

Auditoria energética em uma indústria de laticínios

RESUMO

Leandro Luiz Laismann

23.leandro@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira, Paraná, Brasil

Lucas Duarte Soares

Lucas.2012@alunos.utfpr.edu.br

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil

O consumo de energia elétrica nas indústrias representa 36% da demanda nacional e a relação direta do PIB (Produto Interno Bruto) com a demanda de energia do país indica a conveniência de políticas de conservação de energia nas indústrias para países em desenvolvimento como o Brasil se estimularem economicamente. Este trabalho tem como objetivo indicar melhorias para reduzir o valor pago na fatura de energia elétrica de uma empresa de laticínios localizada no Norte do Paraná. A fim de tornar a indústria mais eficiente energeticamente foram feitas análises qualitativas e quantitativas dos seguintes módulos temáticos: fatura de energia elétrica, bombas de fluxo, acionamento de máquinas, transformadores, quadros de distribuição de circuitos, qualidade da energia elétrica e sistemas de refrigeração, ar comprimido e iluminação. Dentre os módulos estudados, a análise da fatura de energia elétrica e sistemas de refrigeração se destacaram representando maior influência na fatura de energia elétrica. Com a alteração do contrato de demanda e correção do fator de potência é possível obter uma economia anual de R\$ 30.000,00.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Industrial. Consumo de Energia Elétrica. Conservação de Energia Elétrica.

INTRODUÇÃO

A importância da eficiência energética tem ganhado mais respaldo ao decorrer dos anos no Brasil e no mundo. Devido ao sucessivo aumento da demanda, os países em desenvolvimento precisam de energia para se intensificarem economicamente, um bom indicador dessa relação é o consumo de energia com o valor do PIB (Produto Interno Bruto) (FROZZA, 2013).

Os países desenvolvidos que constituem a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) são os que mais consomem energia no mundo. Entretanto, a produção industrial nesses países tende a utilizar equipamentos mais eficientes que, ao decorrer do tempo, necessitam de menos energia para se manter em funcionamento. Pois, deixam para os países em desenvolvimento a execução de atividades que demandam muita energia, como por exemplo, a produção de alumínio (ANEEL, 2008).

Na Alemanha e França entre 2006 e 2007, sucedeu recuou de 5,6% e 2,1% respectivamente na demanda de energia. No mesmo período, o PIB nesses países cresceu em 2,5% e 1,9%. Comparando o Estados Unidos no mesmo período, houve acréscimo de 1,7% no consumo de energia, enquanto a economia cresceu 2,2% (ANEEL, 2008).

O setor industrial que é responsável por grande parte da economia do Brasil consome 36,3 % da energia elétrica (BEN, 2016). Desta forma, diminuir os gastos com a fatura de energia elétrica na indústria impacta em menores custos no produto final, aumentando a competitividade no mercado (PINTO *et al.* 2007)

Um melhor aproveitamento da energia reduz a necessidade de novos investimentos em capacidade de geração, de modo a liberar investimentos em melhoria nos sistemas já existentes (MENKES, 2004).

A auditoria energética é uma ferramenta para estimar o consumo de energia desperdiçada, a eficiência energética dos equipamentos e as perdas de energia em processos de produção. A finalidade é propor medidas que melhoram a eficiência dos processos a fim de diminuir os custos com energia elétrica sem afetar a produção, ou seja, fazendo uso da energia de maneira mais eficiente (NASCIMENTO, 2014).

Esta pesquisa tem o objetivo de realizar a auditoria energética com a análise de nove módulos temáticos a fim de identificar oportunidades de melhoria na gestão de energia nos processos e equipamentos de uma indústria de laticínios localizada no Norte do Paraná promovendo juntamente o desenvolvimento sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais.

Com as avaliações dos processos e equipamentos, serão apresentadas recomendações qualitativas e quantitativas dos módulos temáticos.

Os módulos temáticos são os setores da indústria que serão analisadas as oportunidades de melhoria, sendo analisados neste trabalho os sistemas de iluminação, refrigeração, ar comprimido e bombas de fluxo, transformadores, quadros de distribuição e qualidade da energia. Também serão analisados de forma quantitativa os seguintes módulos temáticos: fatura de energia elétrica, qualidade da energia, acionamentos de máquinas elétricas, e sistemas de iluminação, ar comprimido e refrigeração.

REFERENCIAL TEÓRICO

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O CONSUMO DE ENERGIA

Com o propósito de fomentar a eficiência energética foram criadas políticas em vários países com o objetivo de buscar por soluções energéticas mais limpas. Eficiência energética é uma forma mais sensata de diminuir o esgotamento dos recursos naturais já escassos. O objetivo é colaborar para o desenvolvimento sustentável visando diminuir o desperdício de energia e a dependência de fontes primárias de energia não renováveis. Englobando todo o ciclo da energia, desde a geração até o uso final (PORTELA, 2015; MENKES, 2004).

Faz-se de grande relevância o uso eficiente da energia tanto pelo ganho econômico como pelo lado sustentável. O uso ineficiente da energia proporciona perdas em qualquer economia acarretando, simultaneamente, prejuízos ambientais em esfera local, regional e mundial (MENKES, 2004).

PROCESSO DE AUDITORIA ENERGÉTICA

Auditoria energética é um estudo criterioso de equipamentos e processos de uma instalação a fim de identificar as perdas de energia, e quando possível, indicar recomendações para aumentar a eficiência do processo ou equipamento.

Os resultados dos projetos de eficiência energética apresentam melhorias no setor industrial. O que mais ocorre é a troca de equipamentos de menor eficiência por outros de maior eficiência. Alterações estruturais, implantação de equipamentos de automação e desenvolvimento de processos de gestão do consumo da energia resultam gastos menores no produto final (PORTELA, 2015).

Programas que visam a procura de informações na gestão de energia de forma a obter um retorno de sua implantação. Verificando-se a importância de como esta energia sendo usada, além de inspecionar se está de acordo com os modelos pré-estabelecidos. Foi estruturada a norma ABNT NBR ISO 50001 com o objetivo de que diversas instituições de variados portes possam estabelecer o uso eficiente da energia (FROZZA, 2013).

MÓDULOS TEMÁTICOS

Módulos temáticos são os setores que compõem o custo de energia elétrica na indústria a ser feita a auditoria energética, podendo-se fazer análises qualitativas e/ou quantitativas de cada módulo temático.

De acordo com Medeiros *et al.* (2011) é usual aplicar em estudos de Auditoria Energética módulos temáticos para o reconhecimento dos modelos com maior número de acasos para a composição da relevância de cada elemento a ser manipulado e assim direcionar as ações para a obtenção de maiores resultados.

Com base na quantidade de ocorrências nos modelos de auditoria energética de instituições nacionais e internacionais, os módulos temáticos nos indicarão os

setores da indústria com maior influência no valor da fatura de energia elétrica (MEDEIROS *et al.*, 2011).

O número de ocorrências é o índice com a relevância de cada setor no modelo de auditoria do ponto de vista em priorizar ações que atingiram maior eficiência energética na indústria (ELEKTRO, 2012).

Análise da Fatura de Energia Elétrica

Analisar a fatura de energia elétrica do consumidor permite adequar o consumidor de acordo às suas necessidades perante a concessionária. Conhecer as formas de faturação de energia elétrica permite determinar uma melhor contratação dos serviços prestados impactando em um melhor custo/benefício.

De acordo com ELEKTRO (2012) os principais parâmetros de análise com foco na eficiência energética são demanda fator de potência e modalidade tarifária.

Sistemas de Refrigeração

São destacados a seguir alguns aspectos que, se analisados, podem diminuir a perda de energia dos equipamentos e prolongar a sua vida útil. Os tópicos abordados visam apontar e extinguir problemas relacionados a operação, projeto e instalação destes sistemas, com foco essencial na eficiência energética (ELEKTRO, 2012).

Duas abordagens podem ser realizadas para a diminuição de perdas de energia. A abordagem qualitativa e quantitativa. A abordagem qualitativa apresenta medidas para diminuição de perdas de energia em geral, porém na maioria das análises a quantia economizada não pode ser estimada. Com a abordagem quantitativa é possível prever a quantidade de energia desperdiçada (FROZZA, 2013).

Abordagem quantitativa

De acordo com Frozza (2013) pode ser determinada a perda de energia de sistemas de refrigeração através de alguns cálculos com a finalidade de conhecer se o sistema necessita de correções. As análises quantitativas são:

a) Perda devido ao nível de temperatura (Pt)

A perda térmica pode ser calculada através da Equação (1).

$$Q_p = V_f \cdot \rho_{ar} \cdot C_{par} \cdot \Delta T \quad (1)$$

Em que:

Q_p : calor de perda térmica (kW);

V_f : vazão do forçador (m^3/h);

ρ_{ar} : 1,293 é a massa específica do ar nas CNTP (0°C e 1 atm);

C_{par} : $2,793 \cdot 10^{-4}$ [kwh/kg°C] é o calor específico do ar; e

ΔT : diferença entre a temperatura medida e a temperatura recomendada ($^{\circ}\text{C}$).

Com o nível inapropriado de temperatura a perda de energia pode ser calculada através da Equação (2)

$$P_t = Q_p \cdot \frac{C_m}{C_g} \quad (2)$$

Onde:

P_t : energia perdida devido ao nível inapropriado de temperatura (kWh/mês);

C_m : consumo de energia mensal dos compressores (kWh/mês);

C_g : Capacidade compressora de geração (kW); e

Q_p : calor de perda térmica (kW);

b) Perda devido a inexistência de pressostato ou termostato (P_{it}).

Equipamentos de refrigeração são projetados para trabalharem em média de 16 a 18 horas por dia. Em caso de ausência de componentes de controle, o funcionamento será ininterrupto, o que implica em desperdício de energia, uma média de 6 horas por dia de ociosidade é utilizada. A perda devido à ausência desse componente de controle é determinada pela Equação (3).

$$P_{it} = \frac{6}{24} C_m \quad (3)$$

em que:

P_{it} : Economia mensal de energia elétrica [kWh/mês]; e

C_m : consumo de energia mensal dos compressores (kWh/mês).

c) Perda devido a incidência direta de raios solares e isolamento inadequado (P_{irr}).

Em câmaras de refrigeração, as dimensões estão diretamente ligadas as perdas térmicas, o material e espessura das paredes. A Equação (4) estima o calor introduzido nas câmaras.

$$\frac{Q}{S} = 0,0011639 \cdot \Delta T \cdot \frac{ki}{li} \quad (4)$$

onde:

Q/S : perda de energia por unidade de área (kWh/m²);

ki : coeficiente de condutibilidade térmica do material (W/m².K);

li : espessura isolante das paredes (m); e

ΔT : diferença de temperatura entre o ar interno e externo acrescentado ao valor constante conforme a orientação da parede e cor ($^{\circ}\text{C}$).

