

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Bernardo Brandão Pandolfo

**Análise de Eficiência Energética em
Estabelecimentos Prisionais:
Estudo de caso no Presídio Estadual Feminino
Madre Pelletier**

Porto Alegre

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Bernardo Brandão Pandolfo

**Análise de Eficiência Energética em Estabelecimentos
Prisionais:
Estudo de caso no Presídio Estadual Feminino Madre
Pelletier**

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Igor Pasa Wiltuschnig

Porto Alegre

2023

BERNARDO BRANDÃO PANDOLFO

**Análise de Eficiência Energética em Estabelecimentos
Prisionais:
Estudo de caso no Presídio Estadual Feminino Madre
Pelletier**

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Prof. Dr. Igor Pasa Wiltuschnig
Orientador - UFRGS

Prof. Dr. Roberto Petry Homrich
Chefe do Departamento de Engenharia
Elétrica (DELET) - UFRGS

Aprovado em 05 de maio de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Igor Pasa Wiltuschnig
UFRGS

Prof. Me. Ben Hur Bandeira Boff
UFRGS

Eng. Me. Gederson Alvaro da Cruz
SSPS

Agradecimentos

À minha mãe Silvia, por estar ao meu lado durante todos estes anos e sempre ter me incentivado a continuar, mesmo quando parecia não haver mais motivação. Se eu não desisti, é por causa dela.

Aos meus tios Volnei e Cláudia, por todos esses anos que me apoiaram, desde quando eu era criança até esse momento especial. Vocês também fazem parte dessa conquista.

Aos meus amigos e colegas da UFRGS, que me acompanharam durante todos estes anos e tornaram essa jornada árdua mais leve e divertida. Todas as experiências que vivemos juntos são coisas que levarei comigo para a vida inteira.

Ao Prof. Dr. Igor Pasa Wiltuschnig, pela orientação no trabalho, essencial para que o mesmo pudesse sair da teoria para a prática. Por todas as vezes em que correu junto à universidade para conseguir os equipamentos que possibilitaram a realização das medições de campo e pela visão de qual direção seguir na concepção do projeto.

A todos os colegas do Departamento de Engenharia e Arquitetura Prisional e Socioeducativa (DEAPS) da Secretaria de Sistemas Penal e Socioeducativo (SSPS) pelo acolhimento e pela parceria durante o tempo em que estive lá. Com toda certeza foi uma experiência enriquecedora e que me agregou tanto profissionalmente quanto pessoalmente.

Quando eu me for, quero fazer falta. Fazer falta não significa ser famoso. Significa ser importante. Há uma diferença entre ser famoso e importante. Muita gente não é famosa e é absolutamente importante.

Mario Sérgio Cortella

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso de auditoria energética em um estabelecimento prisional e cujo objetivo é apresentar possíveis soluções para reduzir o consumo de eletricidade e, conseqüentemente, diminuir-se os gastos anuais com energia. O contexto histórico das ações de eficiência energética no Brasil, bem como a metodologia de um diagnóstico energético, foram revisados para serem aplicados no estudo de caso proposto. Foram, então, realizados os levantamentos dos dados das cargas motrizes e medições de iluminância no local do estudo, além da obtenção das faturas de energia nos últimos 12 meses, a fim de se determinar o padrão de consumo de energia do local. Após, foi proposto um conjunto de ações a serem implementadas em quatro áreas distintas: análise tarifária, correção de fator de potência, análise da iluminação e modernização dos motores. Os resultados obtidos nos três primeiros tópicos foram positivos, com uma redução de gastos que, somados, resultam em R\$ 26.575,06 ao ano. Por outro lado, a substituição da bomba do reservatório elevado, proposta no estudo de cargas motrizes, não obteve resultados satisfatórios, possuindo um tempo de retorno de investimento de até 20 anos.

Palavras-chave: Análise de viabilidade econômica. Análise tarifária. Cargas motrizes. Eficiência energética. Estabelecimentos prisionais. Fator de potência. Iluminação.

ABSTRACT

This work presents a case study of an energy audit conducted in a prison facility, aimed at presenting possible solutions to reduce electricity consumption and, consequently, decrease annual energy expenses. The historical context of energy efficiency actions in Brazil, as well as the methodology of an energy diagnosis, were reviewed and applied in the proposed case study. Motor loads data and illuminance measurements were collected on-site, along with obtaining energy bills from the last 12 months to determine the energy consumption pattern of the building. Then, a set of actions were proposed to be implemented in four different areas: electricity contract analysis, power factor correction, lighting analysis, and engine replacement. The results obtained in the first two topics were positive, with a cost reduction of approximately R\$ 26,000 per year combined. On the other hand, the replacement of the elevated reservoir pump, proposed in the motor loads study, did not achieve satisfactory results, having a payback period of up to 20 years.

Keywords: Economic viability analysis. Electricity contract analysis. Energy efficiency. Engine loads. Lighting. Power factor. Prison facilities.

Lista de Figuras

Figura 1 – Composição da tarifa de energia elétrica	21
Figura 2 – Contribuição das parcelas nos custos da energia elétrica	22
Figura 3 – Exemplo de placa de motor de indução trifásico.	38
Figura 4 – Exemplo de histórico de consumo de energia	42
Figura 5 – Etapas do estudo de eficiência energética no PEF Madre Pelletier.	47
Figura 6 – Imagem de satélite do PEF Madre Pelletier.	48
Figura 7 – Foto da entrada principal do PEF Madre Pelletier.	48
Figura 8 – Luminária com duas lâmpadas tubulares fluorescentes no setor de revista.	55
Figura 9 – Lâmpada bulbo LED no consultório odontológico.	55
Figura 10 – Luxímetro Yokogawa 51001.	56
Figura 11 – Fatura de energia elétrica do PEF Madre Pelletier	58
Figura 12 – Demanda máxima medida por mês nos horários de ponta e fora de ponta.	59
Figura 13 – Consumo medido por mês nos horários de ponta e fora de ponta.	59
Figura 14 – Energia reativa excedente medida por mês nos horários de ponta e fora de ponta.	60
Figura 15 – Contribuição das parcelas nos gastos com energia elétrica no PEF Madre Pelletier entre fevereiro de 2022 e janeiro de 2023.	62
Figura 16 – Dados de placa da motobomba do reservatório do PEF Madre Pelletier.	79
Figura 17 – Dados de entrada do <i>software</i> WEG See+.	80
Figura 18 – Análise de retorno financeiro do <i>software</i> WEG See+.	81
Figura 19 – Motor da linha W22 da WEG.	81
Figura 20 – Declaração de sigilo de dados.	89
Figura 21 – Termo de concordância de realização do estudo de eficiência energética no PEF Madre Pelletier.	90
Figura 22 – Ficha técnica da lâmpada tubular fluorescente modelo Philips TL-D 36W/54-765 1SL/25.	91
Figura 23 – Ficha técnica da lâmpada LED modelo Philips Standard LEDBulb 9W E27 6500K W 1PF/40 BR.	94
Figura 24 – Ficha técnica da lâmpada LED modelo Philips LED TrueForce Core HB 24W E27 865 WV.	97
Figura 25 – Ficha técnica da lâmpada LED modelo Philips CorePro LEDtube 1200mm HO 18W865 C W G.	100
Figura 26 – Ficha técnica da lâmpada LED modelo Philips LED TrueForce Core HB 40W E27 865 WV.	104

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Modalidades tarifárias para consumidores do grupo A	24
Tabela 2 – Fator de depreciação do serviço da luminária (F_{dl})	33
Tabela 3 – Classificação das cores quanto às suas refletâncias	34
Tabela 4 – Visão geral das opções de medição do PIMVP.	43
Tabela 5 – Características dos ambientes da área administrativa.	49
Tabela 6 – Características dos ambientes da UBS.	51
Tabela 7 – Características dos ambientes do Setor de Revista.	53
Tabela 8 – Medidas de iluminância nos ambientes.	56
Tabela 9 – Valores medidos de demanda máxima e consumo entre fevereiro de 2022 e janeiro de 2023.	58
Tabela 10 – Valores gastos em R\$ com energia elétrica entre fevereiro de 2022 e janeiro de 2023 (parte 1).	61
Tabela 11 – Valores gastos em R\$ com energia elétrica entre fevereiro de 2022 e janeiro de 2023 (parte 2).	61
Tabela 12 – Dados de placa das cargas motrizes do PEF Madre Pelletier.	63
Tabela 13 – Tarifas da CEEE Equatorial para o subgrupo A4 nas modalidades tarifárias verde e azul, vigentes em março de 2023	64
Tabela 14 – Adicionais de bandeira tarifária da CEEE Equatorial em março de 2023.	65
Tabela 15 – Gastos de referência com a modalidade atualmente contratada.	65
Tabela 16 – Gastos obtidos com tarifa verde e demanda contratada de 56 kW.	66
Tabela 17 – Gastos obtidos com tarifa azul e demandas contratadas de 55 kW para ponta e 60 kW para fora de ponta.	66
Tabela 18 – Comparação entre os diferentes cenários de contratação de demanda.	67
Tabela 19 – Gasto e economia anuais simulados em relação aos valores de demanda contratada na modalidade tarifária verde.	67
Tabela 20 – Fator de potência calculado para cada mês.	68
Tabela 21 – Fatores multiplicadores para correção do fator de potência.	68
Tabela 22 – Índice de refletância (IR) dos ambientes do PEF Madre Pelletier.	70
Tabela 23 – Características das luminárias instaladas no cenário 1.	71
Tabela 24 – Quantidade de luminárias em cada ambiente na área administrativa para o cenário 1.	72
Tabela 25 – Quantidade de luminárias em cada ambiente na UBS para o cenário 1.	72
Tabela 26 – Quantidade de luminárias em cada ambiente no setor de revista para o cenário 1.	73
Tabela 27 – Resultados das simulações em cada ambiente para o cenário 1.	73
Tabela 28 – Características das luminárias utilizadas no cenário 2.	75

