

Eficiência Energética na Indústria

PIRES, Douglas Mautone Gonçalves¹
Centro Universitário Academia – UniAcademia
MAGRI, Luiz Paulo²
Centro Universitário Academia – UniAcademia

Linha de pesquisa: Eficiência Energética

RESUMO

Este trabalho tem por finalidade propor maneiras de uso eficiente e racional de energia elétrica no setor industrial, onde concentra-se o maior consumo de energia elétrica no Brasil. Desta forma, três temas específicos foram abordados: tarifação de energia elétrica, sistema de iluminação e motores de indução. Ademais, é demonstrado como é constituída a tarifa de energia elétrica e proposto meios de utilização de adequação de energia. Outrossim, também apresenta os tipos de lâmpadas que são utilizados com maior incidência no país e ressalta a importância dos motores de indução, no cenário industrial e nacional, com relação ao consumo de energia. Por fim, mencionam os tipos de acionamentos de motores mais utilizados e como dimensionar um motor de forma correta. Objetivou-se relatar estudos de casos reais sobre cada um dos temas mencionados, evidenciando métodos de utilização de forma adequada, racional e eficiente de consumo de energia elétrica. Logo, é apresentado o retorno financeiro das medidas que foram tomadas nos estudos de caso.

Palavras-chaves: Eficiência energética, motor de indução, racionamento de energia, tarifação de energia.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia - UniAcademia.

² Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia - UniAcademia.

1 INTRODUÇÃO

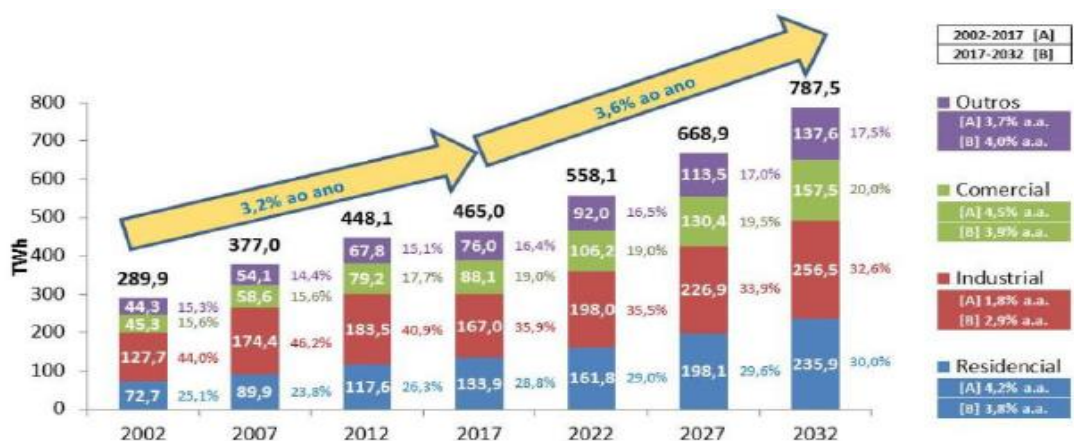
A energia elétrica é primordial na vida humana e ela faz parte de quase todas as atividades que são realizadas no dia a dia, sendo que grande parte do avanço tecnológico alcançado nos dias de hoje se deve à energia elétrica. Por isso, é de suma importância ter uma energia de qualidade, abundante, barata e sistemas eficientes.

A energia elétrica no Brasil tem um custo muito elevado e em junho de 2016 o valor médio da energia para as indústrias era de R\$ 535,28 por MWh (um aumento de 59,3% quando comparamos com o valor do MW praticado em 2013). Esse valor da eletricidade impacta diretamente no custo da produção das indústrias brasileiras (FIRJAN, 2016).

O setor industrial é responsável pela maior parte do consumo de energia no Brasil, sendo responsável por 33,9% de toda a energia consumida em 2014. Esse percentual se manteve estável quando comparado ao ano de 2013 (MME, 2016).

O consumo de energia no Brasil tende a crescer cada vez mais. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a projeção do consumo de energia elétrica para o ano de 2032 chega a 787,5 TWh (um aumento no consumo de 3,6% ao ano como ilustra a Figura 1). Portanto, temos que encontrar uma maneira eficiente de utilização da energia elétrica em todos os setores do país.

Figura 1 - Projeção do consumo de energia elétrica do Brasil.



Fonte: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018.

1.1 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é mostrar maneiras para o uso eficiente da energia elétrica no setor de industrial, abrangendo também a interpretação e métodos de controle da tarifa de energia elétrica referentes às cargas de iluminação e de motores de indução.

1.2 METODOLOGIA

Será feita uma revisão bibliográfica dos principais temas abordados, além de serem apresentados estudos de casos reais para cada tema, exemplificando o uso eficiente de energia elétrica.

2 TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo Santos et. al. (2006), o sistema tarifário de energia elétrica é um conjunto de normas e regulamentos que tem por finalidade estabelecer o valor monetário da eletricidade para as diferentes classes e subclasses de unidade consumidora. O órgão regulamentador do sistema tarifário vigente é a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, autarquia sob regime especial, vinculada ao Ministério de Minas e Energia - MME.

Entender a estrutura tarifária e como são calculados os valores nas notas fiscais de energia elétrica é muito importante para uma assertiva tomada de decisão em projetos relacionados à conservação de energia.

2.1 DEFINIÇÃO E CONCEITO

2.1.1 Potência elétrica ativa

É o uso da potência ativa durante qualquer intervalo de tempo ou é energia elétrica que pode ser convertida em outra forma de energia. Sua unidade usual é o quilowatt-hora (kWh) (SANTOS et. al., 2006).

2.1.2 Potência elétrica reativa

É a energia que circula continuamente entre os diversos campos elétricos e magnéticos de um sistema de corrente alternada, sem produzir trabalho, sua unidade é dada em quilovolt-ampère-reativo-hora (kvarh) (SANTOS et. al., 2006).

2.1.3 Demanda

É a média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela de carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado. No Brasil, os medidores operam com o intervalo de tempo $\Delta t = 15$ min, de acordo com o decreto nº62.724 de 17 de maio de 1968 (SANTOS et. al., 2006).

2.1.4 Demanda medida

É a maior demanda de potência ativa, verificada por medição, integralizada no intervalo de 15 minutos durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW) (SANTOS et. al., 2006).

2.1.5 Demanda contratada

É expressa em kW, é a demanda de potência ativa que foi requisitada à concessionária, devendo esta ser obrigatória e continuamente disponibilizada à unidade consumidora (TORRES, 2010).

2.1.6 Fator de potência

O fator de potência é a razão entre a energia elétrica ativa e a razão quadrada da soma dos quadrados das energias elétricas ativa e reativa, consumidas em um mesmo período especificado (SANTOS et. al., 2006).

2.1.7 Horários fora de ponta e de ponta

O horário de ponta (P) é o período definido pela concessionária e composto por três horas diárias consecutivas, exceção feita aos sábados, domingos e os feriados definidos por lei federal, considerando as características do seu sistema elétrico (SANTOS et. al., 2006).

O horário fora de ponta (F) é o período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta (SANTOS et. al., 2006).

2.1.8 Período seco e úmido

O período Seco (S) corresponde ao período de sete meses consecutivos começando em maio e finalizando em novembro de cada ano sendo geralmente o período de poucas chuvas. O período Úmido (U) corresponde ao período de cinco meses consecutivos (dezembro de um ano a abril do ano seguinte), é geralmente o período mais chuvoso (SANTOS et. al., 2006).

2.1.9 Consumidor

Pessoa física ou jurídica legalmente representada, que solicite à a concessionária o fornecimento de energia elétrica e assume a responsabilidade pelo pagamento das faturas e pelas obrigações fixadas em normas e regulamentos da Agencia nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2010).

2. 1. 10 Unidade consumidora

Conjunto de instalação e equipamentos elétricos caracterizados pelo recebimento de energia elétrica em um só ponto de entrega, com medição individualizada e correspondente a um único consumidor (SANTOS et. al., 2006).

2.1.11 Fatura de energia elétrica

Nota fiscal que apresenta a quantidade total que deve ser paga pela prestação do serviço público de energia elétrica, referente a um período especificado (SANTOS et. al., 2006).

2.1.12 Tarifa

Preço da unidade de energia elétrica (R\$/kWh) ou da demanda de potência ativa (R\$/kW) (PROCEL, 2011).

2.1.13 Tarifa monômnia

Tarifa de fornecimento de energia elétrica, constituída por preços aplicáveis unicamente ao consumidor de energia elétrica ativa (kWh). Esta tarifa é aplicada aos consumidores do grupo B (PROCEL, 2011).

2.1.14 Tarifa binômnia

Conjunto de tarifas de fornecimento, constituído por preços aplicáveis ao consumidor de energia elétrica ativa (kWh) e à demanda faturável (kW). Esta modalidade é aplicada aos consumidores do grupo A (PROCEL, 2011).

3 CLASSIFICAÇÃO DE CONSUMIDORES

3.1 TENSÃO DE FORNECIMENTO

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que regulamenta os níveis de tensão adequado para cada unidade consumidora:

- Tensão secundária de distribuição: quando a carga instalada na unidade consumidora for igual ou inferior a 75 kW.
- Tensão primária de distribuição inferior a 69 kV: quando a carga instalada na unidade consumidora for superior a 75 kW e a demanda contratada pelo consumidor for igual ou superior a 2.500 kW.

- Tensão primária de distribuição superior a 69 kV: quando a demanda contratada pelo consumidor for superior a 25000 kW.

Em alguns casos a concessionária poderá adotar outros limites para o fornecimento de energia.

3.1.1 Grupos tarifários

As unidades consumidoras são agrupadas em dois grupos tarifários e são definidos principalmente em função da tensão de fornecimento e da demanda.

Grupo A

É composto por unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas em tensão inferior a 2,3 kV a partir de distribuição subterrânea. O agrupamento tarifário A é dividido em subgrupos apresentados a seguir (SANTOS et al., 2006).