O resultado da Equação (4) deve ser equiparado com valor 0,011639 kW/m² que é uma medida usualmente utilizada em projetos de câmaras frias. Em situação que o valor calculado for maior, deve-se calcular o calor excedente por meio da Equação (5), sendo (S) a área em m².

$$Q_{irr} = \left(\frac{Q}{S} - 10\right) \cdot S \quad (5)$$

Com o resultado da Equação (5) é possível mensurar uma estimativa de perda de energia com a Equação (6).

$$E_{irr} = Q_{irr} \cdot \frac{C_m}{C_g} \quad (6)$$

Em que:

E_{irr} : perda de energia (kWh/mês);

C_g : capacidade de geração dos compressores (kW);

Q_{irr} : perda de energia térmica (kW/m²); e

C_m : consumo de energia do sistema de refrigeração (kWh/mês);

d) Perda por vedação precária das cortinas e portas (Pved)

A quantidade de calor perdida pela vedação deficiente das portas e cortinas é estimada pela Equação (7).

$$Q_{ved} = 0,174585 \cdot A_{est} \quad (7)$$

Onde:

Q_{ved} : calor perdido (kW); e

A_{est} : área estimada dos vãos e aberturas (m²).

O valor encontrado na Equação (8), corresponde ao montante total de energia desperdiçada pelo calor externo.

$$E_{ved} = Q_{ved} \cdot \frac{C_m}{C_g} \quad (8)$$

E_{ved} : Energia perdida (kWh/mês);

C_m : consumo de energia do sistema de refrigeração (kWh/mês); e

C_g : Capacidade compressora de geração (kW).

Sistemas de Ar Comprimido

Em processos industriais, uma parcela considerável no consumo de energia provém de sistemas de ar comprimido que desempenham tarefas fundamentais na indústria. Seus essenciais componentes incluem motores, compressores, acionamentos, reservatório e equipamentos de melhoria do ar (BELINOVSKI *et al.*, 2009).

O Manual de Eficiência Energética na Indústria da COPEL (2005) e Capelli (2013) trazem recomendações para obter o melhor rendimento em sistemas de ar comprimido. A seguir são listados alguns itens que devem ser realizados nas propostas de instalação e manutenção preventiva:

a) Limpeza dos filtros de ar;

b) Evitar sempre que possível as curvas e excesso de tubulações;

- c) Uso de válvulas automáticas;
- d) Se possível, a instalação da rede deve ser em anel;
- e) Alocar os reservatórios próximos aos pontos de consumo.

Segundo ELEKTRO (2012) é significativo quantificar as vantagens em aplicar melhorias que possam trazer resultados satisfatórios. De acordo com Capelli (2013) a redução de vazamentos tem aplicabilidade de 80% em sistemas de ar comprimido e, segundo o mesmo autor, pode haver redução em até 20% no consumo anual de energia. Vazamentos em sistemas de ar comprimidos são toleráveis em até 5%.

Existem duas formas de medição de vazamentos, a medição por diferencial de pressão no reservatório e a medição do tempo de carga (ELETROBRÁS, 2006). Por conveniência em simplificar a medição, é abordado o procedimento de medição do tempo de carga.

Medição de Vazamentos

O procedimento de medição do tempo de carga não é preciso saber o volume das tubulações do sistema. Diferentemente do procedimento de medição por diferencial de pressão no reservatório. O procedimento consiste em:

- a) Fechar todas as válvulas de uso final;
- b) Acionar o compressor até o reservatório alcançar a pressão de trabalho;
- c) Medir os tempos em carga. Refazer os ciclos de compressão pelo menos 5 vezes (carga/descarga); e
- e) Aferir o tempo integral necessário para concluir os ciclos de compressão de ensaio.

Bombas de Fluxo

A finalidade dos motores elétricos nas indústrias segundo ELETROBRÁS. (2006) é de aproximadamente 63% para uso em sistemas de movimentação de fluidos.

Monteiro e Monachesi (2005) recomenda que antes de intervir no bombeamento, precisam priorizar nos sistemas de distribuição o uso final do líquido bombeado, pois as melhorias nessas zonas serão consequentes no bombeamento.

Segundo o mesmo autor, a metodologia descrita é para reconhecimento de oportunidades de melhoria na eficiência final do líquido bombeado. Serão citados apenas a caráter informativo os principais itens que interferem na eficiência do sistema sendo eles: Redução da altura manométrica; Aumento do diâmetro das instalações hidráulicas para reduzir perdas; Melhoria da rugosidade e redução na perda de carga e Redução de perdas por vazamento

Acionamentos de Máquinas Elétricas

De acordo com o MME (2015), aproximadamente 30% da energia consumida no Brasil é destinado ao acionamento de motores elétricos.

Motores de alto rendimento apresentam uma economia significativa, entretanto, alguns fatores como condições de partida e alto custo envolvido acaba inviabilizando em grande maioria das aplicações (ELEKTRO, 2012).

O carregamento em motores elétricos deve estar acima de 75% da carga nominal para funcionamento com o rendimento adequado. Em situações que a máquina estiver superdimensionada é conveniente a substituição por outra de menor potência nominal (MME, 2015).

ELETROBRÁS (2006) apresenta um método para verificação do carregamento em motores de indução. Por meio da rotação de trabalho do motor pode-se constatar o conjugado através da Equação 9.

$$M_t = \frac{M_n(n_s - n_t)}{(n_s - n_n)} \quad (9)$$

Onde:

M_t : conjugado de trabalho (cv/rpm);

M_n : conjugado nominal (cv/rpm);

n_s : rotação síncrona (rpm);

n_n : rotação nominal (rpm); e

n_t : rotação de trabalho (rpm).

O conjugado pode ser dado pela Equação 10.

$$M_n = \frac{P_n}{n_n} \quad (10)$$

Onde P_n é a potência nominal em cv. A potência de trabalho do motor em cv é dado pela Equação 11

$$P_t = M_t \cdot n_t \quad (11)$$

Por final, o fator de carregamento em cv é dado pela Equação 12

$$F_c = \frac{P_t}{P_n} \quad (12)$$

Na situação de não ser possível ter acesso ao eixo do motor para medir a rotação de trabalho, é possível estimar a rotação através da medição de corrente descrita na Equação 13 a seguir.

$$n_t = n_s - \frac{I_t - I_0}{I_n - I_0} \cdot (n_s - n_n) \quad (13)$$

Onde:

I_t : corrente de trabalho (A);

I_0 : corrente a vazio (A); e

I_n : corrente nominal (A).

Quando não for praticável a medição de corrente a vazio do equipamento, a mesma pode ser estimada através da Equação 14, onde os valores das constantes A_0 e B_0 estão em função do número de polos e da potência do motor e podem ser verificadas através da Tabela 1, apresentada por ELETROBRÁS (2006).

$$\frac{I_0}{I_n} (\%) = A_0 - B_0 \ln P_n \quad (14)$$

Tabela 1 – Constantes para cálculo de corrente a vazio de motores de indução

Polos	8	6	4	2
A_0	77,46	72,11	67,48	56,65
B_0	7,14	7,13	7,49	6,86

Fonte: Adaptado de Adaptado de ELETROBRÁS (2006).

ELETROBRÁS (2006) defende que as tensões nos terminais do motor influenciam nas perdas da máquina, sabendo que, na situação de subtensão a máquina para manter seu torque aumentará a corrente consumida provocando aumento das perdas. Em situação de tensão superior a nominal, o fator de potência e o rendimento irão diminuir. O Quadro 1 a seguir mostra o comportamento de motores de indução em função da variação de tensão.

Quadro 1 – Desempenho de motores de indução em função da tensão aplicada

Característica		Variação da tensão nominal	
		110%	90%
Torque	De partida, máximo e de operação	Aumenta 21%	Diminui 19%
Rotação	Sincrona	Não se altera	Não se altera
	Plena carga	Aumenta 1%	Diminui 1,5%
	Escorregamento	Diminui 17%	Aumenta 23%
Rendimento	Plena carga	Aumenta 0,5 a 1 ponto	Decresce 2 pontos
	¾ da carga	Pequena mudança	Pequena mudança
	½ da carga	Diminui 1 a 2 pontos	Aumenta 1 a 2 pontos
Fator de potência	Plena carga	Diminui 3 pontos	Aumenta 1 ponto
	¾ da carga	Diminui 4 pontos	Aumenta 2 a 3 pontos
	½ da carga	Diminui 5 a 6 pontos	Aumenta 4 a 5 pontos
Corrente	Partida	Aumenta 10 a 12%	Diminui 10 a 12%
	Plena carga	Diminui 7%	Aumenta 11%
Temperatura		Diminui 3 a 4%	Aumenta 6 a 7%
Capacidade de sobrecarga		Aumenta 21%	Diminui 19%
Ruído de origem magnética		Pequeno aumento	Pequena redução

Fonte: Adaptado de ELEKTRO (2012)

Transformadores

Em aspectos de uso e dimensionamento de transformadores há diversas ações que podem ser atuadas para diminuir o desperdício de energia. Ações mais usuais são destacadas por (IBAM, 2002) a seguir.

a) Sobrecarga em transformadores causa perdas elevadas, isso ocorre devido as perdas no entreferro que correspondem ao quadrado das correntes que fluem na máquina. Perdas também ocorrem em situações de baixa carga nos transformadores. A faixa ideal de carga no transformador deve estar entre 30 e 70% de sua potência nominal;

b) Em situações que há a necessidade de transformadores conectados em paralelo é recomendável que sejam de potências próximas e impedâncias internas iguais para que não haja circulação de corrente entre os transformadores prejudicando a eficiência dos mesmos.

Outra técnica de redução de perdas em transformadores que requerem baixos investimentos é o aumento do fator de potência das cargas que estão conectados ao transformador. Aumentando o fator de potência serão reduzidos a componente indutiva da corrente, conseqüentemente diminuindo a corrente da carga (COPEL, 2005).

Sistemas de Iluminação

A NBR ISO 8995-1 estabelece valores mínimos de iluminância de ambientes de trabalho. Além do nível adequado de iluminação, outras condições como estética, conforto visual e eficiência são parâmetros que devem ser consideradas pelo projetista (FROZZA, 2013). Outras avaliações que devem ser levados em conta é a avaliação dos custos envolvidos no projeto, tais como, custos de investimento e custos operacionais (OSRAM, 2007).

Quadros de Distribuição de Circuitos

O fator primordial para conservação de energia em quadros de distribuição é o dimensionamento dos elementos envolvidos, bem como na sua manutenção preventiva (FROZZA, 2013). Para IBAM (2002) "...em um sistema de distribuição de energia dois tipos de perdas ôhmicas: um em função das resistências inerentes aos componentes do sistema e outro devido à resistência causada pelas conexões entre os componentes."

