

## Avaliação de parâmetros elétricos em uma indústria de ração animal<sup>1</sup>

### Assessment of electrical parameters applied in an animal feed industry

Jose Cristiano Lager<sup>2</sup>  
Elton Gimenez Rossini<sup>3</sup>  
José de Souza<sup>4</sup>

#### Resumo

Mitigar o desperdício de energia tornou-se pauta importante no setor industrial. Eficiência energética pode ser definida como produzir mais com menos energia, conservando energia para mitigar ou eliminar perdas e desperdícios. Este trabalho objetiva apresentar avaliações de parâmetros elétricos, conforme a NBR ISO 50.002, aplicada em um processo produtivo de fabricação de ração animal, analisando-se o comportamento de parâmetros da energia elétrica. Busca-se identificar oportunidades de melhoria no desempenho energético, conforme a realidade da empresa, promovendo melhoria na eficiência energética. Os resultados mostram o comportamento energético com dois meses de dados coletados, 24 horas por dia. Na coleta de dados, utilizaram-se dois medidores, registrando um evento de medições a cada cinco minutos, totalizando em 36.460 eventos. Foram encontradas irregularidades em aproximadamente 30% das medições de harmônicas e aproximadamente 40% das medições de fator de potência.

**Palavras-chave:** eficiência energética; avaliação parâmetros elétricos.

#### Abstract

*Mitigating energy waste has become an important issue in the industrial sector. Energy efficiency can be defined as producing more with less energy, conserving energy to mitigate or eliminate losses and waste. This work aims to present evaluations of electrical parameters, in accordance with NBR ISO 50.002, applied in a production process for manufacturing animal feed, analyzing the behavior of electrical energy parameters. The aim is to identify opportunities to improve energy performance, according to the company's reality, promoting improvements in energy efficiency. The results show energy behavior with two months of data collected, 24 hours a day. In data collection, two meters were used, recording a measurement event every five minutes, totaling 36,460 events. Irregularities were found in approximately 30% of harmonic measurements and approximately 40% of power factor measurements.*

**Keywords:** Energy efficiency; Evaluation electrical parameters

---

<sup>1</sup> Este artigo é resumo do trabalho de conclusão de curso de Engenharia Energia apresentado na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Porto Alegre, RS, Brasil, em 08/12/2022, sob orientação do Dr. Elton Gimenez Rossini.

<sup>2</sup> Engenheiro do curso de Engenharia na UERGS. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1147-5024>. E-mail: jose-lager@uergs.edu.br.

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Mecânica pela UFRGS. Professor da UERGS. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4195-2003>. E-mail: elton-rossini@uergs.edu.br.

<sup>4</sup> Doutor em Processos de Fabricação pela UFRGS. Professor da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha (FETLSVC), Novo Hamburgo, RS. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5888-840X>. E-mail: josesouza@liberato.com.br.

## Introdução

O setor industrial brasileiro participa com 36,6% do consumo de eletricidade (Costa; Andrade Junior, 2021), sendo estratégico para a elaboração e aplicação de ações de fomento à eficiência energética. As primeiras ações nesse sentido iniciaram há pouco mais de quarenta anos. Nas últimas décadas, o Brasil vem evoluindo sua legislação referente à eficiência energética, mas ainda necessita de avanços, quando comparado aos países desenvolvidos (Altoé, 2017). Um importante marco legal é a Lei n.º 10.295, de 17 de outubro de 2001 (Brasil, 2001), conhecida como a Lei da Eficiência Energética, que estabeleceu algumas diretrizes para fabricação e comercialização de equipamentos elétricos mais eficientes, tanto de produtos nacionais, como importados.

O Brasil conta com programas de eficiência energética há mais de duas décadas. Diversas instituições são responsáveis pela execução desses programas, como, por exemplo, o Ministério de Minas e Energia (MME), que coordena o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), instituído pela Portaria Interministerial n.º 1.877, em 1985; a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), agência reguladora e fiscalizadora da produção, transmissão e comercialização de energia elétrica, responsável pela execução do Programa de Eficiência Energética das Concessionárias Distribuidoras de Energia Elétrica (PEE), instituído pela Lei federal no 9.991 de 2000; o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), responsável pela coordenação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), com a publicação da Lei n.º 10.295, entre outras. O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) tem a função de otimizar o aproveitamento dos recursos energéticos do país. É órgão de assessoramento do Presidente da República para formulação de políticas e diretrizes de energia, presidido pelo Ministro de Minas e Energia. O CNPE disponibiliza diversos documentos relacionados com a Eficiência Energética, relatórios técnicos, guias, entre outros.

Em conjunto com os programas e outras políticas públicas de incentivo ao uso racional da energia elétrica, também houve muitas outras ações, como o estabelecimento de diversas metodologias, reconhecidas internacionalmente (Li; Tao, 2017) e adaptadas, capazes de produzir resultados quantitativos para avaliar o desempenho energético de instalações industriais. Muitas dessas metodologias foram apresentadas na forma de relatórios técnicos, guias, manuais. Em 2014, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) adotou a norma NBR ISO 50.001/2011 – Sistema de Gestão de Energia – Requisitos com orientação de uso (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011). Essa norma técnica especifica os requisitos para implementar um sistema de gestão da energia, com objetivo de abordagem sistemática para alcançar a melhoria contínua da gestão e do desempenho energético das organizações. Posteriormente, surgiu a NBR ISO 50.002/2014 – Diagnósticos Energéticos – Requisitos com orientação de uso (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014). Essa norma técnica especifica os requisitos para a realização de um diagnóstico energético em relação ao desempenho energético. Em 2018, foi publicada a segunda revisão da norma ISO 50.001 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018).

O diagnóstico energético é exemplo de uma metodologia de avaliação minuciosa do uso da energia, aplicada a uma organização, empreendimento, estabelecimento, processo ou equipamento, a fim de identificar e propor melhorias no desempenho energético, reduzindo desperdícios de energia, tornando a empresa mais competitiva, além de trazer ganhos para o meio ambiente (Viana *et al.*, 2012). Portanto, a metodologia de diagnóstico energético pode ser enquadrada em um contexto muito maior, que envolve as políticas de eficiência energética e a articulação de diversas organizações, legislação, políticas públicas, etc. Esse contexto se desenvolve tanto no cenário nacional como no cenário internacional (Zanardo *et al.*, 2018). A

metodologia pode ser adaptada para ser aplicada em diferentes processos produtivos, a fim de identificar oportunidades de melhoria no desempenho energético, de acordo com a realidade da empresa (Gonçalves *et al.*, 2018).

A gestão energética requer conhecimento, classificação e identificação dos setores da empresa, como, por exemplo, produção, logística, expedição, manutenção, administrativo, etc., a fim de identificarmos os principais processos e equipamentos consumidores de energia. No gerenciamento energético, aplica-se: conhecer o uso da energia; obter informação sobre os tipos de energia, informações de contratos e ações que afetam o seu uso; conhecer os processos com possibilidades de economia de energia; determinar indicadores de controle, consumo de energia, custos específicos, preços médios, fatores de utilização de equipamentos; monitorar os indicadores de controle, definir ações de correção e melhorias; incentivar o uso racional de energia; divulgar os resultados obtidos; definir ações de treinamento e realizar auditorias energéticas (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018).