- Subgrupo A1: tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV.
- Subgrupo A2: tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV.
- Subgrupo A3: tensão de fornecimento de 69 kV.
- Subgrupo A3a: tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV.
- Subgrupo A4: tensão de fornecimento 2,3 kV a 25 kV.
- Subgrupo AS: tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, atendido a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

Grupo B

O agrupamento B é constituído de unidade consumidora com o fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV e é subdividido nos seguintes subgrupos (SANTOS et al., 2006).

- Subgrupo B1 – residencial.
- Subgrupo B1 - residencial baixa renda.
- Subgrupo B2 – rural.
- Subgrupo B2 - cooperativa de eletrificação rural.
- Subgrupo B2 - serviço público de irrigação.

- Subgrupo B3 - demais classes.
- Subgrupo B4 – iluminação pública.

3.2 ESTRUTURA TARIFARIA

Conforme Santos et al. (2006) a estrutura tarifária é o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica ou demanda de potência ativa, de acordo com a modalidade de fornecimento de energia elétrica.

3.2.1 Tarifa convencional

É caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano (ANEEL, 2010). A tarifa convencional apresenta um valor para demanda de potência em reais por quilowatt e outra para o consumo de energia em reais por megawatt-hora.

A fatura de energia elétrica desses consumidores é composta da soma das parcelas referentes ao consumo demanda e demanda de ultrapassagem, caso exista (PROCEL, 2011).

A parcela de consumo é calculada pela expressão (1):

$$P_{\text{consumo}} = \textit{Tarifa de consumo} \times \textit{Consumo medido}. \quad (1)$$

A parcela de demanda é calculada pela expressão (2):

$$P_{\text{demanda}} = \textit{Tarifa de demanda} \times \textit{Demanda contratada}. \quad (2)$$

A parcela de ultrapassagem é cobrada apenas quando a demanda medida ultrapassa em mais de 10% a Demanda Contratada. É calculada pela expressão (3):

$$P_{\text{ultrapassagem}} = \textit{Tarifa de ultrapassagem} \times (\textit{Demanda medida} - \textit{Demanda contratada}). \quad (3)$$

3.2.2 Tarifa horosazonal

É caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, conforme a seguir (ANEEL, 2010).

Tarifa azul: Essa modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária, no qual se pactua tanto o valor da demanda pretendida pelo consumidor no horário de ponta, quanto o valor pretendido nas horas fora de ponta (PROCEL, 2011).

A fatura de energia elétrica desses consumidores é composta pela soma das parcelas referentes ao consumo e demanda, e caso exista, demanda de ultrapassagem (PROCEL, 2011).

A parcela de consumo é calculada (4):

$$P_{\text{consumo}} = (\textit{Tarifa de consumo na ponta} \times \textit{Consumo medido na ponta} + \textit{Tarifa de consumo fora da ponta} \times \textit{Consumo medido fora da ponta}). \quad (4)$$

A parcela de demanda é calculada (5):

$$P_{\text{demanda}} = (\textit{Tarifa de demanda na ponta} \times \textit{Demanda contratada na ponta} + \textit{Tarifa de demanda fora da ponta} \times \textit{Demanda contratada fora da ponta}). \quad (5)$$

A parcela de ultrapassagem é cobrada apenas quando a demanda medida ultrapassa a demanda contratada acima dos limites de tolerância (5% para os sub-grupos A1, A2 e A3 e 10% para os demais sub-grupos).

A parcela de ultrapassagem é calculada (6):

$$P_{\text{ultrapassagem}} = \textit{Tarifa de ultrapassagem na ponta} \times (\textit{Demanda medida na ponta} - \textit{Demanda contratada na ponta}) + \textit{Tarifa de ultrapassagem fora de ponta} \times (\textit{Demanda medida fora de ponta} - \textit{Demanda contratada fora de ponta}). \quad (6)$$

Tarifa verde: Essa modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária, no qual pactua a demanda pretendida pelo consumidor independente da hora do dia (PROCEL, 2011).

A fatura de energia elétrica desses consumidores é composta da soma das parcelas referentes ao consumo (na ponta e fora dela), demanda e demanda de ultrapassagem (PROCEL, 2011).

A parcela de consumo é calculada (7):

$$P_{\text{consumo}} = (\textit{Tarifa de consumo na ponta} \times \textit{Consumo medido na ponta} + \textit{Tarifa de consumo fora de ponta} \times \textit{Consumo medido fora de ponta}). \quad (7)$$

A parcela de demanda é calculada (8):

$$P_{\text{demanda}} = (\textit{Tarifa de demanda} \times \textit{Demanda contratada}). \quad (8)$$

A parcela de ultrapassagem é cobrada apenas quando a demanda medida ultrapassa em mais de 10% a Demanda Contratada. É calculada (9):

$$P_{\text{ultrapassagem}} = (\textit{Tarifa de ultrapassagem}(\textit{Demanda medida} - \textit{Demanda contratada})) \quad (9)$$

3.3 TRIBUTOS APLICÁVEIS NA FATURA DE ENERGIA

Na fatura de energia elétrica estão presentes tributações e adicionais sobre a tarifa de energia elétrica. Isto significa que, nas faturas de energia, os consumidores pagam tributos federais, estaduais e municipais (PROCEL, 2011).

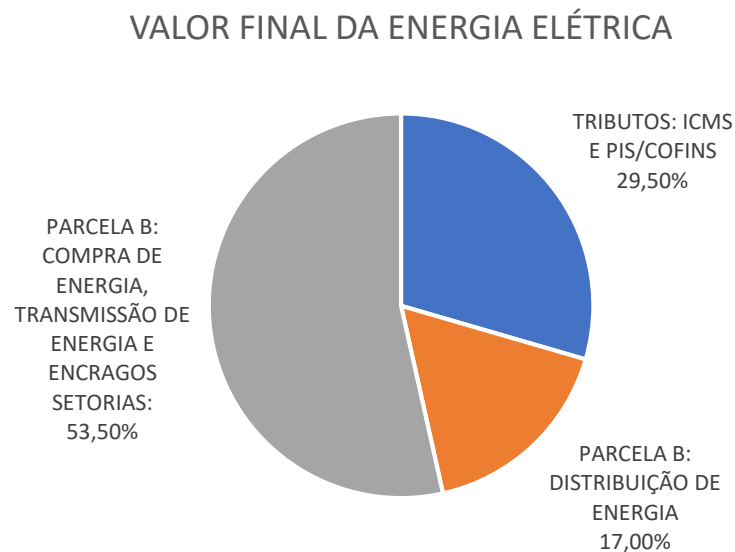
Os tributos federais são o PIS (Programa de Integração Social) e COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social). Com a edição das leis nº 10.637/2002, 10.833/2004, o PIS e COFINS tiveram suas alíquotas alteradas para 1,65% e 7,6%, respectivamente, passando a serem apurados de forma não acumulativa (PROCEL, 2011).

O tributo estadual é o ICMS (Imposto Sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços). É um tributo que incide sobre a movimentação de mercadorias em geral.

Já o tributo municipal é a CIP (Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública). Prevista no artigo 149-A da Constituição Federal de 1988, estabelece como competência do município, definir a forma de cobrança e a sua base de cálculo. A Figura 2 ilustra a composição do custo da energia elétrica no Brasil.

No ano de 2015, as faturas de energia elétrica passaram a trazer uma novidade, o Sistema de Bandeiras e Tarifas, que é o sistema que sinaliza aos consumidores os custos reais da geração de energia elétrica. Portanto, as cores das bandeiras (verde, amarela ou vermelha) indicam se a energia custará mais ou menos em função das condições de geração de eletricidade (ANEEL, 2022).

Figura 2 - Custos Presentes na Fatura da Energia elétrica.



Fonte: ANEEL, 2018.

Os valores dos acréscimos de cada bandeira sofreram alterações desde a sua implantação, sendo a última delas em fevereiro de 2022. Os custos atualizados das bandeiras são os seguintes (ANEEL, 2022):

- Bandeira verde: condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo.

- Bandeira amarela: condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,01874 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos.
- Bandeira vermelha - Patamar 1: condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,03971 para cada quilowatt-hora kWh consumido.
- Bandeira vermelha - Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,09492 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

3.4 OTIMIZAÇÃO TARIFÁRIA DE ENERGIA ELÉTRICA

3.4.1 Estrutura tarifária eficiente

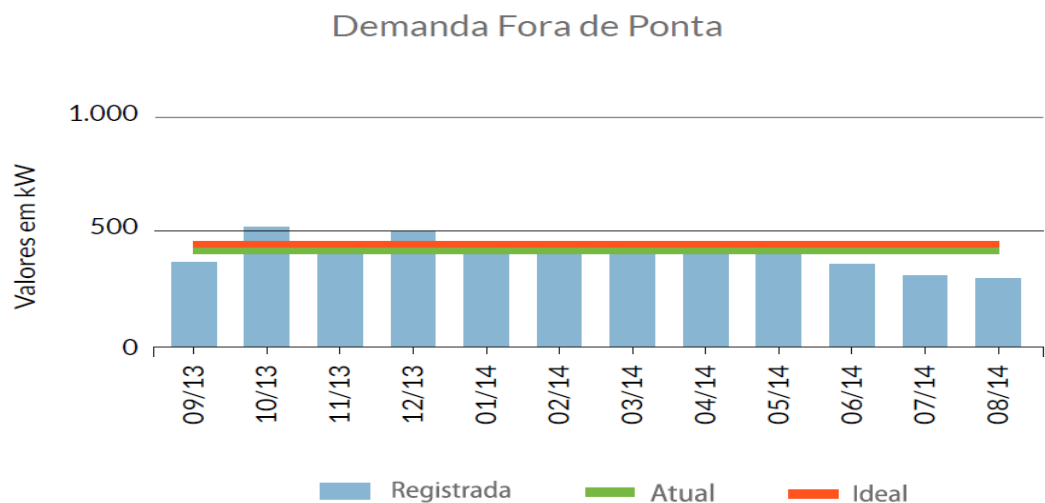
A otimização tarifária é a escolha da tarifa mais assertiva para a unidade consumidora, considerando o seu regime de funcionamento e as características do seu processo de trabalho.