Componentes de um sistema de distribuição sempre oferecem perdas, porém em disjuntores, seccionadoras e chaves fusíveis podem ser desprezadas quando estiverem corretamente dimensionados e em boas condições de conservação. IBAM (2002) defende que as perdas representativas em quadros de distribuição estão nos condutores elétricos, equilíbrio de fases e em sistemas de proteção

Qualidade da Energia Elétrica

O crescente aumento de cargas não lineares trouxe para o sistema elétrico o transtorno da distorção harmônica que cada vez mais se torna significativo a análise dessa perturbação. Algumas aplicações no meio industrial que interferem na qualidade da energia elétrica, de modo a acrescentar perdas e até em casos mais críticos, danos a equipamentos. (ELETROBRÁS, 2006).

De acordo com Martinho (2013) o índice de automação nas indústrias é muito maior que nos outros setores. E por consequência disso, os impactos são maiores, visto que parada de máquinas e danificação de equipamentos acarretam grandes prejuízos financeiros. Para ELETROBRÁS. (2006) na indústria os equipamentos que causam uma má qualidade de energia são: inversores de frequência, controladores de iluminação, lâmpadas fluorescentes com reatores eletrônicos e dentre outros.

IBAM (2002) defende que um dos principais problemas causados pela falta de qualidade de energia é a presença de harmônicos na rede. A Distorção Harmônica Total (DHT) é o indicador mais usado para analisar harmônicos e pode ser mensurada para tensão ou corrente.

METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado entre dia 26 de fevereiro de 2018 e o dia 1º de março de 2018, em uma empresa de laticínios localizada na região Norte do Paraná. Por se tratar de uma indústria de alimentos perecíveis sua principal carga elétrica são os sistemas de refrigeração.

A Tabela 2 apresenta os módulos temáticos abordados nesta auditoria baseado nos módulos apresentado no referencial teórico

Tabela 2 – Módulos temáticos abordados nesta auditoria

Módulos Temáticos	Nº Ocorrências
Análise da Conta de Energia + Análise do comportamento de Cargas + Correção do Fator de Potência	19
Refrigeração	13
Iluminação	9
Ar comprimido	6
Motores Elétricos	5
Bombas	5
Quadros de Distribuição de Circuitos	4
Transformadores	4
Qualidade da Energia	3

Fonte: Autoria própria (2018)

Por meio de estudo dos módulos temáticos foram identificadas as variáveis que devem ser analisadas para cada setor da empresa. A partir da aferição das grandezas envolvidas, as variáveis de interesse (por exemplo, as perdas) foram estimadas quando possível, e com o levantamento dos dados, os mesmos foram

tratados para o estudo técnico das possibilidades de redução do consumo de energia elétrica.

A Tabela 3 representa a forma de abordagem de cada módulo temático, podendo ser abordagem qualitativa, quantitativa ou ambas.

Tabela 3 – Forma de abordagem dos módulos temáticos

Módulos Temáticos	Qualitativa	Quantitativa
Tarifação de energia		x
Sistemas de refrigeração	x	x
Sistemas de ar comprimido	x	x
Bombas de fluxo	x	
Acionamentos de máquinas elétricas		x
Transformadores	x	
Sistemas de iluminação	x	x
Quadros de distribuição de circuitos	x	
Qualidade da energia elétrica	x	x

Fonte: Autoria própria (2018)

Nesse trabalho, a metodologia empregada tem como base os módulos temáticos e, portanto, para cada módulo é descrita a metodologia específica utilizada. As descrições detalhadas, de cada metodologia, encontram-se na seção abaixo.

MÓDULOS TEMÁTICOS

Para a aferição de grandezas como corrente elétrica, tensão elétrica, fator de potência, demanda, harmônicos e dentre outros na entrada de serviço, foi utilizado o analisador de energia *Smart METER T* do fabricante *IMS Power Quality*. Os dados fornecidos pelo equipamento são utilizados em diversos itens deste capítulo.

Os dados fornecidos pelo analisador de energia nesta seção foram medidos das 09:37h do dia 28 de fevereiro de 2018 às 09:15h do dia 1º de março de 2018. As leituras foram realizadas a cada um minuto, totalizando 1419 registros.

As informações coletadas do analisador de energia são amostras para ter como base indícios das características das grandezas coletadas.

Visto que para a elaboração de indicadores mais precisos segundo Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico) é necessário, por exemplo, para distorção harmônica total de tensão um total de 1008 leituras consecutivas a cada dez minutos por um período de sete dias. Entretanto, para levantamento de parâmetros diários como demanda e fator de potência a leitura a cada minuto é mais adequada.

Tarifação de Energia Elétrica

Através do analisador de energia na entrada de serviço da indústria foi possível fazer o levantamento da curva de carga diária para análise de mudança no enquadramento tarifário do consumidor e da possível realocação de cargas para o aumento do fator de carga. O analisador de energia também forneceu dados que foram utilizados para estudos do fator de potência.

Com a fatura de energia elétrica do consumidor foi possível efetuar a análise do fator de potência, demanda contratada, consumo na ponta e fora de ponta e penalidades por ultrapassagem de demanda. A partir destes dados, pode-se aplicar medidas contratuais ou técnicas com intuito de diminuir custos com o faturamento de energia.

Sistemas de Refrigeração

Nesse tópico foram abordadas as análises qualitativas e quantitativas. A análise qualitativa foi efetuada por meio de uma inspeção do ambiente, examinando, essencialmente, a situação de conservação dos equipamentos que compõem o sistema de refrigeração, bem como a manutenção de todos os componentes, como condensadores, tubulações, câmara fria, e entre outros.

A abordagem quantitativa foi desenvolvida por meio dos procedimentos e Equações 1 até 8. A extração dos dados como, vazão do forçador de ar e capacidade compressora de geração são fornecidos no catálogo dos equipamentos de refrigeração. Outras grandezas de interesse foram aferidas, mediante equipamento apropriado descritos a seguir:

- a) Temperatura: termômetro digital infravermelho *LASERGRIP* GM 400 com range de -50°C a 400°C;
- b) Dimensões: trena milimétrica de 5 metros.

Sistemas de Ar Comprimido

A análise qualitativa deste módulo temático é descrita no referencial teórico. Sistemas de ar comprimido tem atenção especial aos vazamentos presentes nos equipamentos e tubulações, que é comumente encontrado nas indústrias. De acordo com ELEKTRO (2012) 80% dos sistemas de ar comprimido contém vazamentos. No tópico medição de vazamentos é descrito o procedimento de medição de tempo de carga para quantificar as perdas por vazamentos.

Dois parâmetros necessários para realizar o procedimento de quantificação das perdas é a vazão do compressor que foi encontrado no catalogo fornecido pelo fabricante e o tempo de carga que foi necessário o uso de um cronômetro para medir os tempos de carga e descarga do compressor.

A medição dos tempos de carga e descarga foram feitas fora do período de produção, visto que foi necessário o fechamento de todas as válvulas de uso final da indústria.

Bombas de Fluxo

Este tópico é abordado apenas em caráter informativo e recomendativo. Caso seja observado nas instalações oportunidades de melhoria, serão indicadas recomendações para modificação na altura manométrica das bombas, verificação de possíveis vazamentos e aumento do diâmetro das tubulações.

Acionamentos de Máquinas Elétricas

Em motores de indução foram analisados o desempenho em função da tensão aplicada e o carregamento. As avaliações foram aplicadas nos motores em que foram possíveis a medição dos parâmetros apresentados nas Equações 9 até 14.

Com o objetivo de aferir as tensões nos terminais da máquina, foi utilizado o alicate wattímetro *true*-RMS Et-4080 da marca Minipa. O 1 fornece as características de desempenho do motor quando submetido a variações de tensão fora da nominal.

O carregamento do motor de indução foi estimado através da medição de corrente em cada fase. No referencial teórico é mencionado o procedimento para determinação do carregamento de motores de 2 a 8 polos. Através do alicate wattímetro foi determinada a corrente de trabalho instantânea de cada motor, posteriormente foi calculado a rotação de trabalho de cada máquina e com os dados de placa do motor e as Equações 9 até 14 foi determinado o fator de carregamento.

Transformadores

Por meio da pesquisa bibliográfica desse trabalho foi levantada a demanda e o fator de carga da indústria. Com esses dados foi determinado a carga de operação do transformador que para condições de uso eficiente deve estar entre 30 e 70% de sua potência nominal. Além disso, foi inspecionado visualmente a parte externa do transformador verificando o estado dos terminais de contato e possíveis vazamentos do óleo isolante.

Sistemas de Iluminação

Nesse módulo foram verificadas as oportunidades de melhoria quanto ao uso adequando da iluminação no ambiente administrativo e industrial. Com o auxílio do luxímetro digital *Lux meter* LX-101 foi medido a luminosidade dos ambientes e comparado com os mínimos estipulados pela norma ISO 8995-1 que trata de iluminância de interiores. Na situação do ambiente estar muito além dos valores estipulados pela norma, o cálculo luminotécnico indicou a quantidade mínima de lâmpadas que proporcionam um conforto visual e ao mesmo tempo a eficiência da iluminação dos ambientes analisados.

A NBR ISO 8995-1 recomenda o número de pontos para a coleta da luminosidade de acordo com as dimensões de cada ambiente. A Equação 15 determina o tamanho da malha (p) para medição da iluminância.

$$p = 0,2 * 5 * \log_{10} d \quad (15)$$

Onde (d) é a maior dimensão da superfície de referência, expressa em metros (m).

A Equação 16 determina o número de pontos necessários para a medição de iluminância em cada ambiente.

$$n = \frac{d}{p} \quad (162)$$

Para uso no cálculo luminotécnico, a Tabela 4 determina o fator de utilização (Fu) para luminárias do tipo sobrepor.

Tabela 4 – Fator de utilização (Fu) para o cálculo luminotécnico

K	773	751	573	531	353	331	131	000
0,60	0,43	0,33	0,41	0,29	0,33	0,29	0,29	0,25
0,80	0,50	0,39	0,48	0,35	0,39	0,35	0,35	0,31
1,00	0,54	0,45	0,52	0,40	0,45	0,39	0,39	0,36
1,25	0,60	0,48	0,56	0,45	0,49	0,44	0,43	0,41
1,50	0,63	0,51	0,59	0,48	0,52	0,47	0,47	0,44
2,00	0,67	0,56	0,63	0,52	0,57	0,51	0,51	0,48

Fonte: Adaptado de IBAM 2002

Quadros de Distribuição de Circuitos Elétricos

A verificação qualitativa da perda de energia nos quadros elétricos foi feita por meio do termômetro digital infravermelho. Com a inspeção foi possível verificar a temperatura dos componentes dos quadros de distribuição. Segundo Campos (2004) as temperaturas admissíveis nos componentes do quadro de distribuição são listadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Máxima temperatura admissível de componentes em quadros elétricos

Componente	Temperatura (°C)
Condutor com isolamento PVC	70
Condutor com isolamento EPR ou XLPE	90
Régua de bornes	70
Conexões mediante parafusos	70
Conexões e barramentos de baixa tensão	90
Conexões recobertas de prata ou níquel	90
Seccionadoras	50
Conexões	60
Cabos	60

Fonte: Adaptado de Campos (2004)

Também foi verificado o equilíbrio entre as fases na entrada de serviço através dos dados de corrente fornecido pelo analisador de energia, com o objetivo de manter a distribuição das cargas de acordo com a capacidade dos cabos e proteção, evitando assim, o superaquecimento.