Tabela 29 – Quantidade de luminárias em cada ambiente na área administrativa para o cenário 2.	75
Tabela 30 – Quantidade de luminárias em cada ambiente na UBS para o cenário 2.	76
Tabela 31 – Quantidade de luminárias em cada ambiente no setor de revista para o cenário 2.	76
Tabela 32 – Resultados das simulações em cada ambiente para o cenário 2.	76
Tabela 33 – Características das luminárias e lâmpadas utilizadas.	78
Tabela 34 – Custos totais e anuais de cada cenário.	78
Tabela 35 – Características dos motores de 5cv da linha W22.	82
Tabela 36 – Cálculo do retorno financeiro da substituição da motobomba do reservatório (fluxo em 10 anos).	82
Tabela 37 – Economia potencial com a implementação das AEEs propostas.	83

Lista de abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEE	Ação de Eficiência Energética
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CIP	Contribuição para Custeio do serviço de Iluminação Pública
CNPCP	Conselho Nacional de Política Criminal e Penitenciária
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COSIP	Contribuição para a Iluminação Pública
DEPEN	Departamento Penitenciário Nacional
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EVO	<i>Efficiency Valuation Organization</i>
FP	Fator de Potência
HP	Horário de Ponta
HFP	Horário Fora de Ponta
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IRC	Índice de Reprodução de Cor
MIC	Ministério da Indústria e Comércio
MME	Ministério de Minas e Energia
M&V	Medição e Verificação
NBR	Norma Brasileira
PEE	Programa de Eficiência Energética

PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROPEE	Procedimento dos Programas de Eficiência Energética
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PIMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
PIS	Programa de Integração Social
REN	Resolução Normativa
SUSEPE	Superintendência dos Serviços Penitenciários
TE	Tarifa de Energia
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
VPL	Valor Presente Líquido

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO TEÓRICA E BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Energia	16
2.2	Eficiência energética	16
2.2.1	Histórico da eficiência energética no Brasil	17
2.3	Auditoria energética	18
2.4	Análise tarifária de energia elétrica	19
2.4.1	Composição da tarifa de energia	21
2.4.2	Grupos de tensão de fornecimento	22
2.4.3	Modalidades tarifárias	23
2.4.3.1	Modalidade tarifária horária verde	24
2.4.3.2	Modalidade tarifária horária azul	25
2.4.4	Bandeiras tarifárias	27
2.4.5	Multas	27
2.4.5.1	Multa por ultrapassagem de demanda	28
2.4.5.2	Multa por excedente de energia reativa	28
2.4.6	Análise de adequação da modalidade tarifária	30
2.5	Sistema de iluminação	31
2.5.1	Método dos lúmens	32
2.5.1.1	Fator de depreciação do serviço da lâmpada	32
2.5.1.2	Fator de utilização	33
2.5.1.3	Cálculo do número de luminárias	34
2.5.2	Levantamento de dados de iluminação	34
2.6	Cargas motrizes	35
2.6.1	Rendimento	35
2.6.2	Levantamento de dados	36
2.6.2.1	Levantamento por amostragem	37
2.6.2.2	Levantamento por dados de placa	37
2.6.2.3	Levantamento detalhado	38
2.6.2.4	Dados relevantes das máquinas elétricas	38
2.6.3	Análise de máquinas elétricas instaladas	39
2.7	Medição e verificação	40
2.8	Análise de viabilidade econômica	45
3	ESTUDO DE CASO	46

3.1	Metodologia	46
3.2	O Presídio Estadual Feminino Madre Pelletier	47
3.2.1	Área administrativa	49
3.2.2	Unidade Básica de Saúde (UBS)	51
3.2.3	Revista	53
3.3	Iluminação	54
3.4	Consumo de energia elétrica	57
3.5	Cargas motrizes	62
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	64
4.1	Análise tarifária	64
4.2	Correção do fator de potência	68
4.3	Sistema de iluminação	69
4.3.1	Cenário 1	71
4.3.2	Cenário 2	74
4.3.3	Análise de viabilidade econômica do sistema de iluminação	77
4.4	Cargas motrizes	79
4.4.1	Análise de viabilidade econômica das cargas motrizes	82
4.5	Economia esperada	83
5	CONCLUSÃO	84
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
	ANEXO A – TERMO DE CONCORDÂNCIA E DECLARAÇÃO DE SIGILO PARA USO DOS DADOS DO PEF MADRE PELLETIER	89
	ANEXO B – FICHAS TÉCNICAS DAS LÂMPADAS UTILIZADAS NA ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO	91

1 Introdução

A cada ano, no Brasil, a demanda por energia vem crescendo constantemente, na medida em que crescem o número de novas plantas industriais, estabelecimentos comerciais e residências, muito por conta do crescimento populacional e também do constante desenvolvimento tecnológico. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2023), o consumo de energia elétrica no Brasil aumentou 6,91% nos últimos 5 anos, com a previsão de que esse aumento seja de 3,5% ao ano até 2031. Além disso, é necessário conscientizar as pessoas sobre o consumo sustentável de energia por meio da utilização de equipamentos modernos e eficientes, bem como o uso de energias alternativas, como a eólica e a fotovoltaica. Assim, se faz necessária a análise de eficiência energética em uma unidade consumidora, que nada mais é do que a verificação das condições gerais da instalação, equipamentos, cargas e faturamento de energia, com a finalidade de propor e analisar a viabilidade da implementação de ações que possam diminuir o consumo e reduzir os gastos com energia.

Estabelecimentos prisionais são unidades consumidoras pertencentes ao grupo A de fornecimento de tensão, havendo a separação entre consumo e demanda no faturamento. Adicionalmente, estas edificações possuem um tipo de uso muito específico, sendo a segurança do local um item essencial e imprescindível. Além do mais, estas são instalações geridas pelo poder público e, por conta disso, é necessário buscar a otimização das despesas dos recursos empregados nestes espaços. Por outro lado, o uso de equipamentos de segurança, como *scanners*, aparelhos de raio-x e bloqueadores de celular, a necessidade de haver constante iluminação e ventilação dentro da unidade, e a ocupação intermitente da mesma por apenados e guardas, dificultam a análise e a proposição de ações que contribuam para a diminuição dos gastos. Essas proposições não devem, em qualquer hipótese, comprometer a segurança do prédio e de todos que o ocupam. Neste âmbito, um estudo realizado por Schaedler (2017) em três casas prisionais mostrou que apenas as adequações tarifárias destes estabelecimentos têm o potencial de gerar uma economia de aproximadamente R\$ 100.000,00 ao ano, valor este que pode aumentar se tais medidas forem aplicadas à totalidade das unidades do Estado do Rio Grande do Sul.

A proposta deste projeto de diplomação é realizar uma auditoria energética com o objetivo de identificar e analisar o padrão de consumo de energia elétrica de um estabelecimento prisional, além de determinar quais alternativas podem ser implementadas com a finalidade de economizar recursos financeiros. Para isso, foi realizado um estudo de caso no Presídio Estadual Feminino Madre Pelletier, localizado no município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Através da coleta de dados *in loco* e da obtenção das faturas de energia elétrica, o perfil de demanda no estabelecimento foi identificado e, a partir dessas

informações, foram buscadas soluções que pudessem reduzir o consumo e, conseqüentemente, os gastos necessários para manter a instalação. Tal análise foi baseada em duas motivações principais: o consumo eficiente e sustentável de energia elétrica e a redução das despesas associadas a esse consumo em prédios e instalações pertencentes ao poder público. Ao final do trabalho, serão apresentados os resultados obtidos com relação à viabilidade de implementação para cada uma das propostas de ações analisadas e o impacto financeiro que elas poderão ocasionar nas faturas de energia.

2 Revisão teórica e bibliográfica

2.1 Energia

Antes de tratarmos sobre eficiência energética, é preciso definir o que é energia. De acordo com Viana (2012), essa tarefa, porém, não é tão simples, pois decorre do fato de que seu conceito não possui uma definição muito clara, sendo muito amplo e que abrange fenômenos de naturezas muito distintas. Uma definição bastante vista em livros é a de que “energia é a medida da capacidade de efetuar trabalho”. Ela, porém, não está totalmente correta, pois é válida para descrever alguns tipos de energia como elétrica e mecânica, que são totalmente conversíveis em outras formas de energia, mas não o calor, que é apenas parcialmente conversível. De uma maneira mais correta, Maxwell descreveu em 1872: “energia é aquilo que permite uma mudança na configuração de um sistema, em oposição a uma força que resiste a esta mudança”. Isso implica dizer que qualquer processo que incite a uma mudança, seja transformar eletricidade em luz, aquecer um determinado gás ou até mesmo realizar atividades cotidianas que envolvam esforço físico gera fluxos energéticos.