Algumas estratégias para se obter uma tarifa de energia elétrica adequada.

- Verificação das faturas: consiste na verificação das faturas dos últimos 12 meses ou até mesmo dos últimos 24 meses. A análise desse período é necessária para entender o histórico de consumo da unidade e para uma melhor tomada de decisão.
- Migração de grupos: A unidade consumidora pode solicitar a migração de grupo tarifário para o outro, desde que atenda as especificações do mesmo, isso pode levar à a redução de custos.
- As possibilidades de deslocamentos do horário de trabalho de diversos equipamentos para minimizar o consumo e a demanda de ultrapassagem no segmento de ponta.
- Manter o fator de potência nos níveis exigido pelas concessionaria de energia elétrica.
- Contrato de Energia adequado (Grupo A): Para um contrato de alta tensão (Grupo A) ser considerado adequado deve atender aos três critérios (Gov, 2018).

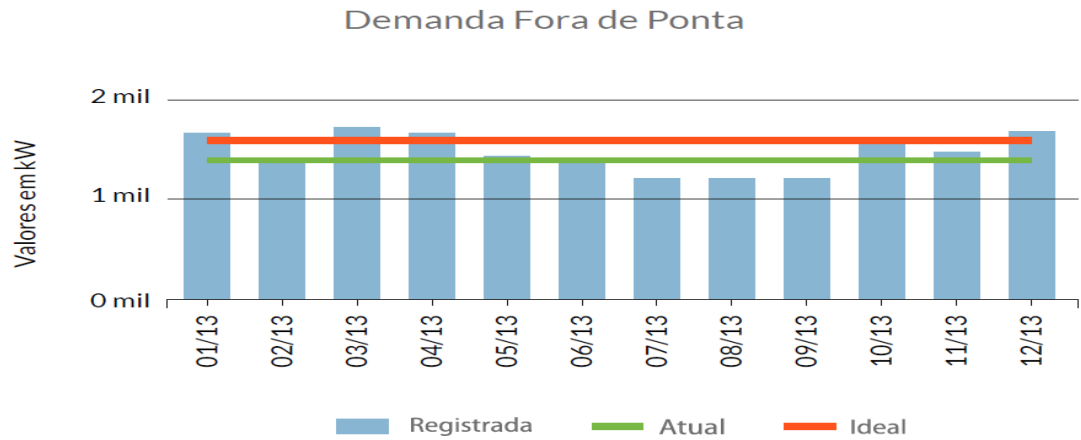
- Ausência de cobrança de reativo: Energia reativa é aquela que não produz trabalho útil e, quando cobrada pela concessionária, indica problema no fator de potência das instalações. Se o problema não for resolvido, custos adicionais podem ocorrer na fatura.
- Demanda contratada adequada: O contrato de energia elétrica deve conter a demanda contratada o mais próximo possível da necessidade real de consumo da unidade consumidora, com tolerância de apenas de 5% do excedente contratado. A Figura 3 e Figura 4 ilustram respectivamente um exemplo de contrato ajustado e desajustado.

Figura 3 - Contrato Ajustado.



Fonte: GOV, 2018.

Figura 4 - Contrato Desajustado.



Fonte: GOV, 2018.

- Enquadramento tarifário adequado: ocorre quando a unidade consumidora está registrada na modalidade tarifária que resulta em menor custo total. Para obter o enquadramento com menor custo, deve-se simular a fatura de energia nas modalidades possíveis e verificar qual delas proporciona o menor valor global total.

3.5 TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA

As Figuras 5 e 6 ilustram com detalhes o que contém em uma conta de luz e como identificar cada informação.

Figura 5 - Conta de Luz.

Seus números de identificação, que precisam ser informados quando você precisa solicitar algum serviço para a Cemig.

Nº DO CLIENTE
000000000

Nº DA INSTALAÇÃO
000000000

Modalidade Tarifária
THS Verde A4

CEMIG

Ativa a Cemig Atende

000000000 000000000

MAI/2018 11/05/2018 4.500,80

Datas de Leitura

Anterior	Atual	Próxima
01/04	01/05	01/06

Modalidade tarifária específica de seu tipo de tarifa. Consulte "Valores e Tarifas" para conferir todos os tipos.

A data que foi feita a leitura no mês anterior, no atual e quando será a próxima. O período de consumo faturado é o que ocorreu entre a leitura anterior e a atual.

Fonte: CEMIG, 2022.

Figura 6 - Conta de Luz.

Informações Gerais

SALDO ATUAL DE GERAÇÃO: 14.639,00 kWh PONTA, 135,36453 kWh F. PONTA, 0,00 kWh NOTURNO.

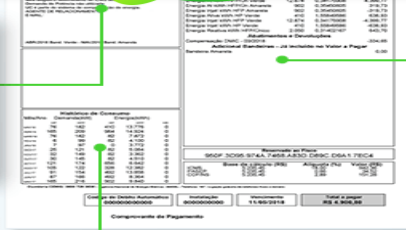
Tarifa vigente conforme Res. Anatel nº 2.248, de 23/05/2017. Conforme DECRETO Nº 46.213, DE 11 DE ABRIL DE 2013, não será exigido o recolhimento do ICMS sobre a parcela de Demanda de Potência não utilizada.

LC é parte do sistema de compensação de energia.

AGENTE DE RELACIONAMENTO:

E-MAIL:

ABR/2018 Band. Verde - MAI/2018 Band. Amarela



Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço	Valor(R\$)
Demanda Ativa kWh HPFPUltimo	182	14,058424/2	2.558,49
Utilização kWh HPFPUltimo	72	28,170905/3	2.028,26
Energia At kWh HPFPUltimo	12.814	0,341705/6	4.389,77
Energia At kWh HPFPUltimo Amarela	902	0,354000/5	319,73
Energia Impul kWh HPFPUltimo	902	0,354000/5	-319,73
Energia Ativa kWh HP Verde	410	1,558495/6	638,93
Energia Impul kWh HP Verde	12.814	0,341705/6	-4.389,77
Energia Impul kWh HP Verde	410	1,558495/6	-638,93
Energia Reativa kWh HPFPUltimo	2,000	0,314021/7	643,70
Abatimentos e Devoluções			
Compensação DMC - 000218			-334,65
Adicional Bandeiras - Já incluído no Valor a Pagar			0,00
Bandeira Amarela			0,00

Informações gerais contém avisos importantes, como descontos, reajustes de tarifas e bandeira tarifária vigente.

Você pode conferir como o valor foi calculado, com o detalhamento de consumo, tarifas e impostos.

Histórico de Consumo

Mês/Ano	Demanda(kW)	Energia(kWh)	Imp		
MAI18	76	182	410	13.776	0
ABR18	165	209	984	14.924	0
MAI18	76	182	82	7.872	0
FEV18	6	99	82	4.100	0
DEZ18	7	187	0	3.772	0
SEP17	25	121	82	5.084	0
AGO17	32	149	82	3.362	0
OUT17	30	145	82	4.510	0
SET17	121	174	656	6.642	0
AGO17	106	122	303	12.262	0
JUL17	91	154	492	13.858	0
JUN17	87	166	492	8.364	0
MAI17	165	216	902	9.840	0

O histórico mostra o seu consumo nos últimos 12 meses, para que você possa comparar ao que está sendo faturado.

Fonte: CEMIG, 2022.

3.6 ESTUDO DE CASO

Para a realização do presente trabalho foram utilizados os dados mensais de demanda medida e de consumo do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - CT-UFRJ, correspondente ao ano de 2011, fornecidos pela Light, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo e Demanda Medida.

2011			
MÊS	CONSUMO MEDIDO (kWh)		DEMANDA MEDIDA (kW)
	PONTA	FORA DE PONTA	
JANEIRO	98394	1201176	5140,8
FEVEREIRO	136471	1669896	5762,9
MARÇO	129915	1482840	5866,6
ABRIL	152006	1554336	6065,3
MAIO	128667	1365552	5780,2
JUNHO	118234	1156248	4009,0
JULHO	106376	1119096	3896,6
AGOSTO	123258	1223640	4708,8
SETEMBRO	126081	1327104	5590,1
OUTUBRO	135536	1380672	5503,7
NOVEMBRO	117824	1452600	5702,4
DEZEMBRO	143316	1591920	5521,0

Fonte: ADAPTADO LIGHT, 2011.

O método utilizado baseou-se nos dos dados de energia elétrica consumida (consumo) e demanda medida. Estes dados foram submetidos a um programa de planilha eletrônica, estabelecendo o melhor posto tarifário para o CT-UFRJ, em diferentes situações de demanda na ponta.

Essa ferramenta é um sistema online para gerenciar o consumo mensal de energia elétrica e a demanda contratada de múltiplas unidades consumidoras da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

O sistema oferece acesso permanente via Internet, de modo compartilhado e diferenciado a múltiplos usuários e interface amigável estilo “tela-única”. Através de tratamento computacional dos dados históricos, ele permite o cálculo de demanda ótima para contratação, com o objetivo de minimizar o gasto anual com energia elétrica, além de outras funções tais como comparação tarifária, relatórios e gráficos das principais medidas elétricas mensais das unidades consumidoras cadastradas.

Utilizando-se o histórico de contas das unidades da UFRJ como estudo de caso, o uso desse sistema possibilita a visualização do perfil geral de consumo de energia da Universidade e a implantação de um gerenciamento e planejamento centralizados e otimizados de seus limitados recursos orçamentários.

3.6.1 Objetivo do sistema

A principal funcionalidade do sistema é auxiliar no momento da escolha da melhor demanda a ser contratada pela universidade perante a concessionária (no caso a LIGHT), minimizando assim o valor anual das faturas de energia elétrica.

As entradas e saídas do sistema são:

Entradas:

- Cadastro de usuários do sistema.
- Cadastro de unidades consumidoras.
- Cadastro de contas de energia elétrica das unidades.
- Cadastro de preços das tarifas.
- Cadastro de instalações futuras nas unidades.

