Alegrete, 2015.

KAEHLER, J.W.M. **Eficiência Energética: da Avaliação Gerencial à Auditoria Energética** (no prelo). Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2016.

KOPP MARINI. **Eficiência energética em estações de recalque de água para irrigação da lavoura de arroz**. Uruguaiana, 2002.

MANUAL DE TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL**. Brasília, 2011.

PLANO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA. **Premissas e diretrizes básicas**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2010.

WEG MOTORES ELÉTRICOS. **Guia de Especificação**. Jaraguá do Sul: Grupo WEG, 2016.

WEG AUTOMAÇÃO. **Fúsiveis aR e gL/gG, tipo nh contato faca, nh flush end diametral**. Jaraguá do Sul: Grupo WEG, 2016.

ZOCOLER J.L. **Modelo de dimensionamento econômico de sistemas de recalque em projetos hidroagrícolas**. Piracicaba: ESALQ 1998.

ANEXO A

Período	SAFRA 2009/2010										
	R\$	Área (há)	Dem. Contrada (KW)	Dem. Lida (KW)	Consumo P (KWh)	Consumo FP (KWh)	Consumo HR (KWh)	Consumo Total (KWh)	UFER P	UFER FP	UFDR FP
out/08	26,67	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-
nov/08	11203,05	522	30	266	249	23152	13040	36441	-	-	-
dez/08	28103,05	522	240	434	3628	113632	74800	192060	3	608	4
jan/09	28462,71	522	240	433	183	129632	79104	208919	872	9520	0
fev/09	31264,12	522	240	449	2054	136016	82128	220198	106	12512	18
mar/09	8242,46	522	240	233	1.471	25616	11376	38463	752	7328	17
abr/09	3154,67	522	240	125	1.116	5200	1936	8252	76	912	6
mai/09	-	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-
jun/09	-	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-
jul/09	-	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-
ago/09	-	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-
set/09	-	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-
out/09	-	522	30	-	-	-	-	-	-	-	-
nov/09	-	522	410	36	69	496	208	773	-	-	-
dez/09	8656,70	522	410	428	519	26752	16688	43959	-	-	-
jan/10	23374,84	522	410	432	1821	97696	60768	160285	678	11760	-
fev/10	20696,97	522	410	427	535	126976	83104	210615	533	8400	-
mar/10	6236,06	522	410	423	7	11152	6944	18103	8	848	-

Fonte: APS (2010)