Outra ferramenta imprescindível para ampliar as estratégias de eficiência energética no setor industrial é implantar um sistema de gerenciamento de energia, que pode ter como principal motivador a redução dos custos, mas que assegura a melhoria contínua do desempenho energético da organização (Cooremans; Schönenberger, 2019). Todavia, a organização também tem ganhos em sua produtividade, tornando-a mais competitiva. Além disso, o uso adequado dos recursos, o gerenciar dos riscos e o desenvolvimento de novas tecnologias também têm contribuições ao meio ambiente, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa e, conseqüentemente, a exposição às oscilações nos preços de energia (Fossa; Sgarbi, 2019).

Os indicadores de desempenho podem ser empregados para monitorar e acompanhar o andamento e o cumprimento das metas e objetivos definidos por uma empresa. Cada indicador cumpre um objetivo específico em gestão de energia. Recomendam-se quatro categorias de indicadores de energia: (a) por equipamento: avaliar o consumo energético dos equipamentos individualmente e viabilizar o cálculo do consumo de uma unidade de processo; (b) por unidade de processo: medir a eficiência energética em todo um processo com o objetivo de promover a melhoria contínua; (c) por produto: contabilizar os custos, ou seja, medir o gasto energético para fabricação de determinado produto; (d) por unidade de negócios: medir o consumo total da organização – avaliação estratégica (Kumana; Sidhwa, 2009).

A existência de indicadores de desempenho não é suficiente para melhorar a eficiência energética em uma organização e requer também o gerenciamento desses indicadores, incluindo análises, implementação de medidas de redução de consumo, monitorização e divulgação dos resultados. Um indicador, muito utilizado na indústria, que avalia o desenvolvimento da eficiência energética quando comparado à intensidade energética, é o consumo específico de energia. Esse indicador mede a quantidade de energia necessária para fabricar uma unidade de produto ou uma unidade de tonelada produzida, permitindo que seja realizada uma comparação de desempenho entre empresas do mesmo setor (Solnørdal; Foss, 2018).

O conceito de *benchmarking* de energia industrial é um processo de avaliação de desempenho energético de um processo definido em relação a um processo de referência, para identificar ineficiências energéticas nos processos de produção, estimando métodos melhores para economia de energia. No entanto, o *benchmarking* também é uma ferramenta de avaliação, com vantagens de introduzir novos conceitos de avaliação para a organização, melhorar desempenho, promover o conhecimento, auxiliar na determinação de metas e objetivos (Ke *et al.*, 2013).

Portanto, considerando uma abordagem sistêmica, as estratégias de eficiência energética envolvem um conjunto muito amplo de ações, como o estabelecimento de políticas públicas de fomento, legislações, programas nacionais, normas de padronização, metodologias de avaliação,

metodologias de gerenciamento, entre outras ações a serem aplicadas na unidade consumidora.

A energia elétrica está sujeita a diferentes distúrbios, que provocam variações na tensão. Tais distúrbios podem ter origem no sistema de fornecimento de energia elétrica da concessionária, e a avaliação quantitativa dos diferentes distúrbios é determinada por normas internacionais (Lopez, 2013). No Brasil, os requisitos básicos de padronização e normatização da qualidade da energia são descritos nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 8, cuja primeira versão foi criada em 2008 pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2021). Por outro lado, o funcionamento de certos equipamentos instalados na empresa também pode resultar na degradação da qualidade da energia elétrica. Os profissionais responsáveis pela manutenção, operação e gerenciamento de instalações industriais atuam para evitar cobranças adicionais causadas por excedentes de demanda e consumo de reativos. Por essa razão, é importante avaliar os parâmetros que podem indicar a qualidade da energia elétrica.

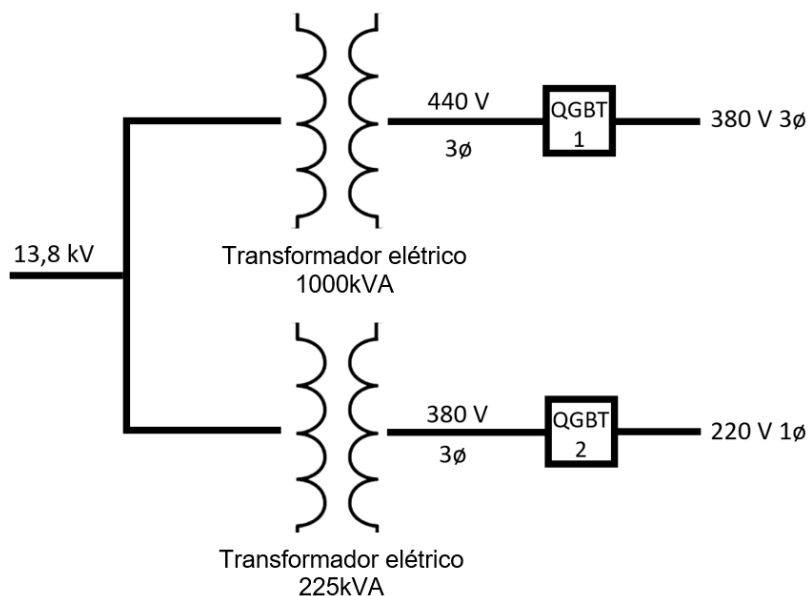
Este trabalho tem por objetivo analisar o comportamento de parâmetros da energia elétrica de uma instalação industrial em uma unidade de fabricação de ração animal, a fim de identificar oportunidades de melhoria no desempenho energético, de acordo com a realidade da empresa. As medições foram realizadas durante dois meses, e os dados apresentados neste trabalho representam a média bimestral por horário de medições ao longo do dia, sendo uma medição a cada cinco minutos. Realizou-se um levantamento e análise de dados de fator de potência, harmônicas, energia, potência e demanda de potência ativa, reativas, aparentes.

## 1 Materiais e métodos

### 1.1 Contextualização do sistema de energia

A fábrica de ração animal possui aproximadamente três anos de operação. É uma fábrica nova, construída do zero. Seu projeto elétrico inicial conta com dois transformadores, um de 1.000kW e outro de 225kW, que convertem a energia elétrica de média tensão para baixa tensão. Há um quadro geral de baixa tensão, QGBT, para cada transformador, o QGBT 1 transmite tensão de 440V, e o QGBT 2 de 380V. A figura 1 representa a distribuição de energia:

Figura 1 – Representação de distribuição de energia na fábrica de ração animal



Fonte: Os autores (2022).

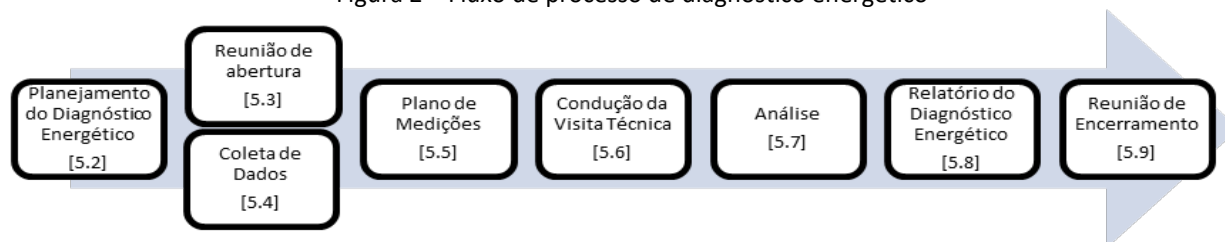
O projeto elétrico disponibilizado é referente à construção da fábrica de ração animal. Porém, a produção cresceu, e foram instalados mais equipamentos. O projeto elétrico não está atualizado com as condições atuais da empresa, não sendo possível identificar a carga total instalada. No período avaliado, a planta registrou uma demanda de potência total máxima de aproximadamente 85.000 VA.