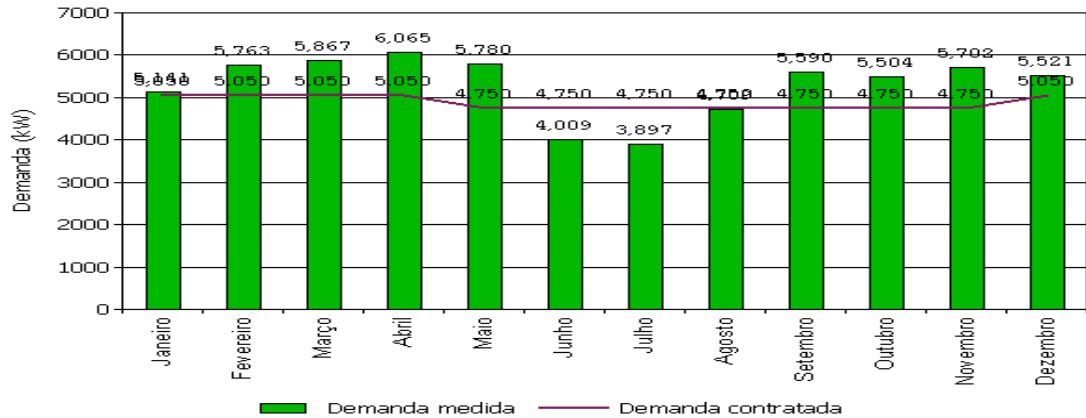
Saídas:

- Cálculo otimizado de demanda contratada.
- Cálculo simples da fatura de cada tarifa.
- Comparação de contas entre tarifas.
- Relatórios.
- Gráficos.

3.6.2 Cálculo de demanda ótima para o centro de tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

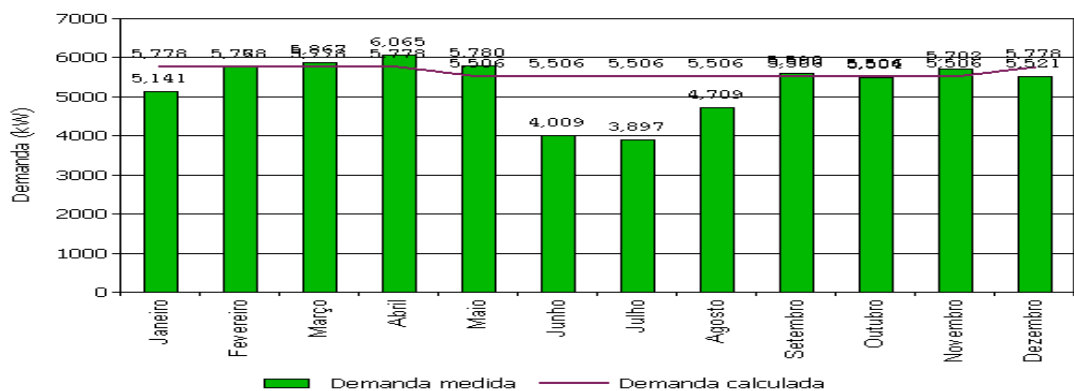
Analisando-se o ano de 2011, após o cadastramento das contas do mesmo ano na ferramenta, considerando-se as tarifas vigentes sem a incidência de impostos e baseado numa demanda com ultrapassagem permitida de 5%, obtivemos os seguintes resultados conforme as Figuras 7 e 8:

Figura 7 - Demanda Real do Ano de 2011 do CT-UFRJ.



Fonte: CARVALHO, 2012.

Figura 8 - Demanda Otimizada do Ano de 2011 do CT-UFRJ.



Fonte: CARVALHO, 2012.

Essa demanda otimizada permite um melhor gerenciamento do sistema elétrico, além de reduzir os custos com a energia elétrica por determinar o melhor valor de demanda contratada com a finalidade de não obter ultrapassagens de demanda.

3. 6. 3 Comparação dos modelos tarifários

As unidades da UFRJ atualmente se enquadram no perfil de consumo horossazonal verde, por ser um posto tarifário aplicado em caráter opcional aos consumidores atendidos em tensão inferior a 69 kV com demanda superior a 300 kW.

A produtividade no período noturno vem aumentando, principalmente com a criação de novos cursos noturnos. Este crescimento implica em um aumento no fator de carga na ponta tornando a tarifação horossazonal azul mais adequada.

O perfil de consumo do Centro de Tecnologia da UFRJ, permite destacar a necessidade de gerenciar o consumo no horário de ponta, pois, apesar do consumo na ponta ser de aproximadamente 10%, esse resultado é responsável por cerca de 50% do faturamento total do consumo de energia elétrica.

Com a finalidade de comparar a tarifa horossazonal verde com a tarifa horossazonal azul, foi necessário observar que o período de maior utilização de energia elétrica no CT-UFRJ, o qual registrará a demanda máxima, será entre 8 h e 17 h, por ser o período no qual haverá maior contingente de alunos e funcionários no prédio realizando atividades dependentes de energia elétrica, este período está inserido no horário fora de ponta.

No ano de 2011 pagou-se R\$ 209.378,80 reais em demanda de ultrapassagem.

Desejando-se obter uma demanda contratada que inviabilize a ocorrência de demanda ultrapassada, de forma a viabilizar um uso consciente da energia elétrica, utilizou-se a Ferramenta de Gerenciamento de Energia Elétrica Contratada - FEGELC - para obter a demanda ótima contratada para este ano.

Constatou-se através da FEGELC que a demanda ótima contratada para tarifa horossazonal verde em 2011 no período seco é de 5.505,9 kW e no período úmido de 5.777,9 kW.

A composição da tarifa horossazonal azul foi realizada com os seguintes critérios:

- Demanda contratada fora de ponta na horossazona azul igual a demanda ótima contratada na horossazonal verde, tanto para o período seco quanto para o úmido.
- Demanda contratada na ponta igual a 30%, 35%, 40% ou 50% da demanda contratada fora de ponta.
- Demanda medida fora de ponta no azul igual a demanda medida na verde.

- Demanda medida na ponta igual a 30%, 35%, 40% ou 50% da demanda medida fora de ponta.

O faturamento do ano de 2011 do CT-UFRJ na tarifa horossazonal verde, utilizando a demanda otimizada, atualmente é de R\$ 5.449.343,35. Considerando o estudo de caso referência para a tarifa horossazonal azul, o faturamento do mesmo ano do CT-UFRJ será de R\$ 5.403.112,28. Obteve-se uma economia de R\$ 46.231,07, otimizando a geração e o consumo.

4 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

De acordo com Simões et. al. (2006) vários trabalhos desenvolvidos mostram que a iluminação ineficiente é comum no Brasil. Uma combinação de lâmpadas, reatores e refletores eficientes, associados a hábitos saudáveis na sua utilização, podem ser aplicados para reduzir o consumo de energia elétrica.

Conforme Filho (2017) a iluminação é responsável atualmente por cerca de 17% de toda energia consumida no Brasil. No setor industrial, a participação do consumo da iluminação é de aproximadamente 1,8%, o que representa a produção de energia elétrica da hidroelétrica de Sobradinho no rio São Francisco, no nordeste do Brasil.

Portanto é de suma importância ter um sistema de iluminação eficiente para reduzir ao máximo o custo da energia.

4. 1 LAMPADAS ELÉTRICAS

As lâmpadas elétricas são classificadas da seguinte maneira:

- Lâmpadas incandescente.
- Lâmpadas de descarga.
- Lâmpadas de LED.
-

4. 1. 1 Lâmpadas incandescentes

São constituídas de um filamento de tungstênio enrolado geralmente em uma forma espiralada que atinge a incandescência com a passagem de uma corrente

elétrica e de um bulbo de vidro transparente, translúcido ou opaco, cheio de gás quimicamente inerte, como o nitrogênio, que evita a oxidação do filamento. Devido às precárias características de sua eficácia luminosa, vida média reduzida e custos de manutenção elevados, é cada vez menor a sua aplicação em projetos industriais (FILHO, 2017). A Figura 9 apresenta uma lâmpada incandescente.

As lâmpadas incandescentes de uso geral, devido ao baixo rendimento luminoso, estão sendo retiradas do mercado mundial. A partir de 30 de junho de 2012 até 30 de junho de 2016 as lâmpadas incandescentes serão paulatinamente descontinuadas no mercado brasileiro (CREDER, 2016).

Figura 9 - Lâmpada Incandescente.



Fonte: VIANA et. al., 2012.

As principais características das lâmpadas incandescentes são:

- Vida útil: entre 600 e 1.000 horas.
- Eficácia luminosa média: 15 lumens/watts.
- Índice de reprodução de cor: 100.
- O rendimento cresce com a potência.
- As lâmpadas de tensão mais baixa apresentam maior rendimento.
- A vida útil depende da tensão de alimentação, para cada 10% de sobre tensão, sua vida útil se reduz em 50%.

O emprego de lâmpadas incandescentes em instalações indústrias fica restrito a banheiros sociais, instalações decorativas, vitrines de amostra de produtos e outras aplicações, onde o consumo de energia seja pequeno (FILHO, 2017).

4.1.2 Lâmpada de descarga

São lâmpadas cuja a luz é produzida por uma descarga elétrica contínua em um gás ou vapor ionizado, às vezes, combinado com fósforo depositado no bulbo que, excitado pela radiação de descarga, provocam uma luminescência (VIANA et. al., 2012).

Uma lâmpada de descarga funciona com equipamento auxiliar (reator e em alguns casos um ignitor) ligado ao seu circuito elétrico. O reator tem como função limitar a corrente da lâmpada e o ignitor ajuda a produzir a tensão necessária para o início da descarga elétrica (VIANA et. al., 2012).

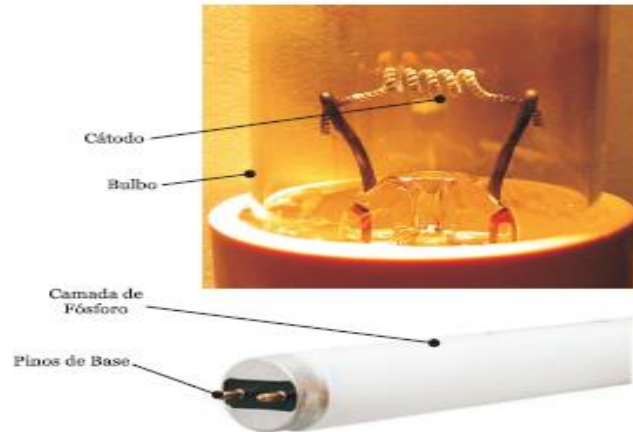
As lâmpadas de descargas são divididas em lâmpadas de baixa e alta pressão.