Especificamente sobre a energia potencial elétrica, segundo Halliday *et al.* (2012), ela está associada a uma força eletrostática que age entre duas ou mais partículas de um sistema. Se a configuração do sistema muda de um estado inicial para um estado final, a força eletrostática exerce um trabalho sobre as referidas partículas. Basicamente, pode-se dizer que os sistemas de transmissão de energia elétrica trabalha com o transporte de partículas carregadas eletricamente entre dois pontos com potenciais distintos devido ao trabalho exercido pela força eletrostática, gerando assim a circulação de corrente até o destino proposto.

Entender o que é energia, quais os principais tipos e como podem ser utilizados é de extrema importância para saber quais as abordagens a serem utilizadas no contexto de uma análise energética em um determinado ambiente, seja ele comercial, residencial ou industrial.

2.2 Eficiência energética

Pode-se definir como eficiência energética a capacidade que um componente, aparelho, máquina ou equipamento tem de realizar uma determinada quantidade de trabalho com o mínimo de gasto energético (ELETROBRÁS, 2009). É de conhecimento geral que todo sistema destinado à conversão de energia não é perfeito, ou seja, sempre gera perdas

energéticas para o ambiente. Uma máquina elétrica, por exemplo, tem como objetivo converter energia elétrica em trabalho mecânico no caso de um motor, ou trabalho mecânico em energia elétrica no caso de um gerador. Este processo, porém, não é realizado sem que hajam perdas de energia, tais como perdas no cobre, no núcleo, perdas mecânicas e perdas suplementares (CHAPMAN, 2013). Sabendo disso, aumentar a eficiência energética de uma instalação significa reduzir as perdas nos aparelhos ligados à ela e, como consequência, reduzir o consumo de energia.

2.2.1 Histórico da eficiência energética no Brasil

Conforme Schutze (2017), após as crises do petróleo ocorridas na década de 1970, houve um grande interesse de muitos países em reduzir suas dependências dessa matéria prima e seus derivados, e a eficiência energética foi um dos caminhos encontrados para alcançar tal objetivo. No ano de 1975, ocorreu no Brasil a primeira ação nesse sentido, com o seminário sobre o tema de conservação de energia, organizado pelo Ministério de Minas e Energia.

Em 1981, foi criado o programa CONSERVE, através da portaria MIC/GM46, cujo objetivo era o de promover a conservação de energia na indústria, a partir do desenvolvimento de produtos e processos energeticamente eficientes e incentivos ao uso de fontes alternativas para reduzir a importação de energéticos. De acordo com Souza *et al.* (2011), porém, a crescente utilização de eletricidade para fins térmicos no setor industrial, incentivados pelo CONSERVE e pelo programa Eletro-termia, colocou mais pressão sobre a capacidade de oferta do setor elétrico, que na época já estava passando por uma crise financeira. Por conta disso, o programa foi extinto no ano seguinte.

Ainda segundo Schutze (2017), no ano de 1984, o Inmetro implementou o Programa de Conservação de Energia Elétrica em Eletrodomésticos, que mais tarde receberia o nome de Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), com a ideia de promover a diminuição do consumo de energia ao mostrar informações sobre eficiência energética em etiquetas nos equipamentos. Depois, no ano de 1985, o Ministério de Minas e Energia criou o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) visando combater o desperdício de energia e mobilizar a sociedade para o uso responsável e eficiente de energia. Com a sua criação, o PROCEL possibilitou o surgimento de uma série de medidas que visavam estimular a eficiência energética, incluindo em 1991 o Programa Nacional do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural (CONPET), com o objetivo de promover o uso racional de recursos naturais não renováveis.

Em meados do início dos anos 2000, o Brasil viveu uma crise de abastecimento de energia elétrica, fazendo com que medidas tivessem que ser tomadas para combater o desperdício de energia de maneira rápida e emergencial. Sendo assim, a ANEEL publicou as Resoluções Normativas nº 153, de 14 de abril de 2001, e nº 186, de 23 de maio de

2001, onde foram alterados os critérios de aplicação dos recursos em ações de combate ao desperdício de energia elétrica para o ciclo 2000/2001. Assim, as concessionárias deveriam aplicar pelo menos 0,25% da Receita Operacional Líquida (ROL) em projetos de doação de lâmpadas fluorescentes compactas a consumidores de baixo poder aquisitivo, além de no mínimo outros 0,5% em projetos de efficientização da iluminação pública (VIANA *et al.*, 2012).

Outra consequência da crise energética do início dos anos 2000 foram a criação da Lei nº 10.295/2001 (Lei de Eficiência Energética) e o Decreto nº 4.059/2001, que regulamentou a referida Lei e criou o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), responsável, dentre outras coisas, por elaborar um programa de metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado. Até o ano de 2030, o Plano Nacional de Energia (PNE) tem como meta uma economia de 10% no consumo final de energia elétrica a ser alcançada mediante o incremento da eficiência dos sistemas energéticos (VIANA *et al.*, 2012).

2.3 Auditoria energética

De acordo com (VIANA *et al.*, 2012), uma auditoria de eficiência energética pode ser dita como a análise sistemática dos fluxos de energia em um sistema particular, visando discriminar as perdas e orientar um programa de uso racional de insumos energéticos. Também é comum o uso de outros termos para essa prática, como diagnóstico energético ou análise energética, porém o termo auditoria parece ser o que é mais empregado na literatura técnica brasileira.

Segundo Santos *et al.* (2007), antes de realizar qualquer atividade, é preciso conhecer e diagnosticar a realidade energética do local, para então estabelecer as prioridades, implantar os projetos de melhoria e redução de perdas e acompanhar seus resultados em um processo contínuo. A gestão energética de uma instalação aborda as seguintes medidas:

1. Conhecimento das informações relacionadas aos fluxos de energia, as ações que influenciam estes fluxos, os processos e atividades que utilizam a energia e a relacionam com um produto ou serviço;
2. Acompanhamento dos índices de controle, como, por exemplo, consumo de energia, custos específicos, fator de utilização e os valores médios, contratados, faturados e registrados de energia;
3. Atuação nos índices com vista a reduzir o consumo energético através da implementação de ações que buscam a utilização racional de energia.

Ao final do estudo, conforme é dito por Viana (2012), como resultado destas atividades deve ser preparado o relatório da auditoria energética, o documento que sintetiza o trabalho de levantamento empreendido e deve apresentar, de forma clara, as recomendações e conclusões obtidas na análise em questão.

2.4 Análise tarifária de energia elétrica

Hoje em dia, a energia elétrica é um bem essencial para praticamente todas as atividades executadas em nossa sociedade. Para que ela chegue nas nossas residências, indústrias e comércios, existem algumas etapas pelas quais a energia passa: geração, transmissão e distribuição. Em cada uma dessas etapas, existem custos envolvidos nas operações, sendo eles repassados aos consumidores finais na forma de tarifa de energia elétrica, com preço definido por unidade de energia consumida (R\$/kWh).

Nesse contexto, o controle do consumo de energia elétrica na instalação é fundamental para evitar gastos desnecessários e desperdício. Para entender como uma auditoria energética pode intervir na questão de consumo de energia elétrica e contratação de demanda, é necessário abordar os principais conceitos sobre este assunto, assim definidos pela REN nº 1000 (ANEEL, 2021a):

- Consumidor: pessoa física ou jurídica que solicite o fornecimento do serviço à distribuidora, assumindo as obrigações decorrentes desta prestação à sua unidade consumidora;
- Demanda: média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um certo intervalo de tempo, expressa em quilovoltampere (kVA);
- Demanda contratada: demanda de potência ativa que deve ser obrigatoriamente disponibilizada pela concessionária no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência estipulados em contrato, e que deverá ser paga integralmente, independente do quanto foi consumido durante o período de faturamento, expressa em kW;
- Demanda de ultrapassagem: parcela da demanda medida que extrapola o limite de demanda contratada, expressa em kVA;
- Demanda medida: maior demanda de potência ativa injetada ou requerida do sistema elétrico de distribuição pela carga ou geração, verificada por medição e integralizada em intervalos de 15 minutos durante o período de faturamento, expressa em kVA;
- Distribuidora: Agente titular de concessão ou permissão federal para prestar o serviço público de distribuição de energia elétrica;