## 1.2 Coleta e análise de dados

Para realização deste trabalho, é necessário identificar e analisar as características e fatores, por meio de um processo sistemático de coleta de dados, relacionando-se com a gestão em eficiência energética. Os dados analisados são quantitativos e incluem recolher e avaliar as informações de cargas instaladas, medidores de energia, dados de produção, faturas e contratos, e inspeções *in loco*.

Este estudo teve como base a norma ABNT ISO 50.002. Esta norma estabelece o fluxo conforme a figura 2.

Figura 2 – Fluxo de processo de diagnóstico energético



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014).

Neste artigo, foram aplicados somente os itens 5.2 e 5.4 a 5.7.

Para a coleta de dados, a norma cita que, quando disponível, deve-se coletar, conferir e registrar as seguintes informações:

- a) processos e relação de equipamentos que consomem energia;
- b) características detalhadas dos usos de energia dentro do escopo definido pelo diagnóstico energético, incluindo variáveis relevantes e o modo que a organização acredita que estas influenciam o desempenho energético;
- c) dados de desempenho energético passados e atuais, incluindo: consumo de energia, variáveis relevantes, medições relevantes relacionadas e histórico operacional e eventos passados que poderiam ter afetado o consumo de energia no período em que os dados foram coletados;
- d) equipamento de monitoramento, informações de configuração e análise;
- e) planos futuros que podem afetar o desempenho energético, por exemplo, expansões, reduções ou mudanças no volume de produção e substituições planejadas de equipamentos ou sistemas que têm impactos significativos em energia;
- f) documentos de projeto, operação e manutenção, por exemplo, desenhos conforme construção, folha de dados de equipamentos, plantas de arranjo, dados de controle de sistema;
- g) diagnósticos energéticos ou estudos anteriores relacionados ao desempenho energético;
- h) tabela de preços de energia atual (ou tarifas) ou um preço de referência (ou tarifa) para ser usado na análise financeira;
- i) outros dados econômicos relevantes;
- j) conhecimento de como a organização gerencia seu uso e consumo de energia;
- k) sistema de distribuição de energia e sua gestão (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018)

Para realização das medições, utilizaram-se dois multimedidores modelo PowerNET M-300, já instalados na subestação. A empresa disponibilizou as medições que ocorreram no período de 29/04/2022, 9 h 30 min, a 01/07/2022, 16 h 35 min. Os equipamentos estão configurados para realizarem as leituras e registrarem um evento de medição a cada cinco minutos. Dessa forma, a empresa disponibilizou registros de medições da rede elétrica contendo 18.230 eventos em cada medidor. O medidor 1 está instalado no QGBT 1; o medidor 2, no QGBT 2.

Foram avaliadas pontualmente todas as medições, sendo 36.460 de tensões, correntes, potências, harmônicas, fatores de potência, energia e demanda, cada, a fim de detectar anomalias e/ou distorções.

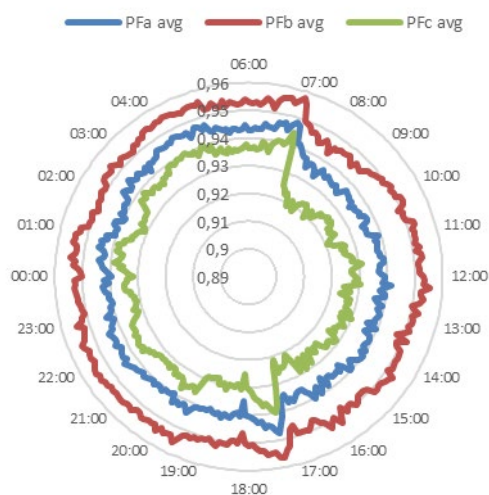
Posteriormente, analisou-se que, no ciclo diário, as medições das grandezas apresentavam o mesmo comportamento. Com um objetivo de representá-lo graficamente, adotou-se gráfico tipo radar para ilustrar os valores e o comportamento da energia durante 24 horas do dia.

## 2 Resultados e análise

Os valores expressos nos gráficos tipo radar são as médias das leituras no horário correspondente, em cada dia, sendo uma a cada cinco minutos. Adotou-se a média de valores, devido valores medidos se mantiveram próximos, não ocorrendo diferenças expressivas no horário correspondente.

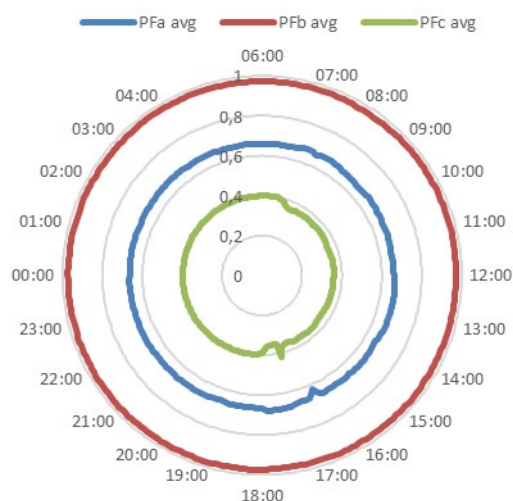
O fator de potência dos medidores 1 e 2 são apresentados nas figuras 3 e 4 respectivamente.

Figura 3 – Medição por horário de fator de potência por fase no medidor 1



Fonte: Os autores (2022).

Figura 4 – Medição por horário de fator de potência por fase no medidor 2



Fonte: Os autores (2022).

A característica do fator de potência médio foi indutiva em 99,9% das medições na fase A, 99,4% na fase B e 99,2% na fase C.

A característica do fator de potência médio foi capacitiva em 100% das medições nas fases A e C e indutiva em 99,9% das medições na fase B.

Quadro 1 – Análise de dados de fator de potência

			Varição valor médio dos registros	% dos registros acima de 0,92	Moda	Característica
Medidor 1	Fase A	Horário de Pico	0,935 a 0,944	80,9%	0,94	Indutiva
		Fora Horário de Pico	0,933 a 0,948	85,2%	0,94	Indutiva
	Fase B	Horário de Pico	0,946 a 0,956	89,4%	0,95	Indutiva
		Fora Horário de Pico	0,943 a 0,957	90,9%	0,95	Indutiva
	Fase C	Horário de Pico	0,925 a 0,937	75,3%	0,93	Indutiva
		Fora Horário de Pico	0,918 a 0,944	75,6%	0,93	Indutiva
Medidor 2	Fase A	Horário de Pico	0,665 a 0,68	0%	0,67	Indutiva
		Fora Horário de Pico	0,64 a 0,68	0%	0,67	Indutiva
	Fase B	Horário de Pico	0,972 a 0,974	100%	0,97	Capacitiva
		Fora Horário de Pico	0,971 a 0,975	100%	0,97	Capacitiva
	Fase C	Horário de Pico	0,388 a 0,399	0%	0,40	Capacitiva
		Fora Horário de Pico	0,353 a 0,422	0%	0,40	Capacitiva

Fonte: Os autores (2022).