4.1.2.1 Lâmpadas fluorescentes

São lâmpadas de descarga de baixa pressão, onde a luz é produzida por material fluorescentes que são ativados pela radiação ultravioleta da descarga. A lâmpada possui, normalmente, o formato do bulbo tubular longo com um filamento em cada extremidade, contendo vapor de mercúrio em baixa pressão com uma quantidade de gás inerte para facilitar a partida. O bulbo é recoberto internamente com um pó fluorescente ou fósforo que, composto, determinam a quantidade e a temperatura de cor da luz emitida (VIANA et. al., 2012). A Figura 10 ilustra uma lâmpada fluorescente.

As lâmpadas de descargas apresentam uma elevada eficácia luminosa, compreendida entre 40 e 80 lumens/watt e vida útil entre 7.500 e 12.000 horas de operação.

Figura 10 - Lâmpada fluorescente.



Fonte: VIANA et. al., 2012.

4.1.2.2 Lâmpadas fluorescentes compactas

São lâmpadas fluorescentes que possuem *starter* incorporado na sua base, o que permite a sua substituição por lâmpadas incandescentes sem qualquer tipo de acessório. Possuem uma durabilidade, em média, 10 vezes maior que a incandescentes, além de serem 80% mais econômicas (CREDER, 2016).

A eficiência luminosa de uma lâmpada fluorescente compacta é maior em comparação com as incandescentes. Se comparado uma incandescente de 100W e fluorescente compacta de 23W, que produzem respectivamente 1.470 e 1.520 lúmens, tem-se: 66 lm/W para a fluorescente compacta e 15 lm/W para a incandescente (VIANA et. al., 2012). A Figura 11 ilustra uma lâmpada fluorescente compacta.

Figura 11 - Lâmpada Fluorescente Compacta.



Fonte: CREDER, 2016.

4.1.3 Lâmpadas LED

Os diodos emissores de luz (LEDs) são componentes semicondutores que convertem corrente elétrica em luz visível. É um componente bipolar, tendo um terminal chamado cátodo e outro chamado ânodo, que, quando polarizado, permitem a passagem de corrente elétrica, gerando luz (LABORATÓRIO DE ILUMINAÇÃO, 2022).

A lâmpada LED é fabricada com este material semicondutor, que, quando é percorrido por corrente elétrica, emite luz. Materiais semicondutores possuem uma resistência situada entre materiais condutores e isolantes. Os principais materiais semicondutores empregados na eletrônica são o germânio e o silício, sendo este último o mais utilizado (STRYHALSKI, 2012).

Os LEDs apresentam alguns benefícios, como por exemplo: longa durabilidade (pode-se obter até 50.000 horas de funcionamento); alta eficácia luminosa; variedade de cores; dimensões reduzidas; alta resistência a choques e vibrações; não gera radiação ultravioleta e infravermelha; baixo consumo de energia e pouca dissipação de calor; redução nos gastos de manutenção, permitindo sua utilização em lugares de difícil acesso; possibilidades de utilização com sistemas fotovoltaicos em locais isolados (VIANA et. al., 2012).

A única desvantagem das lâmpadas de LED é o custo, que ainda é mais alto do que à as outras. Porém, considerando o baixo custo de sua manutenção em função

da maior durabilidade e a redução do custo na conta de luz, o gasto maior na sua compra poderá ser compensado (INMETRO, 2022).

A Figura 12 ilustra uma lâmpada de LED tubular.

Figura 12 - Lâmpada LED tubular.



Fonte: PHILIPS, 2017.

4.2 ESTUDO DE CASO

Para mostrar o potencial de economia de energia elétrica que pode ser proporcionado ao se utilizar fontes mais eficientes de iluminação, foi realizado um estudo de viabilidade para a substituição do sistema de iluminação de um supermercado localizado na cidade de Belo Horizonte - MG. Este estudo irá abranger apenas a área da loja, ou seja, a área dos corredores onde ficam expostos os produtos.

4.2.1 Situação atual

Atualmente o sistema da área estudada é baseado em lâmpadas fluorescentes tubulares, como pode ser visto na Figura13.

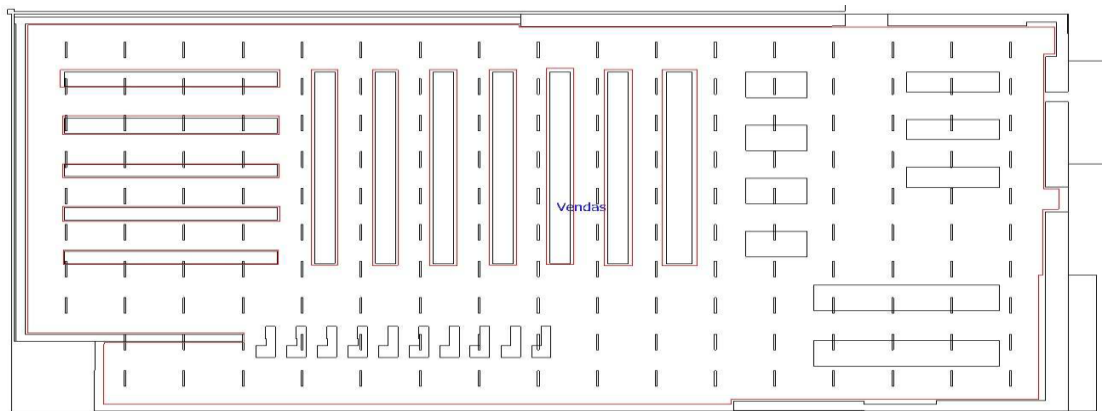
Na área estudada existem 16 colunas com 10 luminárias e 1 coluna com 8, totalizando 168 luminárias. A distribuição é ilustrada pela Figura 14.

Figura 13 - Foto do Supermercado.



Fonte: SOBREIRA, 2017.

Figura 14 - Distribuição das Luminárias no Supermercado.



Fonte: SOBREIRA, 2017.

O ambiente onde as luminárias estão instaladas tem um pé direito de 7,65m e elas estão instaladas a uma altura de 5,45m. Cada uma das luminárias possui duas lâmpadas fluorescentes modelo TLTRS110W-ELD-NG fabricadas pela Philips. A Tabela 2 apresenta as especificações técnicas das lâmpadas.

Tabela 2 - Especificação Lâmpada TLTRS110W-ELD-NG.

CARACTERÍSTICAS	TLTRS110W-ELD-NG
POTÊNCIA (W)	110
TEMPERATURA DE COR (K)	5000
IRC	72
VIDA MEDIANA (HORAS)	7500
EFICIÊNCIA (lm/W)	69,1
COMPRIMENTO (mm)	2385,2
FLUXO LUMINOSO (lm)	7600
BASE	R17D
DIÂMETRO	33,5

Fonte: ADAPTADO PHILIPS, 2009.

Como cada uma das 168 luminárias possui 2 lâmpadas, o total de lâmpadas é de 336 unidades. Não foi possível verificar o modelo dos reatores que estão instalados, portanto as perdas nos reatores foram estimadas em 10% do consumo total do sistema. Para estimar o consumo do sistema atual, basta multiplicar a quantidade de lâmpadas pelo consumo de cada uma e somar com as perdas nos reatores, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Consumo Estimado do Sistema Atual.

CONSUMO DO SISTEMA ATUAL	
LUMINÁRIA (pç)	168
LÂMPADAS (pç)	336
CONSUMO POR LÂMPADA (kWh)	0,11
CONSUMO TOTAL DAS LÂMPADAS (kWh)	36,96
PERDAS NOS REATORES (kWh)	3,70
CONSUMO TOTAL DO SISTEMA (kWh)	40,66

Fonte: ADAPTADO SOBREIRA, 2017.

4.2.2 Solução proposta

O nível de iluminância mantida para grandes áreas de varejo e para áreas de caixa deve ser de 500 lux (ABNT, 2013). A vida útil das luminárias LED é definida como o período de tempo durante o qual a luminária fornece 70% ou mais do fluxo luminoso inicial (INMETRO, 2014). O novo sistema de iluminação foi projetado para que a iluminância mantida na área de vendas seja de 700 lux. Desta maneira, no final da sua vida útil, quando o fluxo luminoso for 70% do inicial, a iluminância mantida será de aproximadamente 490 lux.

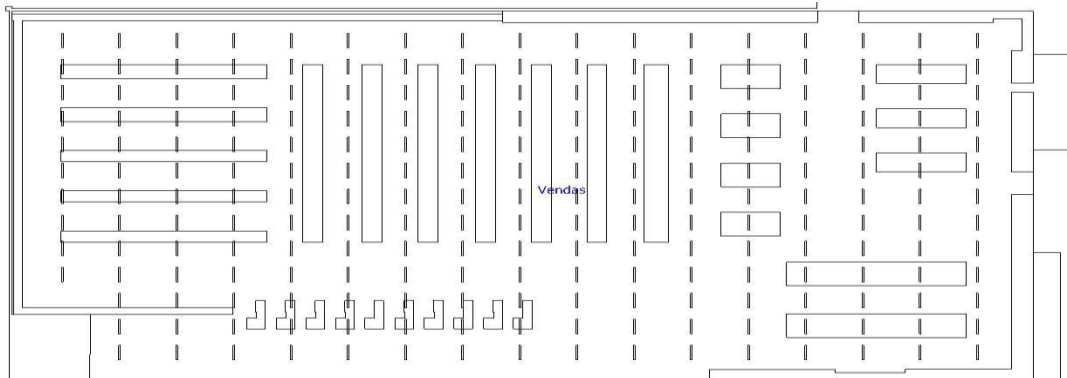
No sistema de iluminação proposto serão utilizadas 16 colunas com 13 luminárias e 1 coluna com 10, totalizando 218 luminárias LED modelo *Low Bay Sobrepor* de 40W fabricado pela LDX. A Tabela 4 mostra as características da luminária.