Qualidade da Energia Elétrica

O estudo envolvendo qualidade de energia elétrica se restringiu somente a análise de harmônicos de tensão. Por se tratar de um estudo mais complexo e demorado a análise de harmônicos de corrente não foi abordado nessa auditoria.

A aferição do DHT foi feita através do analisador de energia na entrada de serviço da indústria. A tensão e o DHT nos pontos de conexão dos motores foram aferidos através do wattímetro.

Essa auditoria verificou apenas a presença significativa de harmônicos nas instalações da indústria com o objetivo de indicar possíveis pontos que necessitem de correção e também os possíveis causadores da distorção de tensão. Considerando que para dimensionar os filtros para correção é indispensável análises mais profundas sobre o tema, e que somente a informação do DHT de tensão não é suficiente para quantificar o porte do filtro.

A norma IEC 61000-2-2 trata dos níveis aceitáveis de harmônicos de tensão em redes de baixa tensão.

A tensão na entrada de serviço foi aferida através do analisador de energia para verificar se a mesma se encontra em níveis aceitáveis de fornecimento. O Módulo 8 do PRODIST estabelece que a faixa adequada de tensão deve situar-se entre 95% e 105% da tensão nominal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

MÓDULOS TEMÁTICOS

Tarifação de Energia Elétrica

Os dados de contratação do consumidor em janeiro de 2018 são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados de contratação do consumidor

Descrição	Dados
Concessionária	COPEL
Tensão contratada	13,2 KV
Tipo de tarifação	Tarifa horária verde
Demanda contratada (kW)	250
Tarifa de demanda (R\$/kW)	22,69
Tarifa de consumo na ponta (R\$/kWh)	1,87
Tarifa de consumo fora de ponta (R\$/kWh)	0,44
Tarifa de demanda ultrapassada (R\$/kW)	45,39
Tarifa por excedente de reativos na ponta (R\$/kWh)	0,39
Tarifa por excedente de reativos fora de ponta (R\$/kWh)	0,39

Fonte: Autoria própria (2018)

Demanda

Na Tabela 7 podem ser verificados os valores de consumo, demanda e Fator de Carga (FC) no intervalo de fevereiro de 2017 a janeiro de 2018. Pode-se constatar na Tabela 6 que o valor contratado de demanda é de 250 kW e que em todo o período de análise a indústria ultrapassou o valor contratado, resultando em penalidade por ultrapassagem de demanda que custa o dobro do seu valor padrão por kW excedido

Tabela 7 – Dados de consumo e demanda da indústria

Ano	Mês	Consumo Ponta (kWh)	Consumo Fora Ponta (kWh)	FC(%)	Demanda(kWh)
2017	Fev	1594	106133	46,6	316,84
2017	Mar	1721	99175	45,4	304,25
2017	Abr	1098	107122	52,3	283,49
2017	Mai	888	84791	40,6	289,39
2017	Jun	1082	93928	44,5	292,64
2017	Jul	1031	89715	43,9	283,09
2017	Ago	1228	94078	44,9	290,87
2017	Set	3963	111465	47,3	334,46
2017	Out	2324	114765	44,7	359,06
2017	Nov	3210	123832	55,3	314,58
2017	Dez	6909	130724	55,7	338,29
2018	Jan	4446	139672	56,3	350,40

Fonte: Autoria própria (2018)

No mesmo período de análise, a Tabela 8 mostra as penalidades por ultrapassagem de demanda que totalizaram o custo de R\$ 31.287,93. O mês com menor demanda faturada ultrapassou 13,2% da demanda contratada e o mês com maior demanda faturada ultrapassou 43,6% da demanda contratada.

Tabela 8 – Custo de excedentes de reativos, demanda e ultrapassagem de demanda

Ano	Mês	Ponta	Fora Ponta	Demanda	D. Ultrapassada	Valor da fatura
2017	Fev	R\$ 13,55	R\$ 419,99	R\$ 5.023,52	R\$ 2.119,51	R\$ 54.679,24
2017	Mar	R\$ 6,98	R\$ 235,82	R\$ 4.858,41	R\$ 1.732,58	R\$ 54.039,50
2017	Abr	R\$ 4,61	R\$ 241,90	R\$ 4.558,27	R\$ 1.076,97	R\$ 50.968,22
2017	Mai	R\$ 4,31	R\$ 180,51	R\$ 4.693,25	R\$ 1.277,63	R\$ 45.774,14
2017	Jun	R\$ 6,65	R\$ 201,67	R\$ 4.787,04	R\$ 1.395,02	R\$ 49.234,30
2017	Jul	R\$ 4,28	R\$ 251,68	R\$ 6.278,18	R\$ 1.467,70	R\$ 51.269,27
2017	Ago	R\$ 9,86	R\$ 194,86	R\$ 6.520,95	R\$ 1.832,51	R\$ 56.515,49
2017	Set	R\$ 62,09	R\$ 1.065,98	R\$ 7.566,62	R\$ 3.821,53	R\$ 73.770,25
2017	Out	R\$ 37,03	R\$ 1.690,18	R\$ 8.216,19	R\$ 4.991,14	R\$ 76.861,00
2017	Nov	R\$ 23,80	R\$ 926,60	R\$ 7.218,77	R\$ 2.963,86	R\$ 82.458,04
2017	Dez	R\$ 17,76	R\$ 210,76	R\$ 7.762,86	R\$ 4.052,03	R\$ 91.937,53
2018	Jan	R\$ 0,78	R\$ 53,90	R\$ 7.952,83	R\$ 4.557,45	R\$ 84.777,08

Ano	Mês	Ponta	Fora Ponta	Demanda	D. Ultrapassada	Valor da fatura
Total					R\$ 31.287,93	

Fonte: Autoria própria (2018)

Para diminuir, ou até mesmo eliminar as multas por ultrapassagem de demanda ELEKTRO (2012) há três opções: Instalação de controlador de demanda que faz o corte de cargas menos prioritárias quando há um pico de demanda, redistribuição de cargas para o aumento do fator de carga da indústria e por último e não menos importante, alteração de demanda contratada junto a concessionária de energia.

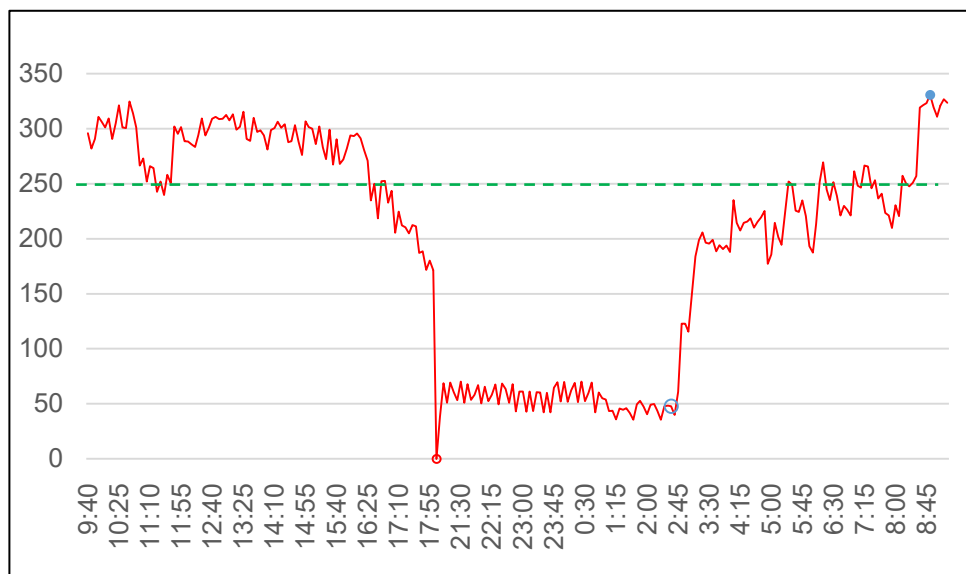
A Figura 1 representa a curva de carga diária na indústria no período das 09:30h às 23:59h do dia 28 de fevereiro de 2018 e das 00:00h às 09:00h do dia primeiro de março de 2018. A medição não contemplou o horário de ponta das 18:00h às 21:00h, pois a indústria possui geração própria de energia elétrica para este horário e o objetivo é conhecer a curva de carga faturada da concessionária de energia.

Com o gráfico da curva de carga da Figura 1 é possível verificar o horário em que a indústria tem maior e menor consumo de energia, possibilitando a análise do gerente de produção uma possível redistribuição de cargas para redução dos picos de demanda na indústria. A linha tracejada na cor verde representa o valor de contrato atual e é evidente que o consumidor ultrapassou a demanda contratada diversas vezes ao dia, acarretando em multa por ultrapassagem de demanda.

O fator de carga geral é calculado na Tabela 7 e apresentou índice de 40,6 % no mês de maio de 2017, sendo o valor mais baixo para o período de análise. O maior índice calculado foi em janeiro de 2018 com 56,3%. Para o gráfico da Figura 1 o FC calculado foi de 59,6% através do analisador de energia que apresentou o consumo de 4142 kWh e pico de demanda de 330,7 kW. Segundo Barros (2010) o consumo deve ser o mais constante possível para elevar o fator de carga e amenizar os picos de demanda.

O mais baixo índice FC de 40,6% e mais alto de 56,3% do FC pode ser justificado devido fato da indústria produzir produtos alimentícios que necessitam de refrigeração para a produção, fatores climáticos da região e estação do ano pode interferir no consumo de energia na refrigeração. Deste modo, os meses próximos a estação de inverno tendem a temperaturas mais baixas e meses próximos ao verão tendem a temperaturas mais altas.