A planta de ração animal possui bancos de capacitores instalados nas duas redes de energia, a fim de controlar os fatores de potência, para atender aos 0,92 exigidos por legislação. Os bancos de capacitores foram dimensionados para o projeto inicial da planta. Na figura 4 e no quadro 1, verifica-se que a segunda rede possui um fator de potência bem abaixo de 0,92, nas fases A e C, conforme leitura do medidor 2. Pode-se concluir que a segunda rede de energia elétrica está provavelmente desbalanceada; presume-se que possa ter ocorrido após expansão e instalação de novos equipamentos.

Para o controle de harmônicas no sistema elétrico, o IEEE-519-2014 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014) menciona limites conforme o nível de tensão e o nível de curto-circuito. Quanto maior for a tensão, menores são os limites aceitáveis (quadro 2). Todavia, para as distorções de corrente, quanto maior for a corrente de curto-circuito em relação à corrente de carga, maiores são as distorções de corrente aceitáveis (quadro 3).

Quadro 2 – Limites de distorção de tensão

Tensão	THD%
< 69 kV	5
69.001V < 161kV	2,5
> 161kV	1,5

Fonte: Institute of Electrical and Electronics Engineers (2014).

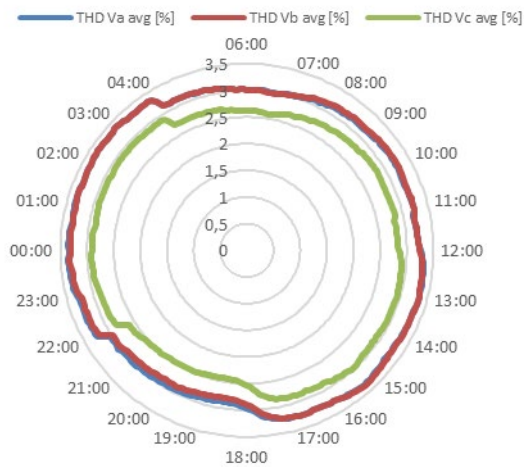
Quadro 3 – Limites de distorção da corrente em sistemas de 120V a 69kV

I <sub>cc</sub> /I <sub>o</sub>	TDD%
< 20	5
20 < 50	8
50 < 100	12
100 < 1000	15
> 1000	20

Fonte: Institute of Electrical and Ele

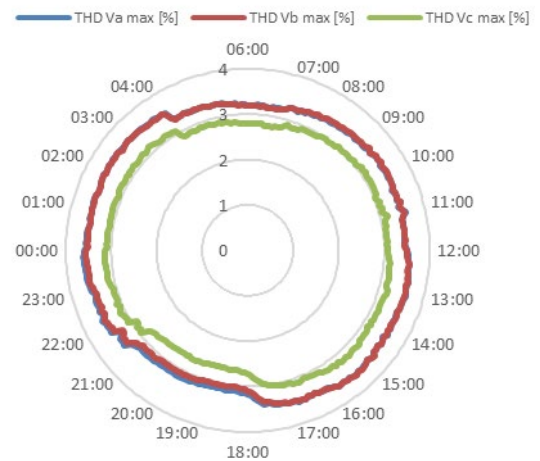
As figuras 5 a 8 ilustram as medições das distorções harmônicas totais de tensão, nas quais se pode verificar que a TDH% permaneceu inferior a 5%, caracterizando uma ótima qualidade de energia.

Figura 5 – Medição de distorções harmônicas. Média de tensão no medidor 1



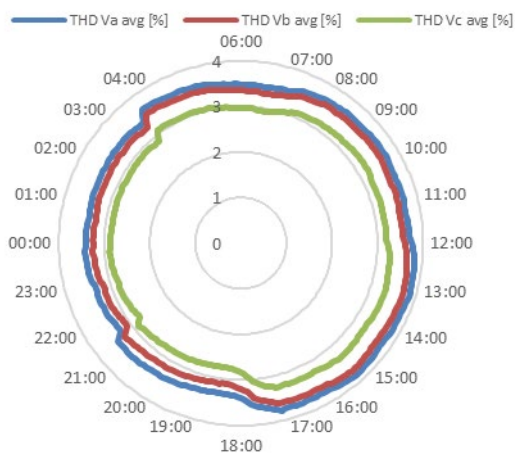
Fonte: Os autores (2022).

Figura 6 – Medição de distorções harmônicas. Máxima de tensão no medidor 1



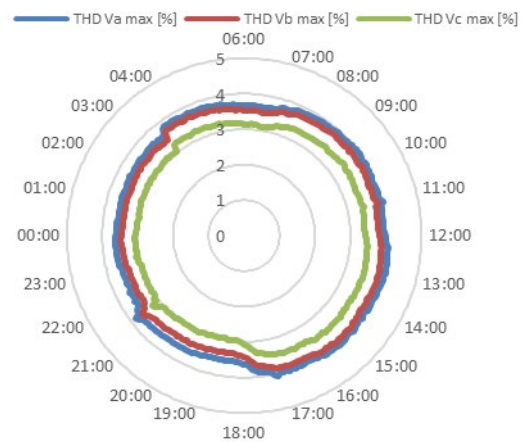
Fonte: Os autores (2022).

Figura 7 – Medição de distorções harmônicas. Média de tensão no medidor 2



Fonte: Os autores (2022).

Figura 8 – Medição de distorções harmônicas. Máxima de tensão no medidor 2



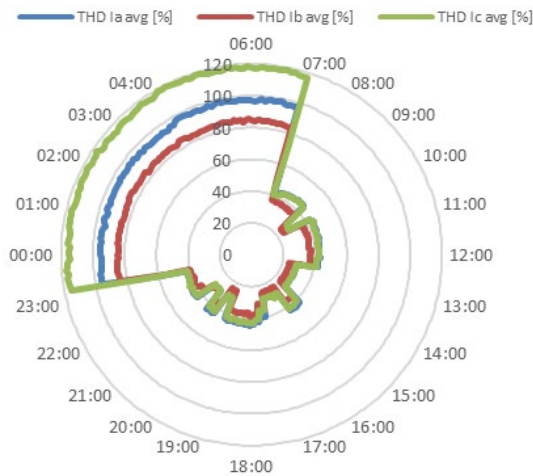
Fonte: Os autores (2022).

Entretanto, nas medições das distorções harmônicas totais de corrente, foram encontrados valores acima dos aceitáveis em 8,9% das medições de todas as fases, no medidor 1. Distorções harmônicas totais de corrente também foram encontradas no medidor 2, em 64,6% das medições da fase A e em 99,3% das medições na fase C. Na fase B, não foram identificadas distorções harmônicas totais de corrente significativamente acima dos valores aceitáveis. As figuras 9 e 10 ilustram os valores máximos atingidos, por horário, das distorções harmônicas totais de corrente.



Figura 9 – Medição de distorções harmônicas.