Tabela 4 - Especificações Técnicas Luminária *Low Bay Sobrepor* 40W.

CARACTERÍSTICA LOW BAY SOBREPOR 40W	
POTÊNCIA (W)	40
TEMPERATURA DE COR (K)	5000
IRC	>80
VIDA MEDIANA (HORAS)	60000
EFICIÊNCIA (lm/W)	124,68
COMPRIMENTO (mm)	1160
LARGURA (mm)	95
ALTURA (mm)	50

Fonte: ADAPTADO SOBREIRA, 2017.

O novo layout pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 - Layout da Solução Proposta.


Fonte: SOBREIRA, 2017.

O consumo do novo sistema de iluminação pode ser calculado multiplicando-se o número de luminárias pelo seu consumo nominal. O consumo do novo sistema pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 - Consumo do Sistema Proposto.

COSUMO DO SISTEMA PROPOSTO	
LUMINÁRIA (pç)	218
CONSUMO POR LUMINÁRIAS (kWh)	0,04
CONSUMO TOTAL DAS LUMINÁRIAS (kWh)	8,72
PERDAS NOS DRIVERS (kWh)	0,87
COSUMO TOTAL DO SISTEMA PROPOSTO (kWh)	9,59

Fonte: ADAPTADO SOBREIRA, 2017.

4.2.3 Análise da solução proposta

O valor unitário das luminárias é de R\$ 245,08. O valor da mão de obra para a instalação das luminárias é de R\$ 11.990,00, o que representa, em média, R\$ 55,00 por luminária. O investimento total para implantação do novo projeto será de R\$ 65.417,44.

Para uma análise financeira mais precisa, é preciso entender os horários de funcionamento do supermercado. Ele funciona todos os dias da semana, de segunda a sábado de 08:00 às 22:00 (14 horas por dia), e aos domingos de 08:00 às 15:00 (7 horas). Então, em uma semana ele funciona durante 91 horas, o que dá em média 13 horas por dia de funcionamento.

As luzes da área de vendas permanecem ligadas durante todo este tempo. Como o consumo do sistema de iluminação antigo e do proposto são conhecidos, é possível estimar o gasto com cada sistema. Para esses cálculos o custo por kWh considerado foi de R\$ 0,53528.

. Na Tabela 6 é possível ver uma comparação entre os custos anuais com energia elétrica dos dois sistemas de iluminação.

Tabela 6 - Comparativo entre o Sistema Atual e o Proposto.

	CONSUMO DIÁRIO	CONSUMO MENSAL	CONSUMO ANUAL	CUSTO ANUAL (R\$)
	(13 HORAS) (KWh)	(30 DIAS) (kWh)	(360 DIAS) (kWh)	
SISTEMA ATUAL	528,58	15.857,40	190.288,80	101.857,79
SISTEMA PROPOSTO	124,67	3.740,10	44.881,20	24.024,01

Fonte: ADAPTADO SOBREIRA, 2017.

Os custos com energia elétrica podem ser reduzidos em aproximadamente 76,41% ao se substituir o sistema de iluminação antigo por luminárias LED. Os gastos anuais caíram de R\$ 101.857,79 para R\$ 24.024,01, uma economia de R\$77.833,78 anuais. O consumo de energia anual do sistema de iluminação será reduzido de 190.288,80 kWh (198,29 MWh) para 44.881,20 kWh (44,88 MWh) anuais.

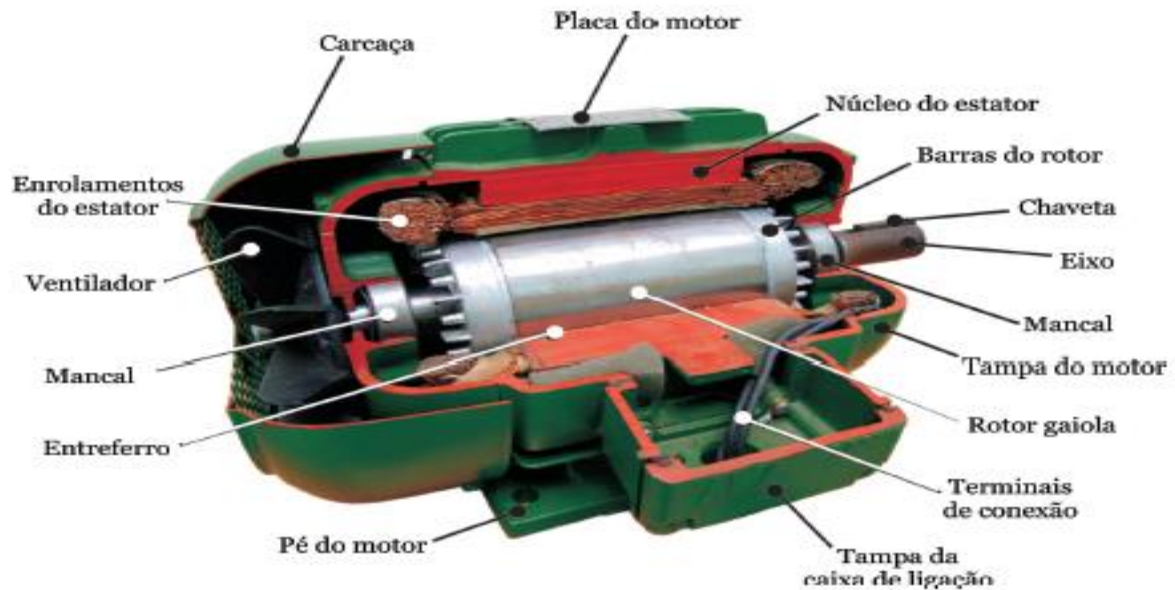
5 MOTOR TRIFÁSICO

Basicamente, motor é um conversor eletromecânico que, baseados em princípios eletromagnéticos, converte energia elétrica em energia mecânica, ou vice-versa, quando passa a se chamar gerador (VIANA ET AL., 2012).

O funcionamento de um motor de indução baseia-se no princípio da formação de campo magnético rotativo produzido no estator pela passagem da corrente alternada em suas bobinas, cujo fluxo, por efeito de sua variação, se desloca em volta do rotor, gerando correntes induzidas que tendem a se opor ao campo rotativo, sendo,

no entanto, arrastado por este (FILHO, 2017). A Figura 16 ilustra os principais componentes de motor de indução.

Figura 16 - Motor de Indução.



Fonte: VIANA, 2012.

5.1 PERDAS NOS MOTORES TRIFÁSICOS

Naturalmente, a conversão de energia elétrica em energia mecânica não se dá por completa, devido a uma série de perdas que ocorrem no interior da máquina durante este processo. Tais perdas podem ser agrupadas da seguinte forma de acordo com Viana et al. (2012):

- Perdas por efeito Joule no estator e no rotor: Resultam da passagem de corrente elétrica pelos seus enrolamentos.
- Perdas no ferro: São constituídas pelas perdas por histerese e correntes de Foucault.
 - Perdas por histerese: resulta da constante reorientação do campo magnético sobre o pacote de lâminas de aço-silício.
 - Perdas por corrente de Foucault: São devidas às correntes induzidas no interior do material magnético que, circulando, produzem perdas na forma de calor.

- As perdas por atrito e ventilação: ocorrem devido ao atrito no enrolamento da máquina e pelo arrasto aerodinâmico provocado pela geometria irregular do rotor e pelo próprio ventilador por vezes instalados na ponta do eixo.
- Perdas adicionais ou por dispersão: incluem todas as perdas não classificadas anteriormente e normalmente crescem com o carregamento da máquina.

5. 2 TIPOS DE MOTORES TRIFÁSICOS

Os motores são classificados como:

- Motores Síncronos.
- Motores Assíncronos.

5.2.1 Motores síncronos

O motor síncrono é o único motor elétrico que possui velocidade absolutamente constante, com carga ou em vazio, desde que a frequência de rede elétrica que o alimenta seja constante (MARTIGNONI, 2005). A velocidade do seu rotor é sincronizada como campo girante que é estabelecido no estator e depende da frequência e número de pólos.

Este motor normalmente é utilizado para grandes potências, principalmente devido ao seu alto custo de fabricação para potencias menores.

5.2.2 Motores assíncronos

No motor assíncrono a corrente alternada é fornecida diretamente ao estator, ao passo que o rotor recebe a corrente por indução eletromagnética a partir do estator e, por isso, este motor é chamado de motor de indução. O motor assíncrono é um equipamento robusto e apresente um baixo custo e simplicidade de manutenção, este motor é largamente utilizado na indústria, sendo adequado para diversos tipos de aplicações.

Por ser o motor mais utilizado no setor industrial, esse trabalho vai consistir em apresentar o motor de indução trifásico assíncrono com rotor gaiola de esquilo.

5.3 DIMENSIONAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO

Muitos motores instalados encontram-se superdimensionados para a carga que acionam. De uma amostra de 2.119 motores da indústria brasileira analisada, 36% operavam a menos de 50% da carga nominal (GARCIA, 2003). As razões mais frequentes para esta ocorrência são:

- Desconhecimento das características da própria carga.
- Desconhecimento de métodos para um dimensionamento adequado.
- Aplicação de sucessivos fatores de segurança nas várias etapas do projeto industrial.
- Expectativa de aumento futuro de carga.
- A não especificação de fator de serviço maior que 1.0 para motores que esporadicamente apresentam picos de carga.

Sendo assim, os custos com motores superdimensionados podem aumentar da seguinte forma:

- A compra do motor de potência maior.
- A compra de equipamentos da fonte de alimentação, por solicitar potências aparente (kVA) e reativa (kVAr).
- A energia elétrica consumida, por apresentar rendimento menor.
- A penalidade, devido ao baixo fator de potência.

O processo para uma eficiente seleção do motor, deve atender aos seguintes requisitos básicos compatíveis com o local da instalação e aplicação da carga:

- Fonte de alimentação e aplicação da carga: tensão C.A trifásica equilibrada.
- Frequência: No Brasil, 60 Hz.
- Especificação da carga: Aspecto da curva de conjugado resistente e respectivos valores de conjugado de partida e nominal, rotação nominal, regime de funcionamento (contínuo ou intermitente), ciclo de aplicação da carga (constante ou variável) e o número de partidas, frenagens ou reversões por hora.