- **Fatura:** documento emitido pela distribuidora com a quantia monetária total a ser paga pelo consumidor e demais usuários pela prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica e por outros serviços e atividades, função que pode ser cumprida pelo documento fiscal denominado "Nota Fiscal/Conta de Energia Elétrica";
- **Horário de ponta:** período de 3 (três) horas em um dia, excetuando sábados, domingos e feriados, determinado pela concessionária de acordo com as características de seu sistema elétrico. Nesse período, o consumo de energia elétrica costuma gerar custos mais elevados;
- **Horário fora de ponta:** período que corresponde às demais 21 (vinte e uma) horas do dia que não se encaixam na definição do horário de ponta, mais as 24 horas de sábados, domingos e feriados;
- **Potência:** quantidade de energia elétrica solicitada por um equipamento ou por uma unidade consumidora em um certo período de tempo. É informada nos manuais ou no próprio corpo do equipamento, podendo ser expressa em watts (W) ou quilowatts (kW), que corresponde a mil watts;
- **Tarifa:** preço definido da unidade de energia elétrica (R\$/kWh) e/ou da demanda de potência ativa (R\$/kW), base para definição do preço a ser pago pelo consumidor e explicitado na fatura de energia elétrica. Possui duas parcelas: a Tarifa de Energia (TE) e a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD);
- **Tarifa de energia (TE):** valor monetário unitário determinado pela ANEEL, em R\$/kWh, utilizado para efetuar o faturamento mensal referente ao consumo de energia;
- **Tarifa binômia:** conjunto de tarifas de fornecimento aplicável ao consumo de energia elétrica ativa (kWh) e à demanda faturável (kW). Ela é aplicada a consumidores do grupo A e a alguns consumidores do grupo B, no caso de tarifa branca;
- **Tarifa monômia:** é o conjunto de tarifas de fornecimento aplicáveis apenas sobre o consumo de energia elétrica (kWh), contemplando consumidores do grupo B;
- **Tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD):** valor monetário unitário determinado pela ANEEL, em R\$/kWh ou em R\$/kW, utilizado para efetuar o faturamento mensal de usuários do sistema de distribuição de energia elétrica pelo uso do sistema.

2.4.1 Composição da tarifa de energia

A tarifação da energia elétrica existe para que as distribuidoras possam fornecer energia elétrica com qualidade. Nela são considerados três custos distintos, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Composição da tarifa de energia elétrica



Fonte: adaptado de ANEEL (2016).

Cabe à ANEEL garantir aos consumidores o pagamento de uma tarifa justa pela energia fornecida e, ao mesmo tempo, manter o equilíbrio econômico-financeiro das concessionárias, preservando a qualidade de prestação do serviço de fornecimento de energia elétrica. Para tanto, no cálculo da tarifa, devem estar inclusos os custos da distribuidora. O setor em questão é composto de dois segmentos: a transmissão, que entrega a energia à distribuidora; e a distribuição, onde a distribuidora repassa a energia às unidades consumidoras. Os tributos e os encargos setoriais são instituídos por lei. Alguns incidem sobre a distribuição, enquanto que outros estão inclusos nos custos de geração e de transmissão (ANEEL, 2022).

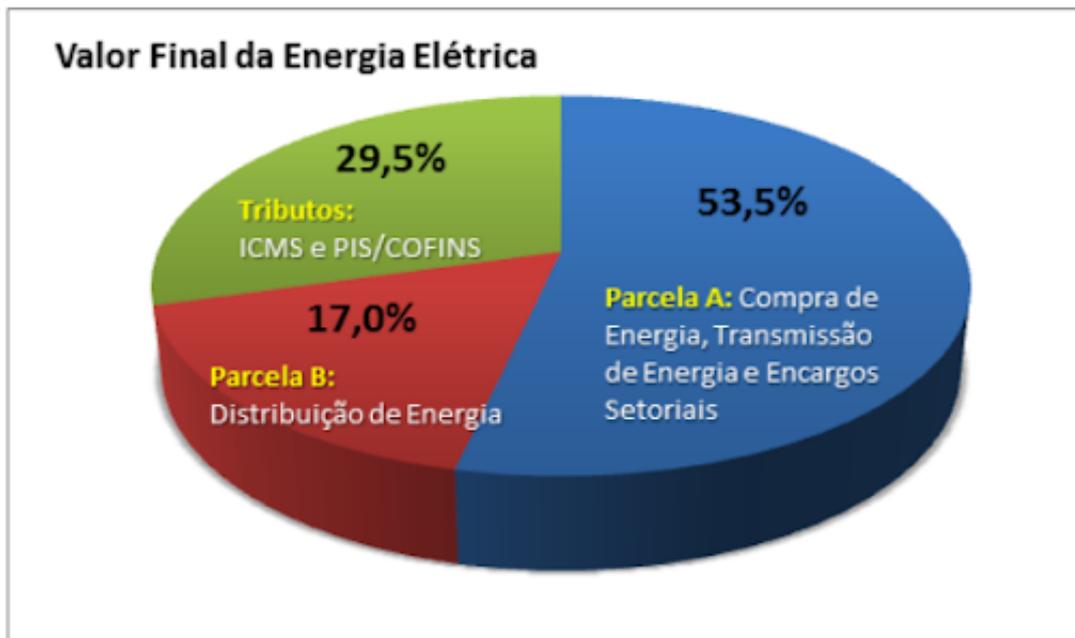
Além da tarifa, os Governos Federal, Estadual e Municipal cobram na conta de luz o Programa de Integração Social (PIS) e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) a nível federal, o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) a nível estadual e a Contribuição para Iluminação Pública (COSIP) a nível municipal. A partir do dia 01 de maio de 2021, o cálculo dos tributos se dá conforme a Equação 1 (CEEE-D, 2023):

$$\text{valor a ser cobrado} = \frac{\text{Preço homologado (R\$)}}{1 - (\text{PIS}(\%) + \text{COFINS}(\%))} \times \text{ICMS}(\%) \quad (1)$$

O imposto CIP (Contribuição para Custeio do serviço de Iluminação Pública) é um tributo municipal que incide separadamente no cálculo do valor a ser cobrado, estando cada município responsável por aprovar uma lei específica que dispõe sobre a forma de cobrança e a base de cálculo do imposto.

A Figura 2 apresenta o quanto cada parcela do custo da energia elétrica representa perante o total.

Figura 2 – Contribuição das parcelas nos custos da energia elétrica



Fonte: ANEEL (2016).

Nota-se que a maior parcela da tarifa de energia refere-se à compra de energia, transmissão e encargos setoriais, representando mais da metade dos custos repassados aos consumidores finais. Na sequência, aproximadamente 30% do total corresponde aos tributos incidentes, como ICMS, PIS/PASEP e COFINS. Por fim, representando 17% do montante global, estão os custos referentes à manutenção do sistema de distribuição da concessionária.

2.4.2 Grupos de tensão de fornecimento

A REN nº 1000 da ANEEL (2021a) divide as unidades consumidoras em dois grandes grupos de acordo com sua tensão de fornecimento. Cada um destes grupos possui suas próprias modalidades tarifárias e valores de tarifas.

O grupo A é formado por unidades consumidoras que possuem tensão de fornecimento igual ou superior a 2,3 kV, ou que sejam atendidas por sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, sendo aplicadas a este grupo as modalidades tarifárias binômias do tipo horária azul e horária verde. Está dividido nos seguintes subgrupos:

- A1: tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- A2: tensão de fornecimento entre 88 kV e 138 kV;

- A3: tensão de fornecimento de 69 kV;
- A3a: tensão de fornecimento de 30 a 44 kV;
- A4: tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV;
- AS: tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

Já o grupo B é formado por unidades consumidoras com fornecimento de tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pelas tarifas monômnia e horária branca, e está dividido nos seguintes subgrupos:

- B1: residencial;
- B2: rural;
- B3: demais classes;
- B4: iluminação pública.

Prédios públicos que se encaixam no grupo A de tensão de fornecimento costumam estar inseridos no subgrupo A4. Este é o caso da maioria das instituições prisionais, por serem edificações que ocupam áreas consideráveis de seus terrenos e também devido à quantidade de carga instalada e potência demandada. Essas características fazem com que seja necessário o projeto de subestação própria e obriga o fornecimento de energia elétrica a ser feito em tensão primária pela concessionária.

2.4.3 Modalidades tarifárias

A estrutura tarifária é um conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potências ativas, e variam de acordo com o grupo no qual a unidade consumidora está inserida (PROCEL, 2011). Para o grupo A, as tarifas constituem em duas modalidades distintas: modalidade tarifária horária verde e modalidade tarifária horária azul. Já para o grupo B, as modalidades são: modalidade tarifária convencional monômnia e modalidade tarifária horária branca.

Como este projeto está tratando de estabelecimentos que se encaixam no grupo A, será dado enfoque a este grupo. A Tabela 1 mostra de forma resumida como são compostas as modalidades tarifárias para consumidores do grupo A.

Tabela 1 – Modalidades tarifárias para consumidores do grupo A

	Horária Verde	Horária Azul
Demanda (kW)	Preço único	Preço p/ ponta Preço p/ fora de ponta
Consumo (kWh)	Preço p/ ponta Preço p/ fora de ponta	Preço p/ ponta Preço p/ fora de ponta

Fonte: adaptado de Lucktmeier (2020).

As características de ambas modalidades tarifárias estão detalhadas nas subsecções a seguir.