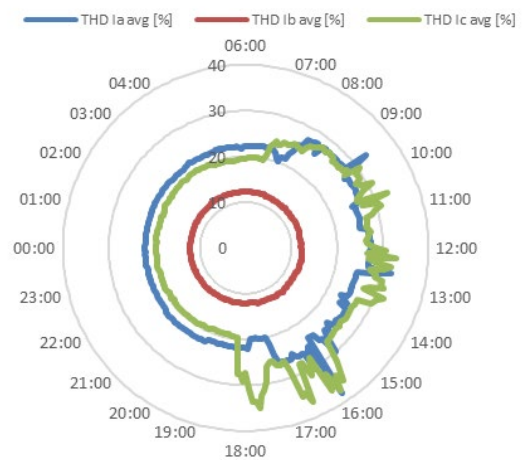
Média de corrente no medidor 1



Fonte: Os autores (2022).

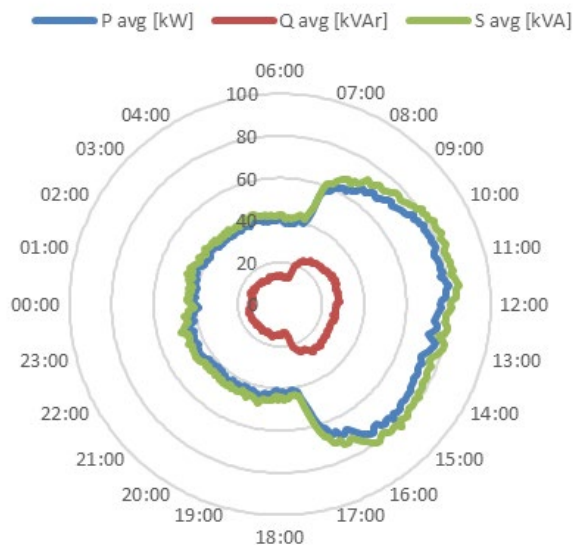
Figura 10 – Medição de distorções harmônicas.

Média de corrente no medidor 2



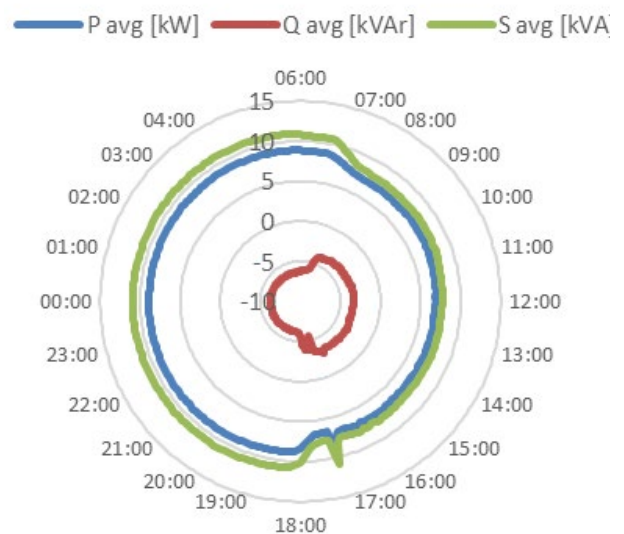
Fonte: Os autores (2022).

Figura 11 – Medição da potência média ativa, reativa e aparente no medidor 1



Fonte: Os autores (2022).

Figura 12 – Medição da potência média ativa, reativa e aparente no medidor 2

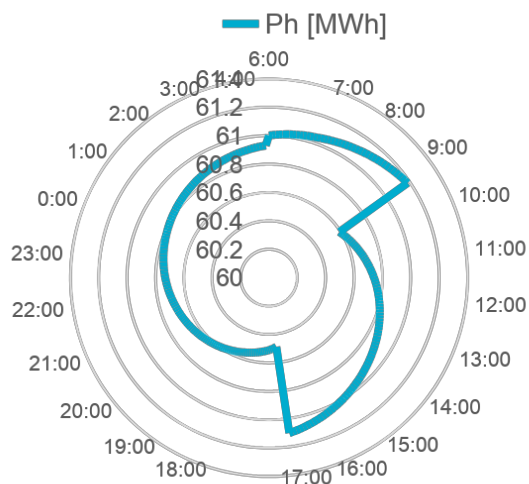


Fonte: Os autores (2022)

A figura 11 ilustra a potência ativa variando aproximadamente entre 40 kW e 50 kW, e a potência aparente variando aproximadamente entre 40 kVA e 50 kVA entre 17 h 15 min e 7 h; a potência reativa oscilou aproximadamente entre 12,5 kVAR e 15 kVAR, nos mesmos horários. A partir das 7 h, pode-se visualizar um salto nos valores das potências, devido ao início do expediente de produção, tendo uma queda dos valores a partir das 16 h 40 min devido à proximidade do encerramento do expediente de produção. A potência ativa nesse período oscilou aproximadamente entre 58 kW e 80,5 kW; a potência aparente, entre 61,5 kVA e 85,4 kVA; a potência reativa, entre 19,8 kVAR e 28,8 kVAR.

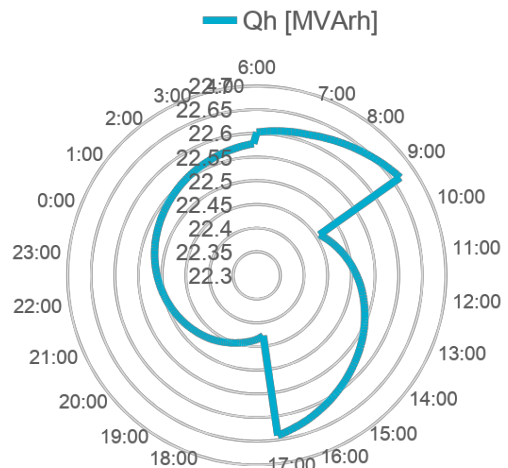
A figura 12 ilustra a potência ativa variando aproximadamente entre 6,8 kW e 7,1 kW, entre 8 h e 17 h; a potência reativa, entre -3,2 kVAR e -4 kVAR; a potência aparente, entre 8,1kVA e 7,77kVA. A partir das 17 h 30 min, pode-se visualizar uma variação nos valores das potências, devido ao sistema de iluminação, tendo uma queda dos valores a partir das 6 h 40 min. A potência ativa nesse período permaneceu aproximadamente 8,9 kW; a potência aparente, 10,9 kVA; e a potência reativa, entre -6,3 e -6,0 kVAR.

Figura 13 - Medição de energia ativa total no medidor 1



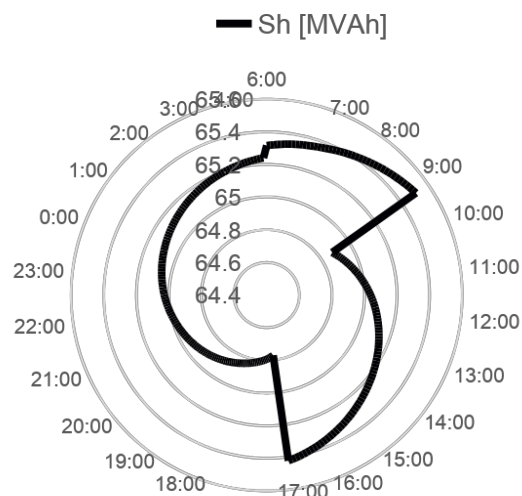
Fonte: Os autores (2022).