- Condições ambientais: Temperatura ambiente, altitude, umidade relativa, presença de gases, pós ou elementos químicos que possam influenciar na confiabilidade de operação do motor.

5.4 ACIONAMENTO DE MOTORES

A adoção de um sistema de partida eficiente pode ser considerada uma das regras básicas para se obter do motor uma vida útil prolongada, custos operacionais reduzidos, além de dar à equipe de manutenção da indústria tranquilidade no desempenho das tarefas diárias (FILHO, 2018).

5.4.1 Partida direta

Segundo Filho (2018), partida direta é o método mais simples, onde são utilizados apenas contadores, disjuntores ou chave interruptoras.

De acordo com Filho (2018), há três fatores que devem ser considerados para efetuar a ligação de um motor à a rede diretamente, são eles: corrente de partida do motor irrelevante em relação a corrente nominal da rede; motor de potência baixa propiciando uma corrente de partida de baixo valor; o motor parte sem carga. Filho (2018) cita ainda que há dois fatores que impedem que uma partida direta seja efetuada: Potência do motor acima do permitido pela concessionária para ligação direta à a rede de alimentação; cargas que necessitem de acionamento lento e progressivo.

5.4.2 Partida estrela-triângulo

Em instalações elétricas industriais, principalmente aquelas sobrecarregadas, podem ser usadas chaves estrela-triângulo como forma de suavizar os efeitos de partida dos motores elétricos (FILHO, 2018).

O procedimento para o acionamento do motor é feito, inicialmente, ligando-o na configuração estrela até que este alcance uma velocidade próxima da velocidade de regime, quando então esta conexão é desfeita e executada a ligação em triângulo.

Vantagens:

- Custo reduzido.
- Elevado número de manobras.
- Corrente de partida reduzida a 1/3 da nominal.
- Baixa queda de tensão durante a partida.

Desvantagens:

- Aplicação específica a motores com dupla tensão nominal e que disponham de pelo menos seis terminais acessíveis.
- Conjugado de partida reduzido a 1/3 do nominal.
- A tensão da rede deve coincidir com a tensão em triângulo do motor.

5.4.3 Partida por meio de chaves estáticas (soft-starters)

Conhecidas como chaves soft-starters, são constituídas de um circuito eletrônico acoplado a um microprocessador que controla um conjunto de tiristores responsáveis pelo ajuste da tensão aplicada aos terminais do motor. Com ajustes acessíveis, pode-se controlar o torque do motor e a corrente de partida a valores desejados, em função da exigência da carga (FILHO, 2018).

Vantagens:

- Ajuste da tensão de partida por um tempo pré-definido.
- Pulso de tensão na partida para cargas com alto conjugado da partida.
- Redução da tensão para níveis ajustáveis.
- Proteções contra falta de fase, sobre - correntes, subcorrentes, etc.

5.4.4 Partida por meio de inversores de frequência

Sabe-se que a variação da velocidade de um pode ser feita através de três parâmetros, são eles: alterando o número de pólos, variando o escorregamento, e ainda, controlando a frequência elétrica através de um inversor de frequência (WEG, 2016). Este último constitui o método mais eficiente para se controlar a velocidade de motores de indução. Os inversores transformam a tensão da rede, que tem amplitude e frequência constantes, em uma tensão de amplitude e frequência variáveis. Quando se varia a frequência da tensão de alimentação do motor, varia-se também a

velocidade do seu campo girante e, conseqüentemente, a velocidade mecânica de rotação (WEG, 2016).

Vantagens:

- O controle pode ser realizado à distância.
- O aumento da produtividade, uma vez que os inversores de frequência possibilitam o ajuste da velocidade operacional mais adequado ao processo.
- Eficiência energética, uma vez que o rendimento do sistema não depende somente do motor, mas também do controle. Na variação eletrônica, a potência fornecida pelo motor varia de maneira otimizada, produzindo assim elevados índices de rendimento do sistema.
- A versatilidade que os inversores de frequência possuem os fazem adequados para qualquer tipo de carga.
- O controle preciso da velocidade obtido com os inversores propicia uma otimização dos processos, rendendo uma maior qualidade no produto final.

5.5 ESTUDO DE CASO

Avaliação de uma fábrica de gelo em São Paulo. Esta fábrica opera hoje com motores muito antigos de 75 CV e é de se esperar que a substituição traga uma significativa economia de energia.

A fábrica produz gelo em barras e triturados para atender comercializadores de aves e pescado. A comercialização ocorre em sua maior parte durante a madrugada, entre 02h 00min e 06h 00min. A demanda contratada é de 400kW.

O gelo é produzido e estocado a partir das 2h às 19h30. Nos intervalos remanescentes, os compressores são desligados. Para operacionalizar a produção de gelo, são utilizados 04 motores de 75 CV e tensão de 380 V cada como ilustra a Figura 17. Estes motores foram fabricados há quarenta anos e têm as seguintes características:

Marca: Bufalo SA.

Tensão: 380 V.

Potência nominal: 75 CV.

Corrente I_n : 115 A.

F.S. = 1,0.

RPM: 1770.

Classe: F.

Figura 17 - Visão Geral do Motor.



Fonte: NJAIM, 2017.

5.5.1 Medições e levantamentos

Foram levantados no local os dados e características dos motores bem como medidas as potências elétricas, tensões, correntes, fator de potência, temperatura e rotação de trabalho, apresentados na tabela 7.

Tabela 7 - Levantamento de dados dos motores

Motor	P _{nom} (CV)	RPM nominal	Polos	Rotação síncrona ns	I _{nom}	V _{ab}	V _{bc}	V _{ca}	I _a	I _b	I _c	Pelét. (kW)	FP	Rotação de trabalho nt (rpm)	T _{máx} °C
1	75	1770	4	1800	115	380	381	381	102	101	102	53	0,87	1776	43
2	75	1770	4	1800	115	382	382	382	98	99	96	52	0,86	1777	44
3	75	1770	4	1800	115	380	381	381	104	103	103	54	0,85	1775	45
4	75	1770	4	1800	115	381	381	381	103	102	102	53	0,87	1775	42

Fonte: NJAIM, 2017.

Os parâmetros de operação dos motores foram calculados através das equações a seguir.

- Conjugado nominal - M_n (10):

$$M_n = \left(\frac{P_n}{\eta_n} \right) \left(\frac{CV}{rpm} \right) \quad (10)$$

Onde, P_n = Potência nominal. n_n = rotação nominal.

- Conjugado de trabalho - M_t (11):

$$M_t = M_n \times (\eta_s - \eta_t) \div (\eta_s - \eta_n) \left(\frac{cv}{rpm} \right) \quad (11)$$

Onde, n_n = rotação nominal. n_s = rotação síncrona. n_t = rotação de trabalho.

- Potência de trabalho - P_t (12):

$$P_t = M_t \times \eta_t. \quad (12)$$

Onde, M_t = Conjugado de trabalho. n_t = rotação de trabalho.

- Fator de carregamento - F_c (13):

$$F_c = \left(\frac{P_t}{P_n} \right) \quad (13)$$

Onde, P_t = Potência de trabalho. P_n = Potência nominal.

- Rendimento – η (14):

$$\eta = 100 \times (0,736 \times P_t) \div \text{Pelétrica} \quad (14)$$

Onde, P_t = Potência de trabalho. Pelétrica = Potência exigida da rede.

Com os dados da Tabela 7 e as equações anteriores, foram obtidos os resultados mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetro dos Motores.

MOTOR	CONJUGADO NOMINAL	CONJUGADO DE TRABALHO	POTÊNCIA DE TRABALHO	FATOR DE CARREGAMENTO	RENDIMENTO
	M_n (CV/rpm)	M_t (CV/rpm)	(CV)	F_c	
1	0,0424	0,035	61,4	0,82	0,85
2	0,0424	0,032	57,3	0,76	0,81
3	0,0424	0,036	63,1	0,84	0,86
4	0,0424	0,035	62,1	0,83	0,86
MÉDIA	0,0424	0,034	61	0,81	0,85

Fonte: ADAPTADO NJAIM, 2017.

Ao analisar a tabela, conclui-se que o fator de carregamento médio está adequado (acima de 75%), ou seja, os motores estão com a potência nominal exigida pela carga.

5.5.2 Consumo de energia dos motores atuais

O consumo de energia atual está mostrado na Tabela 9 e foi calculado através da seguinte fórmula (15):

$$\text{Consumo (kWh/ano)} = \text{Pelétrica} \times \left(\frac{\text{n}^\circ \text{ horas}}{\text{Dia Func.}} \right) \times \left(\frac{\text{n}^\circ \text{ Dias}}{\text{Ano Func.}} \right) \div (\text{Rendimento}) \quad (15)$$

Tabela 9 - Consumo de Energia dos Motores.

MOTOR	Pn (CV)	RENDIMENTO	HORAS/DIAS FUNC.	DIAS/ANO FUNC.	PELÉTRICA (Kw)	Consumo (kWh)/ANO
1	75	0,85	17	365	53,00	385.771,68
2	75	0,81	17	365	52,00	397.930,60
3	75	0,86	17	365	54,00	389.637,17
4	75	0,86	17	365	53,00	381.529,56
TOTAL						1.554.868,56

Fonte: ADAPTADO NJAIM, 2017.

5.5.3 Avaliação da substituição dos motores atuais por outros de alto rendimento

Foi escolhido para avaliação o motor WEG W22 IR3 alto rendimento, Premium Trifásico. O preço sugerido desse motor, segundo o site weg é de R\$ 21.815,72. Este motor tem um rendimento de 95%. O consumo de energia utilizado por estes motores está mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Consumo dos Motores de Alto Rendimento.