2.4.3.1 Modalidade tarifária horária verde

A modalidade tarifária horária verde é opção de enquadramento somente para as unidades consumidoras do grupo A, subgrupos A3a, A4 e AS. Aqui, o consumidor contrata, junto à concessionária, a demanda pretendida, independente da hora do dia (ponta ou fora de ponta). Para esse caso, a fatura de energia elétrica será composta pela soma das parcelas referentes a consumo, demanda e ultrapassagem, mais eventual adicional corresponde às bandeiras tarifárias, que será abordado na seção 2.4.4.

A parcela do consumo é calculada através da Equação 2:

$$C_{verde} = T_{cp,verde} \times C_p + T_{cf,verde} \times C_f \quad (2)$$

- C_{verde} : parcela de consumo na modalidade verde, em kWh;
- $T_{cp,verde}$: tarifa de consumo no horário de ponta na modalidade verde, em R\$;
- $T_{cf,verde}$: tarifa de consumo no horário fora de ponta na modalidade verde, em R\$;
- C_p : consumo no horário de ponta, em kWh;
- C_f : consumo no horário fora de ponta, em kWh.

Importante ressaltar que durante o período seco (maio até novembro), as tarifas de consumo, tanto de ponta como fora de ponta, ficam mais caras do que no restante do ano.

A parcela da demanda é obtida multiplicando-se a tarifa de demanda pelo maior valor entre a demanda contratada e a demanda máxima medida durante o período de faturamento, caso essa última não ultrapasse uma tolerância de 10% com relação à demanda contratada, tal qual está descrito pela Equação 3. Ao contrário das tarifas de consumo, as tarifas de demanda não se alteram ao longo do ano.

$$D_{verde} = T_{d,verde} \times \max(D_{contr}, D_{med}) \quad (3)$$

- D_{verde} : parcela da demanda na modalidade verde, em kW;
- $T_{d,verde}$: tarifa de demanda na modalidade verde, em R\$;
- D_{contr} : demanda contratada, em kW;
- D_{med} : demanda máxima medida no período de faturamento, em kW.

Caso a demanda máxima medida no período de faturamento exceder a tolerância de 10% com relação à demanda contratada, é cobrada uma multa por ultrapassagem de demanda. A parcela referente a essa multa definida pela multiplicação da tarifa de ultrapassagem pela diferença entre as demandas máxima medida e a contratada. Conforme a Tabela de Tarifas do Grupo A (CEEE-D, 2023), a tarifa de ultrapassagem equivale a duas vezes ao valor da tarifa de demanda usual. A parcela de ultrapassagem é calculada conforme a Equação 4.

$$U_{verde} = T_{u,verde} \times (D_{med} - D_{contr}) \quad (4)$$

- U_{verde} : parcela de ultrapassagem, em kW;
- T_u : tarifa de ultrapassagem, em R\$;
- D_{med} : demanda máxima medida no período de faturamento, em kW;
- D_{contr} : demanda contratada, em kW.

2.4.3.2 Modalidade tarifária horária azul

A modalidade tarifária horária azul é obrigatória para os consumidores que se encaixam nos subgrupos A1, A2 e A3, e opcional para aqueles pertencentes aos subgrupos A3a, A4 e AS. Neste caso, é necessário que haja um contrato com a concessionária onde esteja acordado tanto o valor de demanda contratada para o horário de ponta quanto para o horário fora de ponta. Tal qual as duas modalidades anteriores, a fatura de energia elétrica será composta pela soma das parcelas referentes ao consumo, demanda e, caso exista, ultrapassagem, além de eventual adicional de bandeiras tarifárias. O que muda é a necessidade de se diferenciar as horas de ponta e fora de ponta em todas as parcelas.

A parcela de consumo é calculada de forma semelhante que na modalidade tarifária verde, e da mesma forma, as tarifas de consumo nos meses secos são maiores do que nos meses úmidos. Está descrita conforme a Equação 5.

$$C_{azul} = T_{cp,azul} \times C_p + T_{cf,azul} \times C_f \quad (5)$$

- C_{azul} : parcela de consumo na modalidade azul, em kWh;
- $T_{cp,azul}$: tarifa de consumo no horário de ponta na modalidade azul, em R\$;
- $T_{cf,azul}$: tarifa de consumo no horário fora de ponta na modalidade azul, em R\$;
- C_p : consumo no horário de ponta, em kWh;
- C_f : consumo no horário fora de ponta, em kWh.

A parcela da demanda é dada de acordo com a Equação 6, lembrando que o valor de demanda utilizada no cálculo será o maior entre a contratada e a máxima medida no período de faturamento, caso essa se mantenha dentro dos limites de tolerância: 5% para consumidores dos subgrupos A1, A2 e A3, e 10% para os consumidores dos subgrupos A3a, A4 e AS.

$$D_{azul} = T_{dp,azul} \times \max(D_{contr,p}, D_{med,p}) + T_{df,azul} \times \max(D_{contr,f}, D_{med,f}) \quad (6)$$

- D_{azul} : parcela de demanda na modalidade azul, em kW;
- $T_{dp,azul}$: tarifa de demanda no horário de ponta na modalidade azul, em R\$;
- $T_{df,azul}$: tarifa de demanda no horário fora de ponta na modalidade azul, em R\$;
- $D_{med,p}$: demanda máxima medida no horário de ponta no período de faturamento, em kW;
- $D_{med,f}$: demanda máxima medida no horário fora de ponta no período de faturamento, em kW;
- $D_{contr,p}$: demanda contratada no horário de ponta, em kWh;
- $D_{contr,f}$: demanda contratada no horário fora de ponta, em kW.

A parcela de ultrapassagem é cobrada quando a demanda máxima medida no período de faturamento ultrapassa a demanda contratada acima das tolerâncias relativas aos subgrupos, indicadas anteriormente. Da mesma forma que na modalidade verde, as tarifas de ultrapassagem na modalidade azul equivalem a duas vezes as tarifas de demandas usuais. Calcula-se esta parcela conforme a Equação 7:

$$U_{azul} = T_{up,azul} \times (D_{med,p} - D_{cont,p}) + T_{uf,azul} \times (D_{med,f} - D_{cont,f}) \quad (7)$$

- U_{azul} : parcela de ultrapassagem, em kW;

- $T_{up,azul}$: tarifa de ultrapassagem no horário de ponta na modalidade azul, em R\$;
- $T_{uf,azul}$: tarifa de ultrapassagem no horário fora de ponta na modalidade azul, em R\$;
- $D_{med,p}$: demanda máxima medida no horário de ponta no período de faturamento, em kW;
- $D_{med,f}$: demanda máxima medida no horário fora de ponta no período de faturamento, em kW;
- $D_{cont,p}$: demanda contratada no horário de ponta, em kW;
- $D_{cont,f}$: demanda contratada no horário fora de ponta, em kW.

2.4.4 Bandeiras tarifárias

Desde 2015, adota-se nas contas de energia elétrica o sistema de bandeira tarifária, contendo as seguintes cores: verde, amarela e vermelha. Cada uma dessas cores representa a situação relativa aos custos de geração de energia elétrica e indicam se haverá ou não acréscimo na conta de energia paga pelo consumidor. Todos os consumidores cativos das distribuidoras serão faturados pelo Sistema de Bandeiras Tarifárias, havendo exceções para aqueles que estejam localizados em sistemas isolados. O estado de Roraima, por exemplo, não está integrado ao SIN (Sistema Interligado Nacional) e, portanto, não está atendido pelas bandeiras tarifárias (ANEEL, 2015).

- bandeira verde: a bandeira verde representa condições favoráveis à geração de energia, e não vem acompanhada de acréscimo na fatura de energia;
- bandeira amarela: a bandeira amarela representa condições menos favoráveis à geração de energia;
- bandeira vermelha patamar 1: a bandeira vermelha indica condições mais custosas de geração;
- bandeira vermelha patamar 2: é o último patamar de bandeiras e indica condições ainda mais custosas de geração.

2.4.5 Multas

A REN nº 1000/2021 da ANEEL estabelece multas devido ao uso inadequado de energia elétrica. Nesta categoria estão incluídos a ultrapassagem de demanda contratada e o excedente de energia reativa.

2.4.5.1 Multa por ultrapassagem de demanda

Quando as medições dos montantes de demanda de potência ativa ou de uso do sistema de distribuição (MUSD) excederem um limite de tolerância dos valores contratados pelo consumidor, será realizada a cobrança por ultrapassagem de demanda. Esta espécie de multa já foi abordada na seção anterior, e seu cálculo se dá conforme às Equações 4 e 7, a depender da modalidade contratada pelo cliente.

2.4.5.2 Multa por excedente de energia reativa

A energia elétrica pode ser dividida em duas componentes: a energia ativa, expressa em quilowatts (kW), sendo a parcela responsável pela realização de tarefas, como trabalhos mecânicos; e a energia reativa, expressa em quilovolt-ampère reativo (kVAr), responsável pelo surgimento de campos magnéticos necessários para o funcionamento de determinados aparelhos, como motores, geladeiras, reatores de lâmpadas, dentre outros. A soma dessas duas componentes resulta no que se conhece como potência aparente, expressa em quilovolt-ampère (kVA). A relação entre a potência ativa e a potência aparente é o que se denomina como fator de potência.