Figura 14 – Medição de energia reativa total no medidor 1



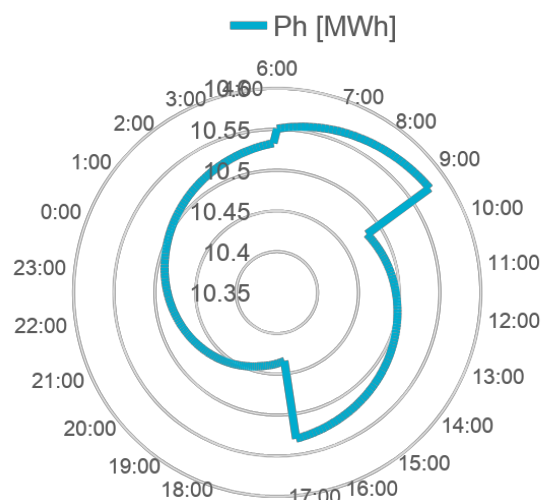
Fonte: Os autores (2022).

Figura 15 - Medição de energia aparente total no medidor 1



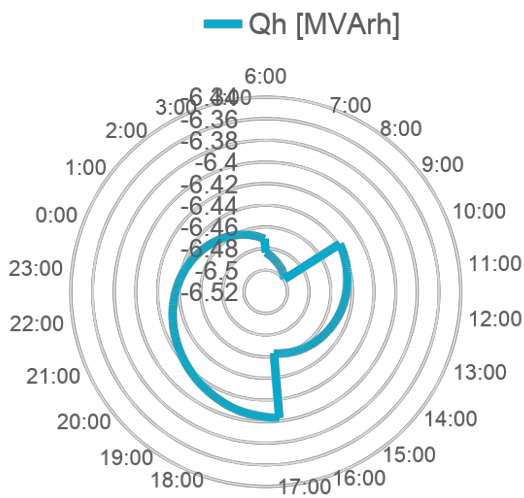
Fonte: Os autores (2022).

Figura 16 – Medição de energia ativa total no medidor 2



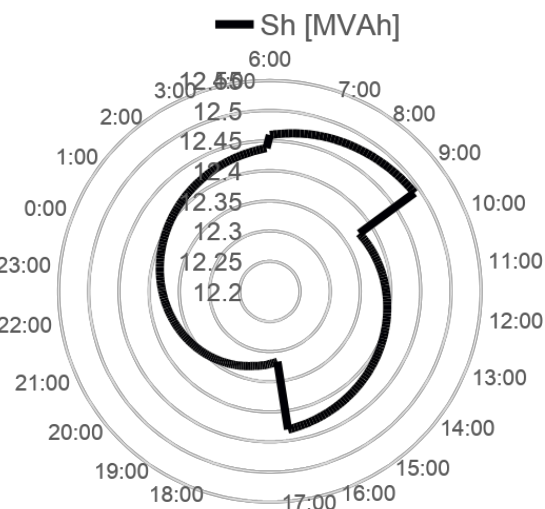
Fonte: Os autores (2022).

Figura 17 - Medição de energia reativa total no medidor 2



Fonte: Os autores (2022).

Figura 18 - Medição de energia aparente total no medidor 2



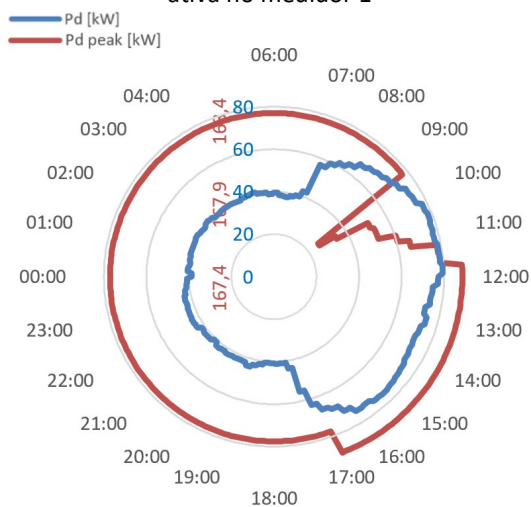
Fonte: Os autores (2022).

As figuras 13 a 18 ilustram o consumo médio de energia por horário, por meio das quais podem-se identificar os horários de ponta e de fora de ponta.

No medidor 1, o consumo médio de energia ativa, fora do horário de pico, atingiu 61.183,38 kWh; a energia aparente, 65.508,13 kVAh. Nos horários de pico, para a energia ativa, registrou-se um consumo médio de 60.500 kWh e, para energia aparente, um consumo médio de 64.800 kVAh.

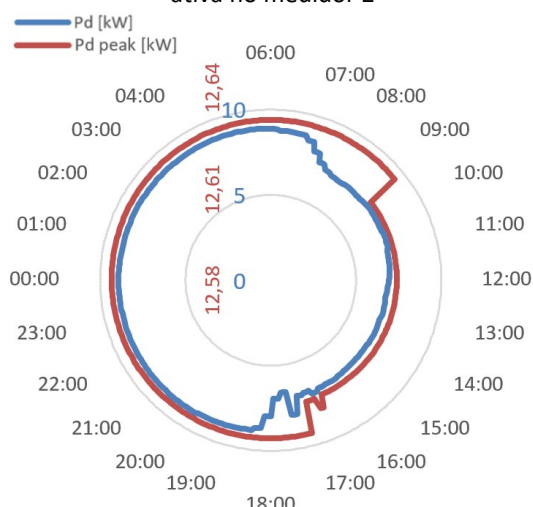
No medidor 2, o consumo médio de energia ativa, fora do horário de pico, atingiu 10.576,36 kWh; a energia aparente, 12.490,09 kVAh. Nos horários de pico, para a energia ativa, registrou-se um consumo médio de 10.450 kWh e, para energia aparente, um consumo médio de 12.340 kVAh.

Figura 19 – Medição de demanda ativa no medidor 1



Fonte: Os autores (2022).

Figura 20 – Medição de demanda ativa no medidor 2

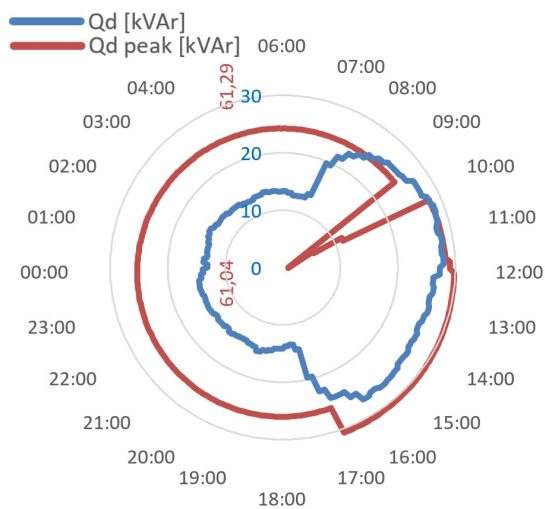


Fonte: Os autores (2022).

A figura 19 ilustra os valores médios, por horário, da demanda ativa [W]. Entre 17 h 15 min e 7 h, oscilou aproximadamente entre 43.708,5 W e 37.920 W. A partir das 7 h, pode-se visualizar um salto nos valores, atingindo 56.912 W. Às 11 h 45min, registrou 79.413,68 W. E, a partir das 16h, registrou-se uma queda de 71.329 W para 43.708,5 W, às 17 h 15 min. A demanda ativa de pico [W] registrou um valor constante de 168.528,36 W entre 11 h 45 min e 16 h 30 min, e 168.385,10 W entre 16 h 35 min e 9 h 20 min.