ANEXO C

07/01/2016 - Quinta - Feira						08/01/2016 - Sexta - Feira						09/01/2016 - Sábado						10/01/2016 - Domingo						11/01/2016 - Segunda-Feira						12/01/2016 - Terça-Feira					
Dia	Hora	kWh	kVARh	Cosφ	kVA	Dia	Hora	kWh	kVARh	Cosφ	kVA	Dia	Hora	kWh	kVARh	Cosφ	kVA	Dia	Hora	kWh	kVARh	Cosφ	kVA	Dia	Hora	kWh	kVARh	Cosφ	kVA	Dia	Hora	kWh	kVARh	Cosφ	kVA
1	375,52	140,48	0,94	400,94	0	1	371,84	131,52	0,94	394,41	1	372,80	140,00	0,94	398,22	1	374,08	134,72	0,94	397,60	1	372,64	145,92	0,93	400,19	1	371,68	101,28	0,96	385,23					
2	374,72	131,68	0,94	397,18	4	2	372,48	133,76	0,94	395,77	2	372,00	143,68	0,93	398,78	2	372,32	133,60	0,94	395,56	2	315,52	122,24	0,93	338,37	2	372,64	101,76	0,96	386,28					
3	373,92	132,00	0,94	396,54	8	3	372,80	134,56	0,94	396,34	3	374,08	140,96	0,94	399,76	3	374,08	141,28	0,94	399,87	3	371,04	128,96	0,94	392,81	3	372,48	101,44	0,96	386,05					
4	375,84	144,64	0,93	402,71	12	4	373,60	144,00	0,93	400,39	4	372,48	140,48	0,94	398,09	4	373,60	140,96	0,94	399,31	4	372,48	131,04	0,94	394,86	4	373,28	101,92	0,96	386,94					
5	377,12	146,88	0,93	404,71	16	5	374,40	144,64	0,93	401,37	5	373,92	142,72	0,93	400,23	5	374,40	133,28	0,94	397,42	5	373,12	128,80	0,95	394,73	5	374,08	102,40	0,96	387,84					
6	378,88	147,52	0,93	406,59	20	6	373,28	145,28	0,93	400,55	6	373,28	145,28	0,93	400,55	6	373,44	131,84	0,94	396,03	6	374,24	130,24	0,94	396,26	6	372,48	101,60	0,96	386,09					
7	55,84	43,84	0,79	70,99	24	7	100,48	54,24	0,88	114,18	7	301,92	118,08	0,93	324,19	7	306,24	118,40	0,93	328,33	7	64,80	49,44	0,80	81,51	7	67,04	17,76	0,97	69,35					
8	4,00	20,00	0,20	20,40	28	8	4,16	22,24	0,18	22,63	8	195,52	102,08	0,89	220,56	8	193,92	89,76	0,91	213,69	8	3,84	16,00	0,23	16,45	8	2,40	0,00	1,00	2,40					
9	4,48	30,08	0,15	30,41	32	9	4,48	30,08	0,15	30,41	9	196,00	92,16	0,90	216,59	9	193,60	87,36	0,91	212,40	9	4,16	23,52	0,17	23,89	9	2,08	0,00	1,00	2,08					
10	78,88	58,24	0,80	98,05	36	10	101,44	62,08	0,85	118,93	10	195,52	82,40	0,92	212,17	10	193,92	89,28	0,91	213,49	10	113,76	61,92	0,88	129,52	10	110,56	32,80	0,96	115,32					
11	199,36	84,64	0,92	216,58	40	11	198,56	90,08	0,91	218,04	11	195,52	80,00	0,93	211,25	11	193,60	93,28	0,90	214,90	11	196,48	79,04	0,93	211,78	11	195,36	56,00	0,96	203,23					
12	199,20	102,24	0,89	223,91	44	12	197,44	85,76	0,92	215,26	12	351,84	124,32	0,94	373,16	12	358,08	130,24	0,94	381,03	12	352,96	107,20	0,96	368,88	12	193,92	54,88	0,96	201,54					
13	197,44	92,00	0,91	217,82	48	13	196,16	85,92	0,92	214,15	13	372,80	124,00	0,95	392,88	13	372,96	131,20	0,94	395,36	13	374,72	105,28	0,96	389,23	13	191,68	51,84	0,97	198,57					
14	196,32	95,04	0,90	218,11	52	14	195,20	90,72	0,91	215,25	14	373,28	135,04	0,94	396,96	14	373,28	133,60	0,94	396,47	14	375,20	106,88	0,96	390,13	14	190,40	48,48	0,97	196,48					
15	195,04	95,84	0,90	217,32	56	15	193,44	93,12	0,90	214,69	15	310,08	124,96	0,93	334,31	15	298,88	118,72	0,93	321,60	15	349,60	96,80	0,96	362,75	15	189,28	47,84	0,97	195,23					
16	193,28	100,64	0,89	217,91	60	16	192,00	102,72	0,88	217,75	16	195,36	90,40	0,91	215,26	16	193,92	89,92	0,91	213,75	16	194,72	53,28	0,96	201,88	16	351,20	98,08	0,96	364,64					
17	196,00	98,08	0,89	219,17	64	17	269,60	115,52	0,92	293,31	17	194,08	93,28	0,90	215,33	17	192,16	88,64	0,91	211,62	17	193,60	53,76	0,96	200,93	17	370,08	101,92	0,96	383,86					
18	368,64	143,20	0,93	395,48	68	18	371,84	134,88	0,94	395,55	18	192,32	96,00	0,89	214,95	18	190,24	86,40	0,91	208,94	18	192,64	52,96	0,96	199,79	18	368,96	100,32	0,96	382,36					
19	370,08	135,68	0,94	394,17	72	19	374,24	140,32	0,94	399,68	19	328,80	121,12	0,94	350,40	19	367,84	133,12	0,94	391,19	19	189,92	50,40	0,97	196,49	19	370,08	100,80	0,96	383,56					
20	370,24	133,44	0,94	393,55	76	20	375,04	137,28	0,94	399,38	20	370,72	130,56	0,94	393,04	20	369,60	135,52	0,94	393,66	20	298,72	82,24	0,96	309,83	20	211,84	55,04	0,97	218,87					
21	372,96	139,36	0,94	398,15	80	21	371,84	132,64	0,94	394,79	21	372,80	134,40	0,94	396,29	21	369,60	136,00	0,94	393,83	21	369,28	100,96	0,96	382,83	21	187,84	48,16	0,97	193,92					
22	373,76	130,88	0,94	396,01	84	22	372,48	136,48	0,94	396,70	22	372,00	142,88	0,93	398,50	22	371,52	135,36	0,94	395,41	22	369,92	101,12	0,96	383,49	22	185,92	47,84	0,97	191,98					
23	372,00	127,52	0,95	393,25	88	23	373,12	138,40	0,94	397,96	23	372,16	146,72	0,93	400,04	23	371,84	127,20	0,95	392,99	23	371,04	100,96	0,96	384,53	23	355,20	97,92	0,96	368,45					
24	371,04	131,52	0,94	393,66	92	24	374,88	139,04	0,94	399,83	24	374,40	147,20	0,93	402,30	24	372,80	135,04	0,94	396,50	24	371,04	100,64	0,97	384,45	24	367,52	102,40	0,96	381,52					