As cargas que porventura gerem alguma alteração no fator de potência de uma instalação são costumeiramente indutivas. O artigo 302 da REN nº 1000 da ANEEL (2021a) estabelece como limite permitido para o fator de potência de referência (fR), indutivo ou capacitivo, o valor de 0,92. Como medida de correção, a solução mais comum de ser implementada nas instalações é instalar um banco de capacitores que compense a energia reativa dos equipamentos.

Calcula-se o fator de potência médio em um período de faturamento utilizando a Equação 8.

$$FP = \frac{E_A}{\sqrt{E_A^2 + E_R^2}} \quad (8)$$

- FP : fator de potência;
- E_A : consumo de energia ativa total em um período de faturamento, em kWh;
- E_{RE} : consumo energia reativa total medida em um período de faturamento, em kVArh.

Caso a única informação disponível na fatura seja a energia reativa excedente no período de faturamento, utiliza-se a Equação 8 com algumas alterações a fim de adequá-la aos parâmetros obtidos. Pode-se considerar que a energia reativa total consumida pela instalação no período em questão é descrita conforme a Equação 9.

$$E_{R,total} = E_{0,92} + E_{RE} \quad (9)$$

$$E_{0,92} = E_A \times \tan(\arccos 0,92) + E_{RE} \quad (10)$$

- $E_{R,total}$: energia reativa total medida em um período de faturamento, em kVArh;
- $E_{0,92}$: energia reativa não excedente calculada com base em um fator de potência de 0,92, em kVArh.
- E_{RE} : energia reativa excedente total medida em um período de faturamento, em kVArh.

Assim, reescrevendo as Equações 9 e 10 na Equação 8, obtém-se a expressão para se calcular o fator de potência com base no consumo de energia ativa e no excedente de energia reativa, conforme mostrado em 11.

$$FP = \frac{E_A}{\sqrt{E_A^2 + [E_A \times \tan(\arccos 0,92) + E_{RE}]^2}} \quad (11)$$

- E_A : consumo de energia total em um período de faturamento, em kWh;
- E_{RE} : energia reativa excedente total medida em um período de faturamento, em kVArh.

Caso o valor de fator de potência medido esteja abaixo do mínimo permitido, a concessionária deverá realizar a cobrança referente aos montantes de energia elétrica e demanda de potência reativa excedente de acordo com as Equações 12 e 13:

$$E_{RE} = \sum_{T=1}^n [EEAM_T \times (\frac{f_R}{f_T} - 1)] \times VR_{ERE} \quad (12)$$

- E_{RE} : valor correspondente à energia elétrica reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência “fR”, no período de faturamento, em R\$;
- $EEAM_T$: montante de energia elétrica ativa medida em cada intervalo T de 1 (uma) hora, durante o período de faturamento, em megawatt-hora (MWh);
- f_R : fator de potência de referência igual a 0,92;
- f_T : fator de potência da unidade consumidora, calculado em cada intervalo T de 1 (uma) hora, durante o período de faturamento;

- VR_{ERE} : valor de referência equivalente à tarifa de energia "TE" da bandeira verde aplicável ao subgrupo B1, em reais por megawatt-hora (R\$/MWh);
- T : intervalo de 1 (uma) hora, no período do faturamento;
- n : número de intervalos de integralização T do período de faturamento para os postos tarifários ponta e fora de ponta;

$$D_{RE} = [MAX_{T=1}^n(PAM_T \times \frac{f_R}{f_T} - PAF(p))] \times VR_{DRE} \quad (13)$$

- D_{RE} : valor, por posto tarifário "p", correspondente à demanda de potência reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência "fR" no período de faturamento, em R\$;
- PAM_T : demanda de potência ativa medida no intervalo de integralização T de 1 (uma) hora, durante o período de faturamento, em kW;
- $PAF(p)$: demanda de potência ativa faturável, em cada posto tarifário "p" no período de faturamento, em kW;
- VR_{DRE} : valor de referência, em Reais por quilowatt (R\$/kW), equivalente às tarifas de demanda de potência - para o posto tarifário fora de ponta - das tarifas de fornecimento aplicáveis aos subgrupos do grupo A para a modalidade tarifária horária azul. Conforme (CEEE-D, 2023), esse valor é de 0,27844;
- MAX : função que identifica o valor máximo da equação, dentro dos parênteses correspondentes, em cada posto tarifário "p";
- p : posto tarifário ponta ou fora de ponta para as modalidades tarifárias horárias ou período de faturamento para a modalidade tarifária convencional binômia;
- n : número de intervalos de integralização T , por posto tarifário "p", no período de faturamento.

2.4.6 Análise de adequação da modalidade tarifária

Para que se possa realizar a análise sobre qual modalidade tarifária melhor se encaixa para a unidade consumidora, é preciso estudar o consumo de energia elétrica no local durante um certo período de tempo - o ideal é que sejam verificados os últimos 12 (doze) meses, pois assim tem-se uma noção melhor desse consumo em relação às diferentes condições para cada período do ano. Além disso, o consumo também varia ao longo do dia, conforme a demanda por energia aumenta e diminui na instalação. Por isso, é interessante obter junto à concessionária a memória de massa, que nos fornece o perfil de consumo

de energia elétrica da instalação, incluindo os horários de maior consumo e como eles se relacionam com os horários de ponta e fora de ponta determinados pela concessionária, ou então instalar equipamentos de medição adequados que registrarão esse padrão de consumo.

De acordo com Schaedler (2017), os perfis de consumo de energia elétrica em estabelecimentos prisionais de regime fechado descrevem um funcionamento semelhante, com três picos de demanda. Estes picos se situam por volta das 7 horas, 12 horas e 20 horas. Em dias de visitas, esse perfil permanece o mesmo, notando-se apenas um aumento de demanda nesses mesmos horários.

2.5 Sistema de iluminação

Com a finalidade de fazer com que as pessoas possam desempenhar tarefas em seus espaços de trabalho com conforto e segurança, é necessário que haja uma iluminação adequada a fim de que esse objetivo seja atingido. Para tanto, a norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013 estabelece uma iluminância mínima de acordo com o local de trabalho e o tipo de atividade a ser exercida neste local.

Para entendermos os conceitos que envolvem o cálculo luminotécnico, abaixo estão descritos alguns conceitos fundamentais de acordo com Mamede (2017):

- Luz: fonte de radiação que emite ondas eletromagnéticas em diferentes comprimentos. O ser humano, porém, só consegue enxergar determinados comprimentos de onda dentro de uma determinada faixa do espectro conhecida como luz visível. Radiações com menor comprimento de onda, como violeta e azul, intensificam a sensação luminosa do olho humano quando o ambiente é iluminado com pouca luz, tal qual no fim de tarde e à noite. Por outro lado, radiações com maior comprimento de onda, como laranja e vermelho, tendem a minimizar a sensação luminosa do olho humano quando o ambiente é iluminado com muita luz;
- Iluminância: razão entre fluxo luminoso incidente em uma determinada área de superfície, quando esta tende a zero. É importante notar que o fluxo luminoso não é constante ao longo da superfície, o que resulta em iluminâncias diferentes. Por isso, costuma-se considerar o fluxo luminoso médio na prática. A iluminância é expressa em lux;
- Fluxo luminoso: quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa em todas as direções do espaço, através de uma abertura de 1 m^2 feita na superfície de uma esfera de 1 m de raio por uma fonte luminosa de intensidade igual a 1 candela (cd), posicionada em seu interior no centro. Sua unidade de medida é o lúmen (lm);

Ainda segundo Mamede (2017), podem ser utilizados três métodos de cálculo para a determinação do iluminamento dos diversos ambientes de trabalho:

- método dos lúmens;
- método das cavidades sazonais;
- método do ponto por ponto.

O primeiro é considerado como sendo o mais simples, porém gera resultados com menor precisão. O segundo é mais preciso, porém mais complexo. Já o terceiro método, também conhecido como método das intensidades luminosas, permite calcular o iluminamento em qualquer ponto da superfície de trabalho a partir do iluminamento individual dos aparelhos, o que o torna ainda mais complexo que os anteriores.

2.5.1 Método dos lúmens

O método dos lúmens consiste em determinar o fluxo luminoso necessário para se obter uma iluminância média desejada no plano de trabalho (MAMEDE, 2017). Ele pode ser calculado através da Equação 14:

$$\Phi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} \quad (14)$$

- Φ_t : fluxo total a ser emitido pelas lâmpadas, em lumens;
- E : iluminância média requerida pelo ambiente a iluminar, em lux;
- S : área do recinto, em m^2 ;
- F_{dl} : fator de depreciação do serviço da luminária;
- F_u : fator de utilização do recinto.

2.5.1.1 Fator de depreciação do serviço da lâmpada

Também conhecido como fator de manutenção, esse fator mede a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma luminária no fim de sua vida útil com o fluxo emitido no início de sua operação. É importante denotar essa relação pois as lâmpadas, assim como todos os equipamentos elétricos, vão perdendo desempenho ao longo do seu tempo de uso, seja por uma redução natural do fluxo luminoso, seja por sujeira acumulada na superfície da lâmpada, dentre outros fatores. A Tabela 2 mostra o fator de depreciação do serviço para diferentes tipos de luminárias.