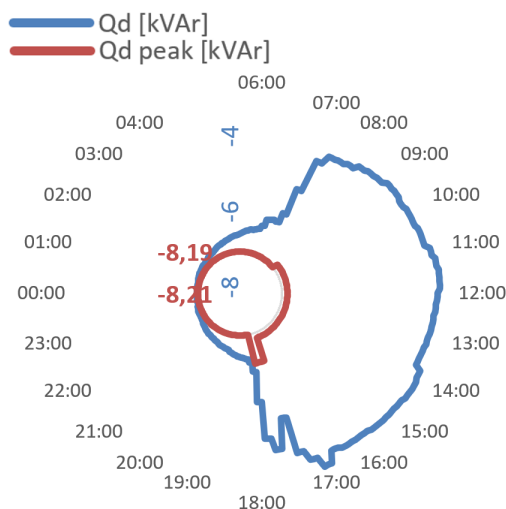
A figura 20 ilustra os valores médios, por horário, da demanda ativa [W] no medidor 2, oscilando aproximadamente entre 6,8 kW e 7,16 kW, entre 8 h e 17 h. Entre 18 h 15 min e 6 h 55min, oscilou aproximadamente entre 8,7kW e 8,9kW. Para demanda ativa de pico [W], no medidor 2, registrou-se um valor constante de 12.617,27 W entre 9 h 30 min e 16 h 10 min, e 12.627 W entre 17 h e 9 h 25 min.

Figura 21 – Medição de demanda reativa no medidor 1



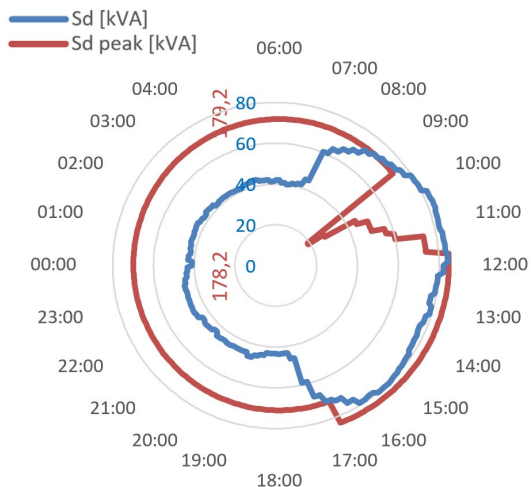
Fonte: Os autores (2022).

Figura 22 – Medição de demanda reativa no medidor 2



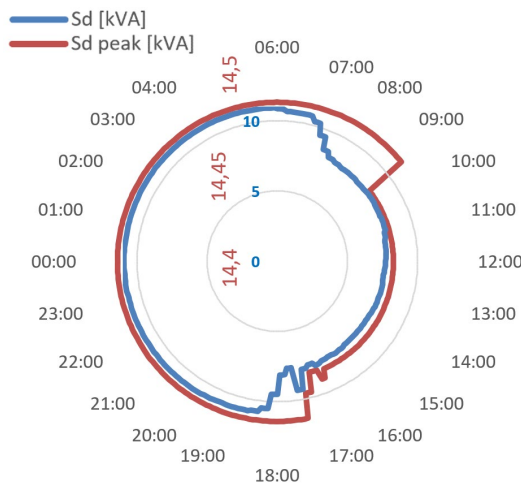
Fonte: Os autores (2022).

Figura 23 – Medição de demanda aparente no medidor 1



Fonte: Os autores (2022).

Figura 24 – Medição de demanda aparente no medidor 2



Fonte: Os autores (2022).

Pode-se verificar, nas figuras 11 a 24, que, no medidor 1, onde estão instaladas as máquinas do processo produtivo, há o aumento dos valores durante o horário do processo produtivo e a diminuição dos valores ao fim da tarde. No medidor 2, onde há a iluminação externa, bombas e motores monofásicos, pode-se verificar o mesmo movimento. Nas figuras 12, 17 e 22, pode-se verificar uma inversão de sinal nos valores da potência, energia e demanda reativas.

### 3 Discussão

Não foi possível ter acesso às faturas de energia elétrica e ao contrato do fornecedor de energia para avaliação do enquadramento tarifário, bem como aos dados de desempenho passados de consumo de energia e histórico operacional. Porém a empresa informou que está corretamente enquadrada no faturamento e que a demanda de energia contratada está de acordo com as necessidades da planta. A empresa está inserida no novo mercado de energia.

O consumo de energia elétrica pela planta de produção de ração animal corresponde entre 2,7% a 3,28% de toda a planta industrial.

A planta P.A. possui consumo de energia elétrica por meio de motores elétricos, sistemas de iluminação, climatização, compressores e bombas. Os sistemas de iluminação estão localizados nas salas administrativas, pavilhão industrial e área externa.

O sistema de iluminação externa possui 13,5 kVA de carga instalada, correspondendo aproximadamente a 0,30% do consumo de energia elétrica de toda a planta industrial. A fim de reduzir os custos de iluminação, na iluminação externa, recomenda-se instalar sensores de movimento em 70% das lâmpadas, a fim de reduzir o tempo que as lâmpadas ficam acesas à noite. Esse sistema já possui sensores de luz, os quais ligam e desligam o sistema de iluminação no pôr do sol e na alvorada.

Não foram compartilhados detalhes do processo e relação de equipamentos, bem como volume de produção, a fim de ser realizado um estudo de eficiência energética e *benchmarking*, relacionando energia consumida X tonelada produzida de cada produto.

Não foram compartilhados planos futuros da empresa referente a expansões que podem influenciar no desempenho energético da planta.

Com o objetivo de promover melhoria contínua na eficiência energética e na gestão em energia, sugerem-se as seguintes oportunidades de melhoria:

1. Criar uma Comissão de Conservação de Energia com pessoas especializadas para analisar o desempenho energético das instalações.
2. Criar indicadores de consumo e qualidade de energia.
3. Atualizar o projeto elétrico com as condições atuais da empresa.
4. Realizar pesquisa de *benchmarking* de energia, a fim de avaliar o desempenho energético para identificar ineficiências energéticas nos processos de produção, viabilizando economia de energia.
5. Realizar mapeamento de classes IR de motores (índice de rendimento), instalados na fábrica de produção de ração animal. E viabilizar a possibilidade de realizar *retrofit* para melhoria de rendimento.

Para viabilizar as correções de baixos fatores de potências, sugere-se:

1. Avaliar dimensionamento das cargas atuais entre as fases e refazer dimensionamento, se aplicável.
2. Avaliar o funcionamento do banco de capacitores e substituir componente, se aplicável.

3. Avaliar se o banco de capacitores está desbalanceado e refazer balanceamento, se aplicável.

Com a finalidade de corrigir distorções harmônicas acima dos limites aceitáveis citadas na IEEE-519, sugere-se:

1. Utilizar mão de obra interna ou contratar consultoria para investigar e avaliar o motivo dos valores elevados de THD% de corrente.

2. Realizar um estudo de viabilidade técnica e econômica para instalação de filtros passivos ou filtros ativos, a fim de corrigir essas distorções na rede.