MOTOR	Pn (CV)	RENDIMENTO	HORAS/DIAS FUNC.	DIAS/ANO FUNC.	PTRABALHO (kW)	Consumo (kWh)/ANO
1	75	0,95	17	365	45,00	292.280,32
2	75	0,95	17	365	45,00	292.280,32
3	75	0,95	17	365	45,00	292.280,32
4	75	0,95	17	365	45,00	292.280,32
TOTAL						1.169.121,28

Fonte: ADAPTADO NJAIM, 2017.

Economia anual de energia será de (16):

$$E = 1.554.868,56 - 1.169.121,28 = 389.221,60 \text{ kWh.} \quad (16)$$

Considerando o valor atual da tarifa de consumo no horário de ponta igual a R\$ 0,34 / kWh (Tarifa mais impostos), a economia financeira será (17):

$$E_f = (389.221,60 \text{ kWh}) \times (\text{R\$ } 0,34 / \text{kWh}) = \text{R\$ } 132.335,34. \quad (17)$$

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi possível verificar maneiras diferentes para o uso racional de energia elétrica, por meio de estudos de casos que exemplificaram medidas a serem tomadas, pelas empresas, para utilização de energia elétrica de forma eficiente.

Em primeira análise, foi relatado a importância de como escolher uma tarifa de energia elétrica adequada para uma menor utilização de energia elétrica, por consequência obtendo-se um alcance de economia de R\$ 46.231,07 por ano. Ademais, a economia das lâmpadas de LED, se comparada com as outras, como por exemplo a fluorescente, foi evidente, visto que a substituição proporcionou uma economia de R\$ 77.833,78 anuais. Por fim, foi comprovado a viabilidade de substituir motores antigos e de baixo rendimento por motores novos de alto rendimento, uma vez que, obteve-se uma redução considerável, cerca de R\$ 132.335,34 por ano.

Portanto, de acordo com os estudos abordados, é notável que o setor industrial brasileiro necessita de aprimoramento, embora algumas medidas já estejam em progresso, para que, de fato, assim como demonstrado no presente trabalho, seja possível utilizar a energia elétrica de forma adequada, racional e eficiente contribuindo para uma grande economia.

ABSTRACT

This paper aims to propose ways of efficient and rational use of electric energy in the industrial sector, where the largest consumption of electric energy in Brazil is concentrated. In this way, three specific topics were addressed, electric energy pricing, lighting system and induction motors. In addition, it is demonstrated how the electricity tariff is constituted and proposed means of adequate use. Furthermore, it also presents

the types of lamps that are used most frequently in the country, and emphasizes the importance of induction motors, in the industrial and national scenario, in relation to energy consumption. Finally, it mentions the most used types of motor drives and how to correctly size a motor. The objective was to report real case studies on each of the mentioned topics, highlighting methods of use in an adequate, rational and efficient way of consumption of electric energy. Therefore, the financial return of the measures that were taken in the case studies is presented.

Keywords: Energy efficiency, energy pricing, energy rationing, induction motor.

REFERÊNCIAS

ACORONI, J. C. P; SILVA, A. V; SOUZA, E. D. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: MELHORES PRÁTICAS EM ECONOMIA DE ENERGIA EM UM SETOR INDUSTRIAL.**

ANEEL. **TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA.** <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/bandeiras-tarifarias>. ACESSO EM :15 DE JULHO DE 2022.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº414.** 2010.

BECKER, T. V. **OTIMIZAÇÃO DA DEMANDA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ.** TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, MEDIANEIRA, 2014.

CARÇÃO, J. F. C. **TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.** DISSERTAÇÃO (TÍTULO DE MESTRE) – CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E AUTOMAÇÃO, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, SÃO PAULO. 2011.

CARVALHO, T. P. **UM ESTUDO SOBRE TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA VISANDO SUA UTILIZAÇÃO RACIONAL NO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UFRJ.** MONOGRAFIA – CURSO ENGENHARIA ELÉTRICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, RIO DE JANEIRO. 2012.

CASTRO, N ET AL. **AS TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E EM OUTROS PAÍSES: O PORQUÊ DAS DIFERENÇAS.** RIO DE JANEIRO: FÁBRICA DE LIVROS, 2017.

CHAVES, V. B. **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA NA APLICAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO COM ALTO RENDIMENTO: ESTUDO DE CASO.** TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA, CENTRO UNIVERSITÁRIO AUGUSTO MOTTA, RIO DE JANEIRO, 2019.

CHIOVATTO, C. **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA NA APLICAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO COM ALTO RENDIMENTO: ESTUDO DE CASO.** 2011. DISSERTAÇÃO (TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA) - CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, MINAS GERAIS, 2011.

COELHO, P. J. S. **ESTUDO DA PARTIDA DE MOTORES DE INDUÇÃO DE GRANDE PORTE EM AMBIENTE DE REDE ELÉTRICA FRACA.** 2018. DISSERTAÇÃO (TÍTULO DE MESTRE EM CIÊNCIAS) – CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, MINAS GERAIS, 2018.

CREDER, H. **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS.** 16° ED. RIO DE JANEIRO: LIVROS TÉCNICOS CIENTÍFICOS, 2016.

ENERGIA LIMPA. **A REINVENÇÃO DA LUZ.** REVISTA VEJA. EDIÇÃO 2145 – ANO 42 – N° 52. 30 DE DEZEMBRO DE 2009. DISPONÍVEL EM: <HTTP://VEJA.ABRIL.COM.BR/ACERVODIGITAL/HOME.ASPX>. ACESSO EM: 28 MAIO 2020.

EPE. **CADERNO DE DEMANDA DE ELETRICIDADE.** <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-295/Caderno%20de%20Demanda%20de%20Eletricidade.pdf>. ACESSO EM: 22 DE AGOSTO DE 2022.

FALCÃO, S. L. **ANÁLISE DA CORRENTE DE PARTIDA DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICO.** 2019. MONOGRAFIA – CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS, PALMAS, 2019.

FILHO, J. M. **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS.** 9° ED. RIO DE JANEIRO: LIVROS TÉCNICOS CIENTÍFICOS, 2017.

FUGIMOTO, S. K. **ESTRUTURA DE TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA ANÁLISE CRÍTICA E PROPOSIÇÕES METODOLÓGICAS.** TESE (TÍTULO DE DOUTOR) – CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA, ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PAULO, SÃO PAULO, 2010.

GOV. **COMO ANALISAR GASTOS COM ENERGIA ELÉTRICA.** https://www.gov.br/compras/pt-br/sistemas/arquivos-doc-e-pdf/cartilha_energia.pdf. ACESSO EM: 8 DE AGOSTOS DE 2022.

GUEDES, T. P. **ESTUDOS COMPARATIVOS DE TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA.** TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, CAMPINA GRANDE, 2006.

INMETRO. **LÂMPADALED.** <http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/cartilhas/lampada-led/lampadaled.pdf>. ACESSO EM: 01 OUTUBRO DE 2022.

LABORATÓRIO DE ILUMINAÇÃO. (2012) **LED: O QUE É, E COMO FUNCIONA.** DISPONÍVEL EM: <HTTP://WWW.IAR.UNICAMP.BR/LAB/LUZ/DICASEMAIL/LED/DICA36.HTM>. ACESSO EM: 16 MAIO 2022.

NJAIM, P. R. **APLICAÇÃO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EM UMA FÁBRICA DE GELO EM SÃO PAULO.** 2017. MONOGRAFIA – CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, FOZ DO IGUAÇU, 2017.

NOGUEIRA, S. P. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO. 2019. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, MINAS GERAIS, 2019.

MARTIGNONI, ALFONSO. ENSAIOS DE MÁQUINAS ELÉTRICAS. 2. ED. RIO DE JANEIRO: GLOBO, 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2030. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; COLABORAÇÃO EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. BRASÍLIA: MME: EPE, 2016.

PRAXEDES, M. F. A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PARTIDAS DOS MOTORES ELÉTRICOS TRIFÁSICOS – MIT. 2011. MONOGRAFIA – CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA, UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO, ITATIBA, 2011.

PROCEL. MANUAL DE TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. 2011

ROSA, M. N. ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA ESCOLA MUNICIPAL MARIA DA TERRA EM GOIÂNIA. MONOGRAFIA – CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, GOIÂNIA. 2017.

SANTOS, A. H. M ET AL. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: TEORIA & PRÁTICA. 1º ED. ITAJUBÁ, 2007.

SILVA, A. L. R; VIANA, F. G; PEREIRA, T. N. D. ASPECTOS REGULATÓRIOS DAS TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA. 1º ED. FLORIANÓPOLIS: RUMO DESIGN, 2020.

SOARES, G. T. SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA COMO FERRAMENTA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA. 2015. PÓS GRADUAÇÃO - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Pará, 2015.

STRYHALSKI, J. (2012) SEMICONDUTORES, UM POUCO DE FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO. UDESC JOINVILLE. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.MUNDOFISICO.JOINVILLE.UDESC.BR/INDEX.PHP?IDSECAO=110&IDSUBSECAO=&IDTEXTO=49](http://www.mundofisico.joinville.udesc.br/index.php?idsecao=110&idsubsecao=&idtexto=49)> ACESSO EM: 07 JUN. 2022.

TONIM, G. A GESTÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA INDÚSTRIA: SEU SUPRIMENTO E USO EFICIENTE. DISSERTAÇÃO (TÍTULO DE MESTRES) – CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, SÃO PAULO, 2009.

TORELLI, G. A. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PEQUENAS INDÚSTRIAS: ESTRATÉGIAS DE BAIXO CUSTO OBJETIVANDO AUMENTO DA PRODUTIVIDADE. 2018. MONOGRAFIA – UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, PARANÁ, 2018.

TORRES, I.S.M.; SOUSA, F.P.F.; FERREIRA, T.V.; LUCIANO, B.A. (2010) LÂMPADAS FLUORESCENTES E DISTORÇÕES HARMÔNICAS: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E

QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA. ANAIS DO VIII CBQEE – CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA, BLUMENAU.

VIANA, A. N. C ET AL. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES. 10º ED. SÃO PAULO. 2012.

WEG. **GUIA DE ESPECIFICAÇÕES**: MOTORES ELÉTRICOS.
<https://static2.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>. ACESSO EM: 20 DE OUTUBRO DE 2022.