Figura 1 – Curva de carga diária em (kW)

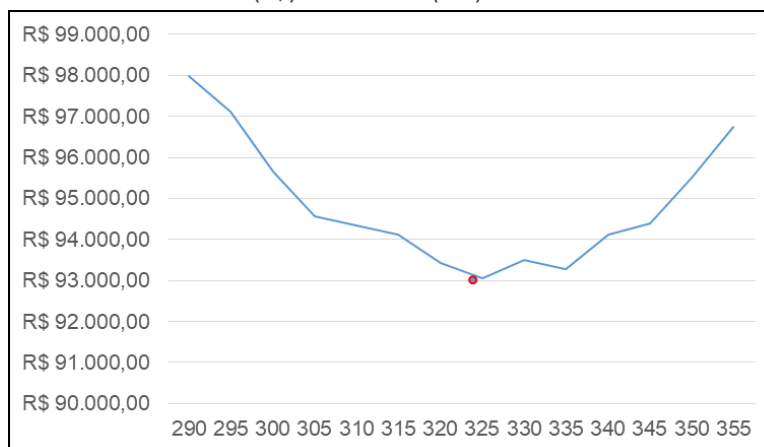


Fonte: Autoria própria (2018)

Com o auxílio de um software de planilha eletrônica foi estimado o gasto anual com demanda, visando a obtenção de um valor ótimo que minimizasse o custo anual de contratação. Com base nos custos presentes de demanda e ultrapassagem de demanda do mês de janeiro de 2018 e demanda faturada de fevereiro de 2017 a janeiro de 2018, foram simuladas demandas de 290 kW a 355 kW com intervalos de 5 kW. O valor obtido de demanda ótima com menor custo anual é 325 kW.

A Figura 2 representa a curva de Custo (R\$) x Demanda (kW), pode-se observar que o ponto mínimo da curva se encontra no valor de contrato de 325 kW.

Figura 2 – Gráfico de Custo (R\$) x Demanda (kW)



Fonte: Autoria própria (2018)

Os valores estimados com gasto anual de demanda para diferentes valores de contratação são apresentados na Tabela 9. Na tabela são apresentados três valores de demanda: 250 kW (o valor de contrato atual, 300 kW (o valor máximo da entrada de serviço da indústria) e 325 kW (o valor ótimo que minimiza os

custos com demanda). A economia anual para contratação de 300 kW e 325 kW são, respectivamente, R\$23.970,48 e R\$ 26.576,00.

Tabela 9 – Estimativa de gasto anual com demanda

Mês	Demanda	250 kW	300 kW	325 kW
Fevereiro	316,84	R\$ 10.222,97	R\$ 7.953,30	R\$ 7.374,25
Março	304,25	R\$ 9.365,84	R\$ 6.903,43	R\$ 7.374,25
Abril	283,49	R\$ 7.952,50	R\$ 6.807,00	R\$ 7.374,25
Mai	289,39	R\$ 8.354,17	R\$ 6.807,00	R\$ 7.374,25
Junho	292,64	R\$ 8.575,43	R\$ 6.807,00	R\$ 7.374,25
Julho	283,09	R\$ 7.925,27	R\$ 6.807,00	R\$ 7.374,25
Agosto	290,87	R\$ 8.454,93	R\$ 6.807,00	R\$ 7.374,25
Setembro	334,46	R\$ 11.422,54	R\$ 9.152,69	R\$ 7.588,90
Outubro	359,06	R\$ 13.097,30	R\$ 10.827,21	R\$ 9.692,71
Novembro	314,58	R\$ 10.069,11	R\$ 7.137,82	R\$ 7.374,25
Dezembro	338,29	R\$ 11.683,28	R\$ 9.413,40	R\$ 7.675,80
Janeiro	350,40	R\$ 12.507,73	R\$ 10.237,73	R\$ 9.103,23
	Valor Total	R\$ 119.631,07	R\$ 95.660,59	R\$ 93.054,64
	Economia anual	R\$ 0	R\$ 23.970,48	R\$ 26.576,00

Fonte: Autoria própria (2018)

Entretanto, não é possível a alteração de demanda para 325 kW, pois a entrada de serviço existente da indústria tem capacidade máxima de 300 kVA. Logo, a solução é alterar o contrato de demanda para 300 kW, visto que não há grande diferença dos valores anuais de contratação de 300 kW para 325 kW.

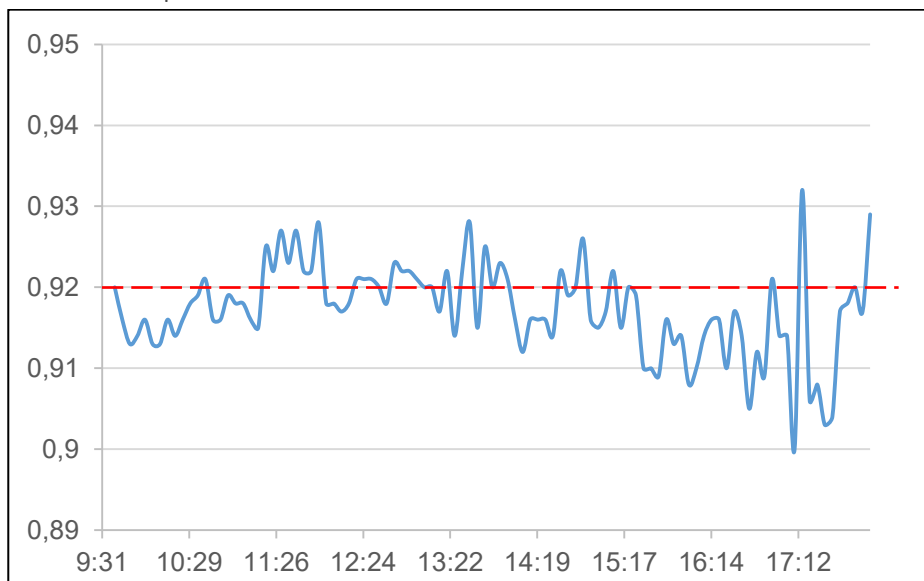
Fator de potência

O excedente de reativos no horário de ponta e fora ponta, apresentado na Tabela 8, no período de fevereiro de 2017 a janeiro de 2018, representa o montante de R\$ 5.865,55 em multas para a indústria. As multas por excedentes de reativos podem ser eliminadas com a instalação de banco de capacitores para fazer a correção do fator de potência.

A Figura 3 e a Figura 4 representam o fator de potência das 09:30h às 18:00h e 21:00h às 09:00h, respectivamente. A divisão em duas figuras foi necessária para uma melhor visualização das variações do fator de potência que ocorreram em determinados horários que serão explanados a frente.

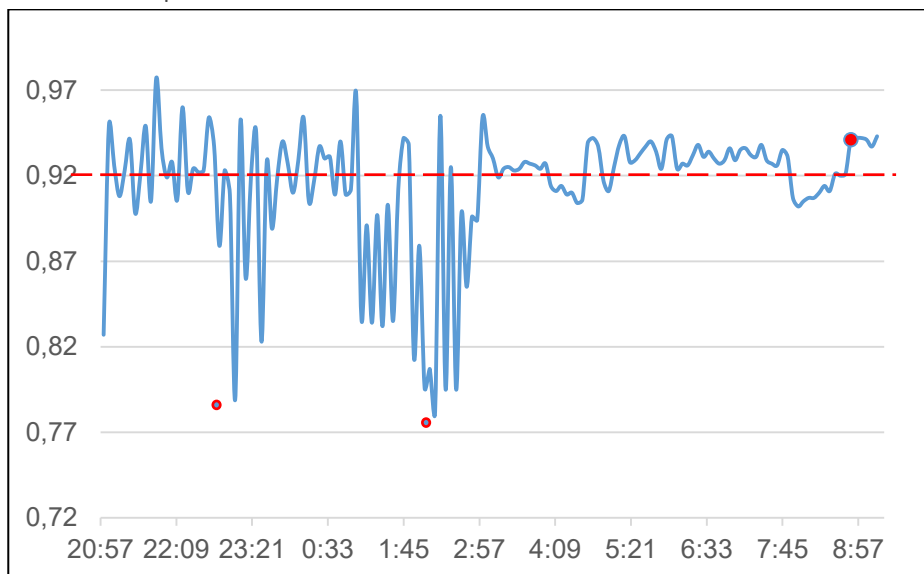
A Figura 3 apresenta um baixo fator de potência de 0,90 indutivo às 17:14h com potência ativa de 211,97 kW e potência reativa de 102,52 kVAR. O valor de FP mínimo estabelecido pela ANEEL para esse período é de 0,92 indutivo, o que acarreta em multas por excedentes de reativos conforme mostrado na Tabela 8.

Figura 3 – Fator de potência das 09:30h às 18:00h



Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 4 – Fator de potência das 21:00h às 09:00h



Fonte: Autoria própria (2018)

O FP às 23:05h foi de 0,79 com potência ativa de 42,80 kW e potência reativa de 33,09 kVAR. Para a correção do FP para 0,95 neste horário é necessário a adição de 17,94 kVAR de potência reativa capacitiva. Entretanto, com a adição mínima do banco trifásico de 25,59 kVAR citado no parágrafo anterior não se faz necessário a adição de mais capacitores para a correção deste período.

No período de 00:00h às 06:00h, conforme estabelecido pela ANEEL, não é aplicado multa por FP indutivo abaixo de 0,92. Na Figura 4 é possível observar o FP de 0,78 indutivo às 02:15h.

Modalidade tarifária

O consumo na ponta em relação ao consumo total é relativamente baixo, em torno de 2%, conforme mostra a Tabela 7, o que inviabiliza a alteração do tipo de contratação que atualmente é a tarifa horária verde. Sabendo que para a contratação da tarifa horária azul é praticável para os consumidores com alto consumo em horário de ponta, por seu contrato ser diferenciado na contratação de demanda e consumo no horário de ponta e fora ponta.

Sistemas de Refrigeração

Abordagem qualitativa

As câmaras de refrigeração não possuem controle do circulador de ar, o que provoca uma maior troca de calor com o ambiente externo quando a porta é aberta. Compressores estão instalados em nível a baixo dos evaporadores de ar, o que ocasiona maior consumo de energia. Há formação de gelo nas tubulações e isolamento térmico inadequado do tanque de água gelada. Debaixo das tábuas está localizado o tanque de água gelada dos compressores de amônia 1 e 2 que representam o maior consumo de energia elétrica na indústria. Esses tanques estão parcialmente expostos à radiação solar e sem nenhum tipo de isolamento térmico apropriado.

Sujeiras e pequenos amassados nas serpentinas dos condensadores exibidos diminuem o rendimento da troca de calor com o ambiente externo. Os condensadores nessas situações acarretam um maior tempo de funcionamento dos compressores para a troca de calor, o que implica no maior consumo de energia elétrica.

A falta de um dos ventiladores provoca a formação de gelo parcial na parte frontal e traseira do condensador, o que interfere na eficiência da troca térmica do condensador. A falta do ventilador também provoca o não aproveitamento do potencial de resfriamento do sistema de refrigeração, visto que há uma redução do fluxo de ar na câmara fria.