Tabela 2 – Fator de depreciação do serviço da luminária (F_{dl})

Tipo de aparelho	F_{dl}
Aparelhos para embutir lâmpadas incandescentes	0,85
Aparelhos para embutir lâmpadas refletores	
Calha aberta e chanfrada	0,80
Refletor industrial para lâmpadas incandescentes	
Luminária comercial	0,75
Luminária ampla utilizada em linhas contínuas	
Refletor parabólico para 2 lâmpadas incandescentes	0,70
Refletor industrial para lâmpada VM	
Aparelho para lâmpada incandescente para iluminação indireta	
Luminária industrial tipo Miller	
Luminária com difusor de acrílico	
Globo de vidro fechado para lâmpada incandescente	
Refletor com difusor plástico	
Luminária comercial para lâmpadas <i>high output</i> com colmeia	0,60
Luminária para lâmpada fluorescente para iluminação indireta	

Fonte: adaptado de Mamede (2017).

2.5.1.2 Fator de utilização

O fator de utilização do recinto é a relação entre o fluxo luminoso que chega ao plano de trabalho e o fluxo total emitido pela lâmpada. Ele depende das dimensões do ambiente, do tipo de luminária, da pintura das paredes e do índice do recinto (K), que é calculado conforme a Equação 15:

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)} \quad (15)$$

- K : índice do recinto;
- A : comprimento do recinto, em m ;
- B : largura do recinto, em m ;
- H_{lp} : altura da fonte de luz sobre o plano de trabalho, em m .

Na Tabela 3, seguem valores das refletâncias médias de acordo com as cores utilizadas:

De posse do índice do recinto K e das refletâncias do teto, das paredes e do piso, consegue-se encontrar o valor do fator de utilização nos catálogos dos fabricantes de luminárias.

Tabela 3 – Classificação das cores quanto às suas refletâncias

Cor	Refletância (%)
Branco teórico	100
Branco de cal	80
Amarelo	70
Amarelo limão	65
Verde limão	
Amarelo ouro	60
Rosa	
Laranja	
Azul claro	50
Azul celeste	
Cinza neutro	30
Verde oliva	25
Vermelho	17
Azul turquesa	15
Carmin	10
Violeta	5
Preto teórico	0

Fonte: adaptado de Pereira (2014).

2.5.1.3 Cálculo do número de luminárias

Pode-se, enfim, calcular o número de luminárias em um ambiente utilizando a Equação 16:

$$N_{lu} = \frac{\Psi_t}{N_{la} \times \Psi_l} \quad (16)$$

- N_{lu} : número de luminárias no ambiente;
- Ψ_t : fluxo luminoso total, em lm , calculado conforme a Equação 14;
- N_{la} : número de lâmpadas por luminária;
- Ψ_l : fluxo luminoso por lâmpada, em lm . Esta informação é fornecida pelos fabricantes das lâmpadas.

2.5.2 Levantamento de dados de iluminação

Um sistema de iluminação é formado por todos os equipamentos elétricos necessários para que um determinado ambiente seja iluminado adequadamente. São eles: lâmpadas, luminárias, interruptor, conexões elétricas (fios), reatores e as características do próprio ambiente, como cor do piso, das paredes e do teto, além da quantidade de iluminação natural presente no local. Além disso, é necessário saber que tipo de atividade é realizada

no local para se determinar a quantidade de iluminação necessária para a sua execução. Isso está definido na seção 5 da norma NBR ISO/CIE 8995-1, de 2013 (ABNT, 2013).

Segundo Eletrobrás (2009), os dados dos equipamentos usados na iluminação podem ser obtidos em uma visita de campo ou através de dados salvos em arquivos. Para uma análise adequada, é necessário que sejam obtidos as seguintes informações:

- potência consumida: anota-se as potências de cada uma das lâmpadas e de cada ambiente, bem como também as potências dos reatores para o caso de lâmpadas de descarga (fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio);
- horas de funcionamento: verifica-se a quantidade de horas que as lâmpadas permanecem ligadas durante o dia em cada ambiente, a fim de se determinar qual a contribuição do uso da iluminação no consumo total de energia do local;
- período de funcionamento: é interessante saber se a iluminação permanece ligada mais no horário de ponta ou fora de ponta, pois assim determina-se como as lâmpadas colaboram com a demanda global da empresa.

2.6 Cargas motrizes

De acordo com Chapman (2013), as cargas motrizes, ou máquinas elétricas, são dispositivos que podem converter tanto a energia mecânica em energia elétrica como a energia elétrica em energia mecânica. Quando tais dispositivos são usados para converter energia mecânica em energia elétrica, eles são denominados geradores, e quando convertem energia elétrica em energia mecânica, são conhecidos como motores. Podem ainda ser equipamentos monofásicos ou trifásicos, dependendo do tipo de instalação em que se encontram ou da aplicação, já que máquinas trifásicas possuem, em geral, rendimento maior que máquinas monofásicas.

2.6.1 Rendimento

Sabe-se que independente da utilização, seja como motor ou como gerador, as máquinas elétricas não conseguem transformar 100% da potência de um lado em algo útil do outro, havendo sempre perdas no meio do processo. Segundo Chapman (2013), o rendimento de uma máquina elétrica pode ser definido pela Equação 17:

$$\eta_{\%} = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} \times 100\% \quad (17)$$

- $\eta_{\%}$: rendimento percentual da máquina;
- $P_{saída}$: potência que o equipamento fornece na saída;

- $P_{entrada}$: potência que é injetada no equipamento.

Sabendo que o rendimento nunca será 100%, temos que no meio do caminho haverá perdas. Tais perdas podem ser descritas em termos da diferença entre a potência de entrada pela potência de saída. Assim, podemos reescrever a Equação 17 da seguinte forma:

$$\eta\% = \frac{P_{entrada} - P_{perdas}}{P_{entrada}} \times 100\% \quad (18)$$

- $\eta\%$: rendimento percentual da máquina;
- $P_{entrada}$: potência que é injetada no equipamento;
- P_{perdas} : perdas associadas ao funcionamento do equipamento.

Os tipos de perda que podem ocorrer numa máquina elétrica são os seguintes:

- perdas elétricas, também conhecidas como perdas no cobre;
- perdas no núcleo;
- perdas mecânicas;
- perdas suplementares.

2.6.2 Levantamento de dados

De acordo com Eletrobrás (2009), antes de realizar esse levantamento, é importante que seja feita uma análise dos sistemas motrizes acionados pelos motores presentes na instalação, pois toda deficiência e mau funcionamento destes sistemas pode confundir e induzir ao erro sobre a origem da ineficiência energética.

Para bombas, é importante que se verifique:

- se as bombas estão projetadas corretamente;
- carga, vazão, tubulação e altura do sistema;
- a existência de plano de manutenção preventiva e se o mesmo está sendo realizado.

Para compressores, é necessário que se veja:

- se estão instalados em locais limpos e ventilado, e se estão localizados próximo ao local de uso;

- se não existem curvas bruscas na instalação;
- se a lubrificação das partes móveis está adequada;
- se as correias estão devidamente esticadas, conforme orientação do fabricante;
- a existência de plano de manutenção preventiva e se está sendo executado.

Já para os acionamentos, é interessante verificar:

- o alinhamento dos eixos, pois no caso de estarem desalinhados, isso poderá causar desgaste, diminuir a vida útil e também reduzir a eficiência do conjunto acoplamento-componente;
- se o redutor foi bem planejado e se está adequadamente instalado;
- a lubrificação, com o objetivo de se reduzir o atrito entre as peças.

Após essa verificação, pode-se providenciar os levantamentos necessários para a devida análise energética. De acordo com Eletrobrás (2009), dependendo do grau de precisão que se deseja atingir, existem três maneiras diferentes de se realizar esse levantamento: por amostragem; por dados de placa; detalhado.

2.6.2.1 Levantamento por amostragem

O levantamento por amostragem é aplicável em instalações que possuem diversas máquinas com a mesma especificação e desempenhando a mesma tarefa. Neste caso, se escolhe apenas alguns motores para serem realizadas as medições em campo. Esses valores são então considerados válidos para todos os exemplares. É necessário também ver se as máquinas desempenhando tarefas semelhantes possuem a mesma potência, ou então esse tipo de abordagem não poderá ser utilizada.

2.6.2.2 Levantamento por dados de placa

O levantamento por dados de placa consiste em reunir as especificações de todos os motores da instalação, seja numa visita de campo ou através de dados de arquivos. Nesse caso, considera-se que as máquinas operam em condições nominais.

Esse método consiste numa boa opção para uma análise preliminar das instalações, e não exige que haja medições em campo.

Figura 3 – Exemplo de placa de motor de indução trifásico.



Fonte: o autor (2023)

2.6.2.3 Levantamento detalhado

Em um levantamento detalhado, exige-se não só o conhecimento dos dados de placa das máquinas, como também que sejam feitas medições de todos os motores instalados em suas condições de operação.