12/01/2016 - Terça-Feira						13/01/2016 - Quarta-Feira						14/01/2016 - Quinta - Feira						15/01/2016 - Sexta - Feira						16/01/2016 - Sábado						17/01/2016 - Domingo					
Dia	Hora	kWh	kVARh	Cosφ	kVA	Dia	Hora	kWh	kVARh	Cosφ	kVA	Dia	Hora	kWh	kVARh	Cosφ	kVA	Dia	Hora	kWh	kVARh	Cosφ	kVA	Dia	Hora	kWh	kVARh	Cosφ	kVA	Dia	Hora	kWh	kVARh	Cosφ	kVA
1	371,68	101,28	0,96	386,23	1	369,60	104,32	0,96	384,04	1	371,36	101,12	0,96	384,88	1	370,56	125,92	0,95	391,37	1	369,76	117,92	0,95	388,11	1	371,04	120,48	0,95	390,11						
2	372,64	101,76	0,96	386,28	2	370,88	107,36	0,96	386,11	2	369,28	100,32	0,97	382,66	2	371,36	124,48	0,95	391,67	2	370,88	112,48	0,96	387,56	2	372,64	114,08	0,96	389,71						
3	372,48	101,44	0,96	386,05	3	372,48	107,04	0,96	387,56	3	370,08	100,48	0,97	383,48	3	373,28	126,40	0,95	394,10	3	372,16	113,92	0,96	389,21	3	374,08	114,08	0,96	391,09						
4	373,28	101,92	0,96	386,94	4	370,56	107,20	0,96	385,75	4	371,04	100,80	0,97	384,49	4	372,48	126,72	0,95	393,45	4	372,80	118,40	0,95	391,15	4	375,84	120,32	0,95	394,63						
5	374,08	102,40	0,96	387,84	5	372,16	108,96	0,96	387,78	5	371,52	101,60	0,96	385,16	5	371,52	124,64	0,95	391,87	5	372,48	119,04	0,95	391,04	5	373,76	121,44	0,95	392,99						
6	372,48	101,60	0,96	386,09	6	375,84	110,08	0,96	391,63	6	373,92	102,72	0,96	387,77	6	373,60	130,40	0,94	395,70	6	372,96	120,80	0,95	392,04	6	375,20	125,28	0,95	395,56						
7	67,04	17,76	0,97	69,35	7	71,52	20,64	0,96	74,44	7	65,12	17,12	0,97	67,33	7	62,72	32,96	0,89	70,85	7	295,52	102,24	0,95	312,71	7	286,56	94,08	0,95	301,61						
8	2,40	0,00	1,00	2,40	8	2,88	0,00	1,00	2,88	8	2,24	0,00	1,00	2,24	8	3,84	14,40	0,26	14,90	8	192,64	72,48	0,94	205,82	8	192,16	75,68	0,93	206,53						
9	2,08	0,00	1,00	2,08	9	2,88	0,00	1,00	2,88	9	2,08	0,00	1,00	2,08	9	3,68	12,96	0,27	13,47	9	192,00	68,32	0,94	203,79	9	192,00	72,96	0,93	205,40						
10	110,56	32,80	0,96	115,32	10	114,08	31,84	0,96	118,44	10	206,56	57,12	0,96	214,31	10	192,32	74,56	0,93	206,27	10	193,12	78,40	0,93	208,43	10	191,36	65,28	0,95	202,19						
11	195,36	56,00	0,96	203,23	11	194,72	54,40	0,96	202,18	11	375,52	104,32	0,96	389,74	11	375,84	125,92	0,95	396,37	11	225,12	94,08	0,92	243,99	11	270,72	87,20	0,95	284,42						
12	193,92	54,88	0,96	201,54	12	193,12	51,36	0,97	199,83	12	229,28	62,72	0,96	237,70	12	376,16	128,48	0,95	397,50	12	372,80	133,76	0,94	396,07	12	371,68	112,80	0,96	388,42						
13	191,68	51,84	0,97	198,57	13	191,04	49,12	0,97	197,25	13	193,92	50,40	0,97	200,36	13	375,68	124,16	0,95	395,67	13	373,28	136,64	0,94	397,50	13	372,00	110,88	0,96	388,17						
14	190,40	48,48	0,97	196,48	14	206,40	58,88	0,96	214,63	14	193,12	49,12	0,97	199,27	14	376,00	106,88	0,96	390,90	14	374,56	130,72	0,94	396,72	14	372,64	113,28	0,96	389,48						
15	189,28	47,84	0,97	195,23	15	221,12	59,04	0,97	228,87	15	192,00	47,84	0,97	197,87	15	272,80	87,20	0,95																	