As quatro câmaras frias da indústria não possuem cortina de ar e nem cortinas de plástico para evitar a saída do ar frio na abertura da porta da câmara.

Em uma das câmaras frias, são misturados produtos com elevadas temperaturas com produtos de baixas temperaturas. Essa ação é para acelerar uma certa etapa da produção, entretanto, essa prática não é recomendada do ponto de vista de eficiência energética.

Abordagem quantitativa

A análise quantitativa de perdas devido à incidência direta de raios solares não se aplica para o estudo de caso proposto, visto que todas as câmaras de refrigeração da indústria se encontram abrigadas em local coberto por alvenaria isentas de incidência solar direta nas paredes e teto.

As análises de perda devido ao nível de temperatura, perda devido à inexistência de pressostato ou termostato e perda por vedação precária das cortinas e portas não foram possíveis de serem calculadas devido à falta de informações técnicas das máquinas, como capacidade compressora de geração e vazão do forçador de ar.

Esses dados são normalmente fornecidos no catálogo técnico do equipamento ou no corpo do próprio equipamento. Entretanto, alguns equipamentos não forneciam no seu corpo a marca e/ou modelo devido ao seu péssimo estado de conservação, bem como as suas informações técnicas. Alguns equipamentos foram identificados a marca e/ou modelo, contudo as informações encontradas eram insuficientes ou inexistentes por meio de pesquisa eletrônica por se tratar, na grande maioria, de equipamentos antigos em que os fabricantes não fornecem mais especificações técnicas desses equipamentos em sites de pesquisa.

A equipe de manutenção e administrativa da indústria não possui nenhum catálogo técnico, assim como dados técnicos de suas instalações do sistema de refrigeração.

Sistemas de Ar Comprimido

Na inspeção visual do compressor de ar foi constatado que o mesmo foi trocado recentemente e apresenta bom estado de conservação, com o filtro de ar sem sujeira, correias de acionamento tensionadas e dentre outras recomendações descritas no referencial teórico.

Medição de vazamentos

O motor de acionamento do compressor de ar comprimido tem potência de 10 cv, o compressor possui vazão volumétrica de 68 m³/h, reservatório de ar de 425 litros e pressão máxima de trabalho de 175 PSI. Na realização da medição de vazamentos a pressão de trabalho constatada foi de 150 PSI, momento em que o compressor desligava, e mínima de 105 PSI momento que o compressor ligava.

Bombas de Fluxo

As recomendações qualitativas descritas no referencial teórico para bombas de fluxo são indicadas para futuras instalações ou em caso de manutenção que necessite da troca das tubulações existentes.

Acionamentos de Máquinas Elétricas

Ao total foi analisado o carregamento de 20 motores, mas a indústria possuiu mais de 50 motores em diversas aplicações. Entretanto, os condutores, bornes e dados de placa em grande maioria das vezes não eram acessíveis para a leitura dos dados e/ou medição das grandezas elétricas necessárias.

Por se tratar de uma indústria alimentícia, a grande maioria dos motores da área de produção possuíam uma capa externa de aço inox. Outros motores não possuíam a placa de dados ou estavam apagados.

Contudo, apesar de não ser possível obter os dados de todos os motores da indústria, os motores com maior consumo e período em funcionamento são os com aplicação nos compressores de amônia 1 e 2. O compressor de amônia 1 funciona 24 horas por dia e o compressor de amônia 2 entra em funcionamento às 03:00h e desliga às 18:00h nos dias de produção.

A Tabela 10 apresenta os dados de tensão trifásica, corrente e fator de carregamento de cada motor. A corrente medida indicada na tabela é a média da corrente de cada fase, com exceção do motor M8 em que só foi possível a medição da corrente em uma de suas fases por motivo de difícil acesso aos condutores e bornes do contator do motor, pelo mesmo motivo, as tensões do motor M8 e M20 também não foram aferidas.

O fator de carregamento do motor M18 e M20 são os únicos que estão em condições ideais de funcionamento, pois segundo MME (2015) o fator de carregamento para motores de indução deve estar entre 75% e 100% de sua potência nominal. Os motores M2, M8 e M11 estão um pouco acima de sua capacidade nominal o que não é recomendado. Segundo o técnico de manutenção da empresa, o motor M2 do compressor de amônia 2 necessita de manutenção corretiva a cada dois anos aproximadamente, uma das possíveis causas para essas manutenções é a sobrecarga por longos períodos.

O restante dos motores está operando com baixa carga, o que implica em uma baixa eficiência do motor nessas condições de funcionamento. O motor M16 apresenta fator de carregamento negativo, segundo Frozza (2013) isso se deve a corrente medida ser menor que a corrente a vazio estimada pela Equação (14). Ocasionalmente a corrente a vazio estimada pode dar um valor um pouco acima da corrente a vazio aferida. Isso indica que o motor está operando a vazio ou com baixíssima carga no momento da medição.

Tabela 10 – Tensão, corrente e fator de carregamento dos motores analisados

Referência	Tensão AB (V)	Tensão BC (V)	Tensão CA (V)	Corrente medida (A)	Fator de carregamento
M1	376,2	374,2	370,8	104,60	0,52
M2	367,0	363,2	366,8	150,00	1,06
M3	374,4	370,1	376,0	5,70	0,57
M4	377	372,2	378,4	3,77	0,64
M5	378,1	373,7	380,2	7,67	0,08
M6	376,6	372,4	374,2	4,90	0,11
M7	379,6	376,5	381,6	6,30	0,62
M8	-	-	-	18,30	1,02
M9	376,4	374,1	370,1	8,00	0,52
M10	381,1	380,1	372,0	3,53	0,54
M11	377,4	373,2	369,8	4,67	1,01
M12	380,6	378,1	376,2	5,07	0,20
M13	362,9	363,2	366,7	12,67	0,73

Referência	Tensão AB (V)	Tensão BC (V)	Tensão CA (V)	Corrente medida (A)	Fator de carregamento
M14	363,5	364,2	363,9	7,65	0,05
M15	361,4	358,6	361,9	9,20	0,29
M16	362,2	360,3	366,4	5,27	-0,14
M17	369,5	364,9	368,1	8,10	0,57
M18	364,0	363,1	364,7	9,53	0,79
M19	366,7	363,9	366,3	8,07	0,56
M20	-	-	-	2,03	0,77

Fonte: Autoria própria (2018)

As tensões terminais dos motores indicadas na Tabela 10 apresentam níveis aceitáveis quanto ao desempenho em função da tensão aplicada.

Transformadores

Inspeccionando visualmente o transformador não foram constatados sinais visíveis de deterioração e vazamento do óleo isolante.

A Figura 4 apresenta a curva de carga diária da indústria, e no dia 28 de fevereiro de 2018 às 08:50h a demanda medida foi 330,72 kW. De acordo com a Figura 4 no mesmo dia e horário, o fator de potência foi de 0,941 indutivo, o que implica na potência aparente de 351,45 kVA. Esse valor ultrapassa a potência nominal do transformador de 300 kVA. Além disso, a Tabela 7 mostra que no mês de outubro de 2017 a demanda faturada foi 359,06 kW e que provocou sobrecarga superior a 19,6% no transformador.

De acordo com IBAM (2002) o transformador deve operar com carga entre 30 e 70% de sua potência nominal para minimizar as perdas. Quanto a vida útil do transformador, Ravaglio *et al.* (2002) aponta que 95% dos transformadores da rede de distribuição de energia elétrica operam com carregamento de até 125% e que suportam a vida útil estipulada pelos fabricantes. O mesmo autor expõe que os transformadores sofrem influência em sua vida útil quando submetidos a sobrecargas superiores a 150%.

Sistemas de Iluminação

Para a realização do cálculo luminotécnico foi fixado a luminária com duas lâmpadas de LED, tubular, 18 W e 1850 lm. Foi estipulado o fator de manutenção (F_m) = 0,9, levando em consideração o ambiente limpo e com manutenção a cada 12 meses. Na Tabela 4 consta o fator de utilização da luminária estipulada.

A Tabela 11 apresenta a luminosidade média aferida nas dependências da indústria, a luminosidade recomendada para cada ambiente de acordo com a NBR ISO 8995-1, a quantidade de luminárias existentes e as recomendadas pelo cálculo luminotécnico.

Tabela 11 – Tensão, corrente e fator de carregamento dos motores analisados

Ambiente	Luminosidade média aferida (Lux)	Luminosidade recomendada (Lux)	Qtde de luminárias existentes	Qtde de luminárias recomendadas
Sala de manutenção	227,1	500	2	18
Refeitório	386,8	200	1	8
WC	321,6	200	2	1
Vestiário	352,6	200	2	1
Recepção	253,3	200	2	2
Sala de reunião	305,3	200	1	1
Estoque de matéria prima	153,3	100	1	1
Câmara fria 1	139,3	100	3	2
Câmara fria 2	37,7	100	2	2
Câmara fria 3	246,9	100	4	2
Túnel de resfriamento	155,4	300	3	6
Sala de embalagem	117,2	300	3	7
Estoque de embalagens	161,7	100	1	1
Corredor da fábrica	76,4	100	2	1
Expedição	117,8	300	2	4
Câmara fria de estoque	159,0	100	6	4
Sala da bateadeira	138,5	300	2	4
Área de produção principal	119,2	500	4	28
Área de produção desnatamento	43,25	500	3	18

Fonte: Autoria própria (2018)

As marcações em vermelho na Tabela 11 indicam os ambientes que estão com a iluminação ineficiente ou insuficiente de acordo com o mínimo recomendado pela NBR ISO 8995-1. Ambientes como sala de manutenção, área de produção principal e desnatamento está com a iluminação muito abaixo do recomendado.

Em grande maioria dos ambientes as lâmpadas e luminárias são de marcas e/ou modelos diferentes, fato que se verifica no corredor da fábrica, em que o recomendado é uma luminária, entretanto, existem duas luminárias de pequeno porte que não fornecem a luminosidade necessária para o ambiente.

Em ambientes como, por exemplo, o túnel de resfriamento, o cálculo luminotécnico apresentou boa exatidão, visto que nesse ambiente existem três lâmpadas de mesma marca e modelo utilizada no projeto luminotécnico e que para as três lâmpadas a luminosidade média aferida foi de 155,4 lux e o projeto luminotécnico indicou seis lâmpadas para o recomendado de 300 lux.

Quadros de Distribuição de Circuitos

A temperatura dos componentes dos principais quadros de distribuição é mostrada na Tabela 12. Algumas temperaturas não puderam ser aferidas por não se aplicar o componente no quadro ou o componente não ser acessível devido às proteções de acrílico para a segurança humana. Da mesma forma que não foi possível realizar a medição da temperatura em alguns quadros de distribuição devido às proteções de acrílico, as proteções também impossibilitaram realizar a medição da corrente de entrada nos quadros para verificação do equilíbrio entre as fases.