Os filtros ativos geram e injetam correntes harmônicas com defasagem oposta, ocorrendo um cancelamento das ordens harmônicas que se deseja eliminar. Esse dispositivo é muito eficiente, porém tem custo muito elevado.

Os filtros passivos são componentes R, L e C, instalados em paralelo à rede, que proporcionam baixa impedância para as correntes harmônicas. Todavia, esse sistema possui complexidade de sintonia com o sistema elétrico. Esses filtros também podem ser utilizados para melhorar o fator de potência. Filtros passivos também possuem custo elevado, porém inferiores aos filtros ativos.

#### 4 Nomenclaturas

W	watt
VA	volt-ampere
Var	volt-ampere reativo
Wh	watt-hora
VArh	volt-ampere-hora reativo
VAh	volt-ampere-hora
THD	Distorção Harmônica Total
V	Volt
P avg	Potência Ativa Média
Q avg	Potência Reativa Média
S avg	Potência Aparente Média
Ph	Energia Ativa
Qh	Energia Reativa
Sh	Energia Aparente
Pd	Demanda Ativa
Qd	Demanda Reativa
Sd	Demanda Aparente
FP	Fator de Potência
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão

#### Conclusão

Embora a empresa não tenha compartilhado acesso às contas de energia elétrica e ao contrato do fornecedor de energia para avaliação do enquadramento tarifário, bem como detalhes do processo, relação de equipamentos e planos futuros de expansão, verificou-se que a empresa possui um bom gerenciamento de custos de demanda de energia elétrica contratada, através dos indicadores energia, que são apresentados em comitê industrial. Todavia, foram identificados alguns problemas na rede, relatados abaixo.

Identificou-se baixo fator de potência no QGBT 2, causado por provável desbalanceamento da rede elétrica. Presume-se que possa ter ocorrido após a expansão e

instalação de novos equipamentos. Multas podem ser aplicadas à empresa, pela concessionária de energia elétrica, devido ao baixo fator de potência. Entretanto, o baixo fator de potência no pavilhão avaliado está sendo amortizado por todo complexo industrial, visto que representa cerca de 3% do consumo de energia elétrica, apenas. Todavia, isso não exonera a implantação de ações para solução do problema, pois é necessário avaliar dimensionamento das cargas atuais entre as fases e avaliar o funcionamento do banco de capacitores, bem como o balanceamento.

Foram identificadas THD% de corrente, acima dos valores aceitáveis. Distorções harmônicas são prejudiciais, produzindo maiores esforços nos componentes e isolantes, causando aquecimento, dano na rede, danos e problemas de funcionamento nos equipamentos elétricos. É necessário realizar uma avaliação mais detalhada para identificar as causas das THD% elevadas. Para controle desse problema, podem-se instalar filtros ativos ou passivos, porém essa instalação é complexa, e é necessário realizar estudos de viabilidade econômica.

Na iluminação externa, a empresa já possui sensores de luz, porém, a fim de viabilizar a redução do consumo de energia, recomendou-se instalação adicional de sensores de movimento em 70% das lâmpadas, para reduzir o tempo e a quantidade de lâmpadas acesas à noite.

Como oportunidade de melhoria contínua na eficiência energética e na gestão em energia, este artigo sugeriu criação de uma Comissão de Conservação de Energia, criação de indicadores de consumo e qualidade de energia, atualização do projeto elétrico, pesquisa de *benchmarking* de energia e mapeamento de classes de índices de rendimento de motores, bem como *retrofit* quando aplicável.

Ter uma gestão em energia é a busca contínua por uma melhor eficiência energética. No meio do caminho dessa melhoria contínua, enfrentam-se vários obstáculos, como particularidades de cada processo, de cada planta, custos, questões tecnológicas e materiais além de mudanças no comportamento humano, para a promoção do uso racional de energia.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Anexo VIII da resolução normative nº 956, de 7 de dezembro 2021**: procedimentos de distribuição de energia elétrica no Sistema elétrico nacional – PRODIST: modulo 8: qualidade do fornecimento de energia elétrica. 2021. Disponível em: [https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956\\_2\\_7.pdf](https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf). Acesso em: 30 nov. 2022.

ALTOÉ, L. *et al.* Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 285-297, 2017. DOI: 10.1590/s0103-40142017.31890022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890022>. Acesso em: 30 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 50.001**: sistema de gestão de energia: requisitos com orientação de uso. 2011. Disponível em: <https://www.abntcolecao.com.br/>. Acesso em: 30 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 50.001**: sistema de gestão de energia: requisitos com orientação de uso. 2. ed. 2018. Disponível em: <https://www.abntcolecao.com.br/>. Acesso em: 30 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 50.002**: diagnóstico energético: requisitos com orientação de uso. 2014. Disponível em: <https://www.abntcolecao.com.br/>. Acesso em: 30 nov. 2022.

BASIL. Presidência da República. Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 out. 2001.

COOREMANS, C.; SCHÖNENBERGER, C. Energy management: a key driver of energy-efficiency investment? **Journal of Cleaner Production**, v. 230, p. 264-275, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.333.

COSTA, J. S.; ANDRADE JUNIOR, L. M. L. Energy efficiency applied to electricity consumption: a bibliographic review study. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.14085. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14085>. Acesso em: 30 nov. 2022.

FOSSA, A. J.; SGARBI, F. A. **Guia para aplicação da norma ABNT NBR ISO 50001: gestão de energia**. [São Paulo]: International Copper Association Brazil, 2019.

GONÇALVES, R. *et al.* Main results of an energy audit in a milk processing industry in Taquara, Southern Brazil. **Journal of Power and Energy Engineering**, v. 6, n. 1, p. 21-32, 2018. DOI: 10.4236/jpee.2018.61003.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE-519-2014**: IEEE recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems. 2014. Disponível em: <https://standards.ieee.org/ieee/519/3710/>. Acesso em: 30 nov. 2022.

KE, J. *et al.* Analysis and practices of energy benchmarking for industry from the perspective of systems engineering. **Energy**, v. 54, p. 32-44, 2013. DOI: 10.1016/j.energy.2013.03.018.

KUMANA, J. D.; SIDHWA, N. R. **Meaningful energy efficiency performance metrics for the process industries**. 2009. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1969.1/91075>. Acesso em: 30 nov. 2022.

LI, M.-J.; TAO, W.-Q. Review of methodologies and policies for evaluation of energy efficiency in high energy-consuming industry. **Applied Energy**, v. 187, 2017. DOI:10.1016/j.apenergy.2016.11.039. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.039>. Acesso em: 30 nov. 2022.

LOPEZ, R. A. **Qualidade na energia elétrica**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2013.

SOLNØRDAL, M. T.; FOSS, L. Closing the energy efficiency gap: a systematic review of empirical articles on drivers to energy efficiency in manufacturing firms. **Energies**, v. 11, n. 3, p. 518, 2018. DOI: 10.3390/en11030518.

VIANA, A. N. C. *et al.* **Eficiência energética: fundamentos e aplicações**. Campinas: Elektro: Universidade Federal de Itajubá: Excen: Fupai, 2012.

ZANARDO, R. P. *et al.* Energy audit model based on a performance evaluation system. **Energy**, v. 154, p. 544-552, 2018. DOI: 10.1016/j.energy.2018.04.179.