A Tabela 5 mostra a temperatura máxima admissível para componentes em quadros elétricos, e se comparado com os valores da Tabela 12 obtidos na medição, é constatado que não existem aquecimentos excessivos nos quadros elétricos.

Tabela 12 – Temperatura dos componentes dos quadros de distribuição

Quadro	Condutor com isolamento PVC	Régua de bornes	Conexão mediante parafusos	Conexão e barramentos	Seccionadoras
Barramento de entrada					
Fase A (°C)	40,60	-	40,30	35,60	30,60
Fase B (°C)	45,30	-	45,60	36,60	31,50
Fase C (°C)	48,30	-	44,30	38,70	32,00
Quadro dos compressores					
Fase A (°C)	34,80	-	30,00	29,20	-
Fase B (°C)	35,20	-	31,00	30,70	-
Fase C (°C)	34,20	-	29,70	29,00	-
Quadro da caldeira					
Fase A (°C)	36,00	-	-	-	-
Fase B (°C)	35,00	-	-	-	-
Fase C (°C)	36,20	-	-	-	-
Quadro da produção					
Fase A (°C)	-	34,00	-	37,00	-
Fase B (°C)	-	34,70	-	37,20	-
Fase C (°C)	-	34,90	-	38,70	-
Temperatura Máxima admissível					
	90	70	70	90	50

Fonte: Autoria própria (2018)

A Tabela 13 apresenta a temperatura de cabos e bornes dos motores, entretanto, os mesmos apresentaram temperaturas aceitáveis conforme a Tabela 5.

Tabela 13 – Temperatura de cabos e bornes dos motores

Ref	Temperatura Cabo (°C)	Temperatura bornes (°C)
M1	34,20	33,60
M2	34,60	39,90
M3	35,50	39,10
M4	40,90	41,00
M5	37,40	32,40
M6	40,10	42,10
M7	42,00	46,70
M8	39,40	40,40
M9	43,00	39,30
M10	44,60	37,20
M11	37,00	37,10
M12	36,30	36,20
M13	35,20	32,80
M14	36,80	34,40
M15	43,10	45,50
M16	42,40	44,30
M17	36,50	37,90
M18	36,70	36,10
M19	35,10	37,30
M20	32,30	33,40

Fonte: Autoria própria (2018)

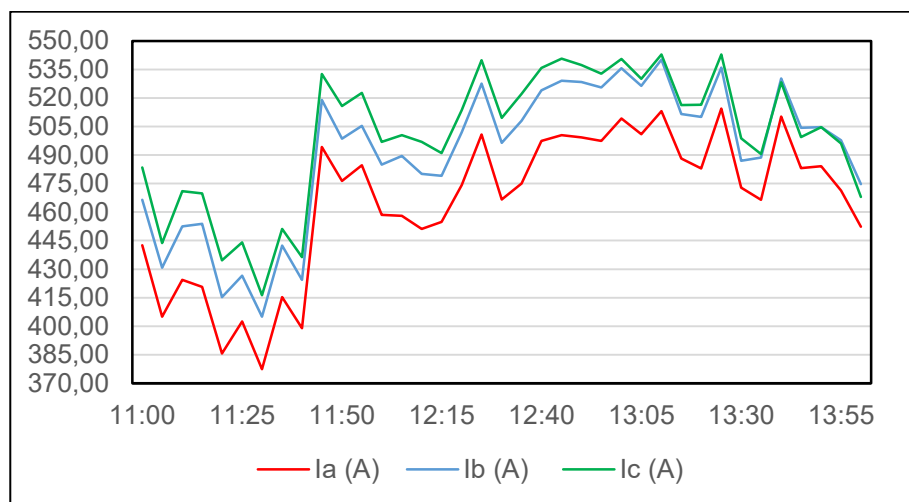
Figura 5 mostra a corrente elétrica das três fases no barramento de entrada da indústria. O objetivo do gráfico é apresentar o indicativo de qual fase está com maior e menor carga, para que seja possível uma redistribuição das cargas monofásicas para o melhor equilíbrio do sistema.

A tendência do comportamento das três correntes é a mesma durante todo o período do dia de análise, por tal motivo é amostrado no gráfico apenas um intervalo do dia.

A corrente elétrica da Fase (A) é aproximadamente 35 A menor que da Fase (C), logo, a realocação de cargas da Fase (C) para a Fase (A) é conveniente para o melhor equilíbrio entre as fases do sistema.

Apesar das temperaturas dos componentes do barramento de entrada da indústria estarem em níveis aceitáveis, há um aquecimento maior na Fase (C) em relação a Fase (A), como pode ser observado na Tabela 12.

Figura 5 – Corrente elétrica no barramento de entrada da indústria das 11:00h às 14:00h

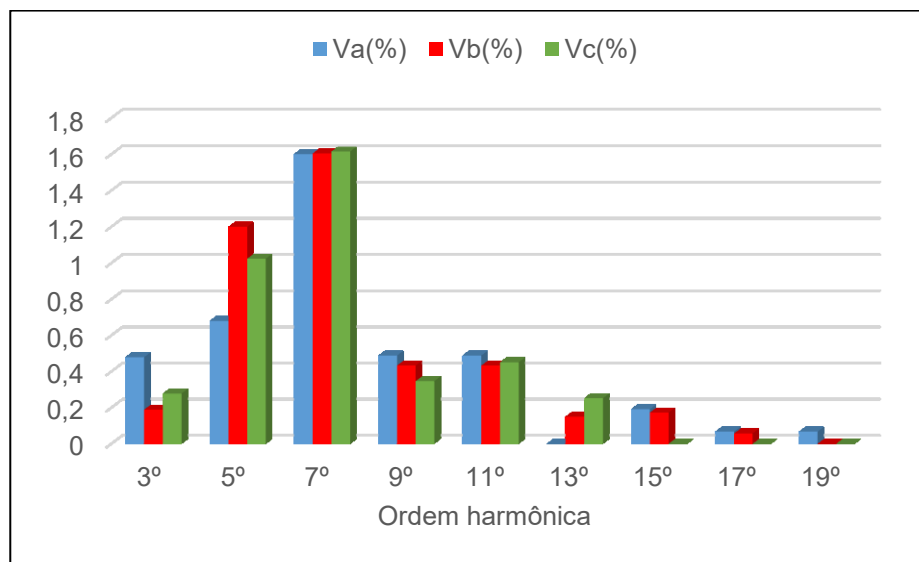


Fonte: Autoria própria (2018)

Qualidade da Energia Elétrica

A Figura 6 mostra a porcentagem e a ordem harmônica das três fases no barramento de entrada da indústria, o mesmo apresenta valores abaixo dos limites indicados pela norma IEC 61000-2-2.

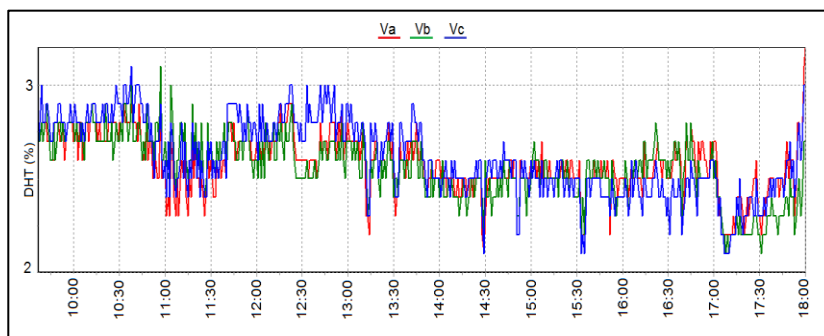
Figura 6 – Harmônicos de tensão no barramento de entrada



Fonte: Autoria própria (2018)

Para uma melhor ilustração dos dados o gráfico do DHT de tensão é apresentado na Figura 7 e Figura 8. Os gráficos foram gerados através do *software Smart Analisador T* do analisador de energia, sendo que, para o DHT, o *software* não fornece os dados em forma de planilha eletrônica.

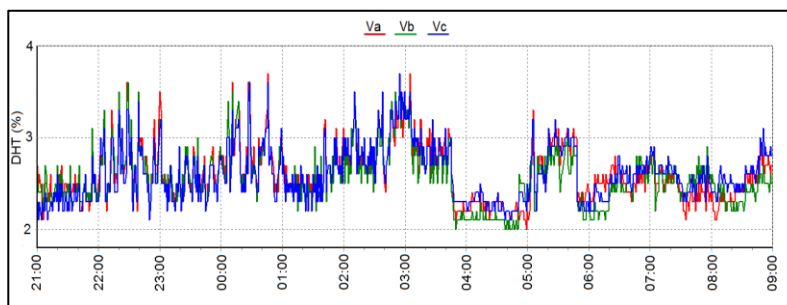
Figura 7 – DHT de tensão das 9:30h às 18:00h



Fonte: Autoria própria (2018)

De acordo com a norma IEC 61000-2-2 o limite de DHT para baixa tensão é de 8%, e examinando a Figura 7 e Figura 8 as três fases analisadas estão a baixo do limite recomendado pela norma.

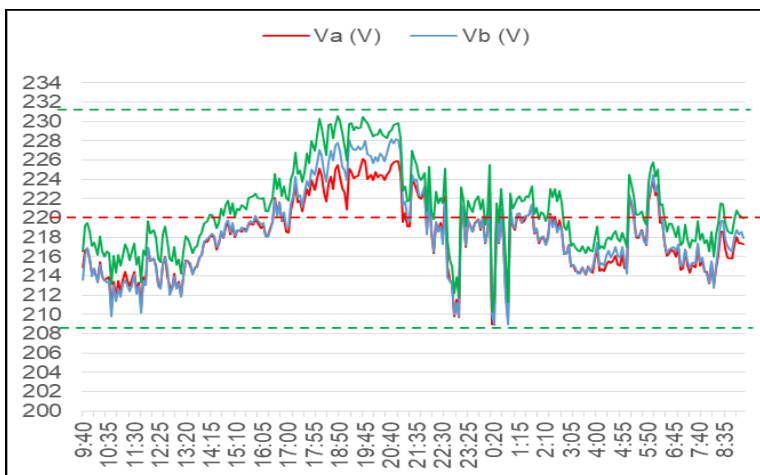
Figura 8 – DHT de tensão das 21:00h às 09:00h



Fonte: Autoria própria (2018)

A Figura 9 mostra a variação de tensão no barramento de entrada da indústria. A tensão nominal de fase da indústria é 220V e a sua faixa adequada de tensão está entre 209V e 231 V. Durante todo o período de análise a tensão se manteve entre os limites adequados. No período das 18:00h às 21:00h o gerador é responsável pela a alimentação da indústria e da mesma forma a tensão está entre os limites recomendáveis de alimentação.

Figura 9 – Tensão elétrica no barramento de entrada da indústria das 09:40h às 09:00h



Fonte: Autoria própria (2018)

RELATÓRIO FINAL DE RECOMENDAÇÕES

Tarifação de Energia Elétrica

Estima-se que alteração do contrato de demanda de 250 kW para 300 kW pode proporcionar uma economia de R\$ 23.970,48 por ano. A adição de um banco trifásico de capacitores com capacidade superior a 25,59 kVAR irá eliminar as multas por excedentes de reativos totalizando uma economia anual de R\$ 6.104,79.

Com o auxílio da curva de carga diária apresentado na Figura 1 o gerente de produção pode tomar medidas para realocação de cargas com a finalidade de diminuir os picos de demanda nos horários com maior requisição de carga.

A instalação de um controlador de demanda é conveniente para a eliminação das ultrapassagens de demanda.

Sistemas de Refrigeração

A instalação de controle de circulador de ar nas câmaras frias para evitar a saída do ar frio na abertura das portas.

Recomenda-se o isolamento térmico das tubulações que apresentam criação de gelo em suas superfícies. Além do isolamento das tubulações, é estritamente necessário o isolamento térmico do tanque de água gelada, visto que o mesmo se encontra alojado em local onde há incidência solar constante e que este sistema representa grande parte do consumo de energia da indústria.

Nos condensadores é conveniente uma manutenção programada para a limpeza das serpentinas. A utilização de pente específico para aleta de condensadores pode corrigir os pequenos amassados nas aletas de troca de calor.

A recolocação do ventilador é recomendável para uma maior eficiência do sistema na câmara fria 2.

A instalação de cortinas de plástico ou de ar nas portas das câmaras frias irão amenizar a saída de ar frio das mesmas, melhorando a eficiência do sistema.

É aconselhável a extinção da prática de mistura de produtos com temperatura elevada com produtos de baixa temperatura.

Acionamento de Máquinas Elétricas

Os motores M1 e M2 tem aplicação no acionamento dos compressores de amônia 1 e 2, respectivamente. Considerando que os mesmos têm maior potência e maior período de funcionamento, é vantajoso a atuação de medidas de conservação de energia nestes dois sistemas que irão resultar em economia mais significativa de energia.

Para a redução do carregamento do motor M2 e elevação do carregamento do motor M1 é aconselhável, caso possível, o deslocamento de

carga térmica do compressor de amônia 2 para o compressor de amônia 1, sabendo que os dois motores atuam no mesmo sistema de refrigeração.

Transformadores

A redução do consumo de energia em toda a planta irá reduzir os picos de demanda, e por consequência, a redução de carga no transformador de entrada irá amenizar as perdas de transformação.

Sistemas de Iluminação

Recomenda-se a adequação da quantidade de luminárias para cada ambiente conforme a Tabela 11. A adequação dos ambientes pode elevar ou diminuir a carga do sistema de iluminação. Entretanto, em alguns ambientes somente com a limpeza periódica das luminárias é possível obter boa iluminância sem a necessidade do acréscimo de lâmpadas.

A instalação de sensores de iluminação noturna é uma alternativa para a conservação de energia nas dependências externas da empresa. Na ocasião de substituição das lâmpadas por defeito, é conveniente a troca das lâmpadas ineficientes por lâmpadas e refletores de LED que proporcionam maior luminosidade e menor consumo de energia elétrica.

Nas câmaras frias é recomendável o acionamento das lâmpadas por sensores de presença ou sensor de abertura de porta.

Quadros de distribuição

Realocar cargas monofásicas de aproximadamente 35 A da Fase (C) para a Fase (A), irá diminuir levemente o aquecimento dos componentes da Fase (C) nos quadros de distribuição. A melhor distribuição de cargas também irá melhorar o equilíbrio de tensão entre as fases do sistema, como pode ser mostrado na Figura 9.

CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou um referencial teórico acerca de eficiência energética com objetivo de reduzir o valor pago na fatura de energia elétrica em uma indústria de laticínios, indicando oportunidades de melhoria nas instalações para se obter uma melhor conservação de energia na fábrica.

A análise dos módulos temáticos possibilitou identificar os setores da indústria nos quais apresentam maior impacto no valor da fatura de energia elétrica para que seja possível priorizar ações que atingirão maiores resultados. Além das recomendações, para uma melhor conservação de energia, esse trabalho possibilitou conhecer dados e características do consumo de energia elétrica na planta.

A pesquisa de métodos para conservação de energia na indústria proporcionou conhecimento extracurricular essencial ao discente na elaboração

do trabalho de auditoria. Este trabalho promove o incentivo as outras indústrias a difundir ações que proporcionam uma maior eficiência em suas instalações, propiciando também menores custos com energia elétrica.

Foram observadas oportunidades de melhoria em grande parte dos módulos temáticos, com destaque na fatura de energia elétrica e sistemas de refrigeração. Com a análise da fatura de energia elétrica, foi constatado que é possível economizar aproximadamente o montante de R\$ 30.000,00 por ano com a alteração do contrato de demanda e correção do fator de potência. Com o gráfico da curva de carga diária da Figura 1 é praticável a redistribuição de cargas para amenizar os picos de demanda.

Nos sistemas de refrigeração houveram barreiras que impossibilitaram a avaliação qualitativa, entretanto, foram observadas potenciais oportunidades qualitativas para a melhor conservação de energia. Visto também que no sistema de refrigeração está a maior parte da carga elétrica da indústria.

Os demais módulos temáticos apresentaram pouca viabilidade técnica de aplicação ou pequenas perdas. Como o maior potencial de economia deste trabalho é a análise da fatura de energia e os sistemas de refrigeração, é evidenciado que esses módulos temáticos são os que mais representam perdas econômicas nas indústrias, conforme é apontado no número de ocorrências na Tabela 2. Os módulos temáticos como principal ferramenta da auditoria energética se mostrou eficaz, pois o objetivo é concentrar-se ações que condicionam em maiores resultados.

Para pesquisas futuras, sugere-se amostragem de sete dias de dados do analisador de energia para análises e recomendações mais fiéis. Levantamento dos dados técnicos dos sistemas de refrigeração para aplicação da análise quantitativa. Estudos de viabilidade econômica dos possíveis investimentos.

Energy audit in a dairy industry

ABSTRACT

Electricity consumption in industries represents 36% of national demand and the direct association of GDP to the country's energy demand indicates the need for energy conservation policies in industries for developing countries such as Brazil to intensify economically. This work aims to indicate improvements to reduce the amount paid in the electric energy bill from a dairy company located in the North of Paraná. In order to make the industry more energy efficient, qualitative and quantitative analyzes of the following thematic modules were carried out: electric energy billing, flow pumps, machine drives, transformers, circuit boards, electrical energy quality and refrigeration systems, compressed air and lighting. Among the modules studied, the analysis of electric energy bill and refrigeration systems stood out representing greater influence in the electric energy bill. With the change of the contract of demand and correction of the power factor, it is possible to obtain an annual saving of R\$ 30,000.00.

KEYWORDS: Industrial Efficiency. Electric Power Consumption. Electric Power Conservation.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3ª Edição. Brasília, 2008.
- BARROS, B. F. de; BORRELI, R.; GEDRA, R. L. **Gerenciamento de energia: ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica**. São Paulo: Érica, 2011.
- BELINOVSKI, K. D.; BISPO, D.; DE PAULA SILVA, S. F. Análise de Eficiência Energética em uma Indústria de Palitos. In: 3º Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2009, Belém-PA. **Anais do CBEE 2009** - 3ª Edição, 2009
- BEN. **Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2016: Ano Base 2015**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.
- CAMPOS, A. D. **Gerenciamento Pelo Lado da Demanda: Um Estudo de Caso**. 2004 .86f. Tese (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo. São Paulo.
- CAPELLI, A. **Energia elétrica: qualidade e eficiência para aplicações industriais**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2013.
- COPEL. **Manual de Eficiência Energética na Indústria**. Curitiba, PR: COPEL. 2005. 139 f.
- ELEKTRO. **Eficiência energética: Fundamentos e aplicações**. 1. ed. Campinas - SP: Fupai, 2012.
- FROZZA, J. F. **Eficiência energética em indústria frigorífica; desafios de implantação**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pato Branco, 2013.
- IBAM. **Manual de Prédios Eficientes em Energia Elétrica**. Rio de Janeiro, 2002.
- MARTINHO, E. **Distúrbios da Energia Elétrica**. 3. ed. rev. São Paulo, SP: Érica, 2013.
- MEDEIROS, W. S.; QUELHAS, O. L. G.; LAMEIRA, V. J. A Auditoria como Ferramenta para a Eficiência Energética. Estudo de Caso em Duas Empresas Localizadas no Estado do Rio de Janeiro. 7º Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2011, Rio de Janeiro-RJ. **Anais do CNEG 2011** - 7ª Edição, 2011

MENKES, M. **Eficiência Energética, Políticas Públicas e Sustentabilidade**. 2004. 295 f. Tese de Doutorado (Centro de Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

MME. **Aneel Estimula Troca de Motores Elétricos para Promover Eficiência Energética**. Disponível em:
<<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/11/aneel-estimula-troca-de-motores-eletricos-para-promover-eficiencia-energetica>>. Acesso em: 17 out. 2017.

MONTEIRO, M.A.G.; MONACHESI, M.G. **Eficiência energética em sistemas de bombeamento**. Rio de Janeiro, Eletrobras; Procel, 2005.

NASCIMENTO, D. A. P. do. **Auditoria Energética na Indústria**. 2014. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade de Brasília. Brasília, 2014.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. Osasco, SP: OSRAM, 2007

PORTELA, T.T. **Gestão de Energia para a Indústria Frigorífica de Aves - Viabilidade Técnica e econômica**. 2015. 114 f. Dissertação (Mestre em Ciências) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

PINTO JUNIOR. H.Q., ALMEIDA, E.F., BOMTEMPO, J.V., IOOTY, M., BICALHO, R.G. **Economia da energia - fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial**. 2ª Ed, Ed. Campus, 2016.

PRODIST. Módulo 8 – **Qualidade da Energia Elétrica**, Brasília, DF: ANEEL. 2018.

ELETROBRÁS. **Conservação de Energia**. 3 ed. Itajubá.2006.

Recebido: 18 Out. 2018

Aprovado: 11 Out. 2020

DOI: 10.3895/gi.v16n3.8961

Como citar:

LAISMANN, L. L.; SOARES, L. D. Auditoria energética em uma indústria de laticínios *Gestão Industrial. R. Gest. Industr.*, Ponta Grossa, v. 16, n. 3, p. 93-128, Jul./Set. 2020. Disponível em:

<https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi>

Correspondência:

Leandro Luiz Laismann

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira, Paraná, Brasil.

Direito autorial: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