Esse método demanda mais tempo para ser executado, porém resulta em dados mais precisos e confiáveis para a realização do diagnóstico energético

2.6.2.4 Dados relevantes das máquinas elétricas

Em um levantamento de campo, nem todo dado coletado poderá ser útil para a análise energética. Assim, é preciso ter a noção de quais são as informações realmente relevantes para se reduzir o tempo de serviço e, ainda assim, manter um nível de confiança no diagnóstico. Com relação a motores e geradores, os seguintes dados são considerados os mais importantes, e devem ser coletados com cuidado a fim de se evitar um diagnóstico de baixa qualidade:

- dados construtivos: forma como o motor/gerador está construído: posição da montagem (vertical ou horizontal), posição em relação ao eixo, local de fixação. Essas informações não interferem na análise energética, mas podem ser úteis no caso de substituição por um equipamento mais novo ou de especificações diferentes;
- dados de medições elétricas e mecânicas: essas medições precisam ser coletadas quando o motor estiver operando com sua carga máxima, evitando a obtenção de

dados que não condizem com a realidade. Podem ser feitas com amperímetro tipo alicate, wattímetro, tacômetro e analisadores de energia;

- dados de placa: as informações mais importantes a serem obtidas das placas dos motores/geradores: fabricante, modelo, potência nominal, tensões nominais, correntes nominais, velocidade de rotação nominal, fator de potência nominal, rendimento nominal, categoria, corrente de partida, fator de serviço, número de fases, frequência nominal, diagrama das ligações, temperatura ambiente máxima;
- dados de carga acionada: informações sobre o tipo de carga que está sendo acionada pelo motor, a potência necessária para o seu acionamento (constante, variável, intermitente, etc.). É importante pois pode-se determinar se o motor está corretamente dimensionado para a operação em questão (lembrando que tanto o subdimensionamento quanto o sobredimensionamento é prejudicial);
- horas de funcionamento: essa informação é difícil de ser medida diretamente, mas pode ser obtida através do pessoal e operação e manutenção do equipamento;
- período de funcionamento: a quantidade de horas de funcionamento pode omitir informações importantes quanto à utilização do equipamento, como o período do dia em que é utilizado (horário de ponta ou fora de ponta), dias da semana em que é mais utilizado, entre outros;
- potência fornecida pelo motor: por mais que a potência nominal seja fornecida nos dados de placa, isso não significa que ela será a potência em operação. Para isso, pode-se obtê-la através de um wattímetro, ou conhecendo-se a corrente nas fases e o fator de potência.

2.6.3 Análise de máquinas elétricas instaladas

Os motores não conseguem transformar toda a potência elétrica injetada nelas em potência mecânica útil na saída. De acordo com Viana (2012), a conversão entre as energias elétrica e mecânica não é completa devido a uma série de perdas que ocorrem no interior da máquina durante este processo. As principais perdas podem ser descritas como: perdas Joule no estator, perdas Joule no rotor, perdas no ferro, perdas por dispersão e perdas por atrito e ventilação.

Já segundo Eletrobrás (2009), as perdas internas acabam sendo seu consumo real, e variam entre 5% e 20% da energia elétrica solicitada à rede. Além disso, motores de indução são os equipamentos mais importantes na utilização final de energia no Brasil, pois seu consumo corresponde a mais de 30% do total gerado no país, e quando não operam em condições favoráveis, suas perdas podem chegar a 40%. Como principais causas

da utilização ineficiente podemos citar: superdimensionamento; reparo inadequado; e acoplamento motor-carga de baixa eficiência.

O superdimensionamento de uma carga pode ter como causa o desconhecimento da característica mecânica da carga, a utilização de um excesso de fatores de segurança devido a uma cautela demasiada por parte do projetista, ou então por conta de uma operações de processos que não podem ser interrompidos, substituição de um motor que queimou por outro com maior potência, dentre outras. Como consequência, isso pode acabar levando à utilização de motores maiores e mais pesados, diminuição do fator de potência, o que como já visto anteriormente é péssimo do ponto de vista de eficiência energética, diminuição do rendimento do motor e aumento da corrente de partida. Geralmente motores operando a 50% da carga ou menos são considerados como tendo péssimo rendimento, enquanto que motores operando com carga maior do que 75% estão bem dimensionados (ELETROBRÁS, 2009).

Para se obter esses valores percentuais, calcula-se o fator de carregamento (F_c) de um motor para a sua condição mais severa de operação, conforme a Equação 19 (SANTOS *et al.*, 2007):

$$F_c = \frac{2 \times I_t - I_0}{2 \times I_N - I_0} \quad (19)$$

- F_c : fator de carregamento;
- I_t : corrente de trabalho;
- I_N : corrente nominal;
- I_0 corrente em vazio.

2.7 Medição e verificação

Buscando padronizar a metodologia de análise de eficiência energética em âmbito global, a *Efficiency Valuation Organization* (EVO), uma organização sem fins lucrativos, desenvolveu o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP). Segundo este documento (EVO, 2012), o conceito de Medição e Verificação (M&V) é descrito como o processo de utilização de medições para determinar, de modo seguro, a economia real criada dentro de uma instalação individual por um programa de gestão de energia. Entende-se como economia, de acordo com o capítulo 9 do próprio PIMVP, como a redução no uso ou no custo de energia.

Baseando-se no PIMVP, a ANEEL estabeleceu, através da REN nº 920:2021 o Procedimento dos Programas de Eficiência Energética (PROPEE), cujo principal objetivo

é promover o uso eficiente e racional da energia elétrica em todos os setores da economia através de projetos que visem mostrar a importância e a viabilidade econômica de se combater o desperdício e investir na melhoria da eficiência dos equipamentos. Em seu Módulo 8 - Medição e Verificação de Resultados, são propostas as diretrizes que regem os procedimentos de aquisição de dados e análise dos resultados do projeto a ser/já implementado.

Segundo a ANEEL (2021b), são dois os tipos de avaliações:

- Avaliação *ex ante*: feita durante a fase de definição do projeto, utiliza-se de valores estimados, quando se estimam os resultados esperados, em procedimento baseado em análises de campo, dados típicos, experiências anteriores e cálculos de engenharia;
- Avaliação *ex post*: feita durante as fases de execução (período de linha de base) e verificação (período de determinação de economia), utiliza de valores mensurados, consideradas a economia de energia e a redução da demanda na ponta avaliadas por ações de Medição e Verificação e análise para determinação da eficiência energética.

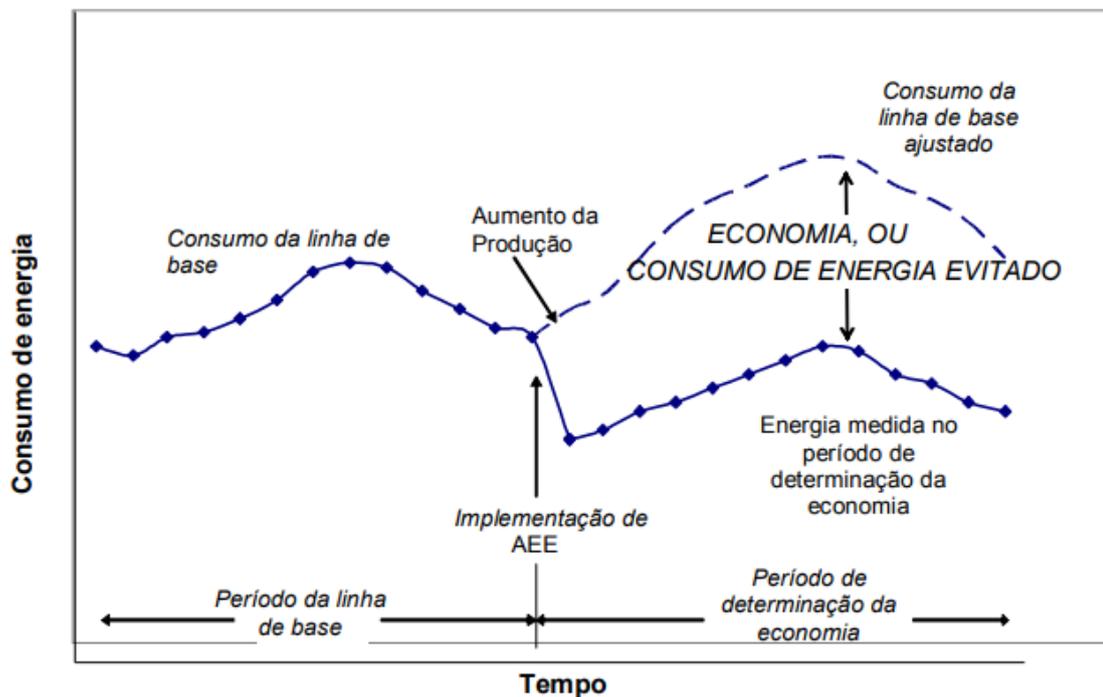
A seguir estão explicados conceitos apresentados pelo PIMVP (EVO, 2012) e que são de extrema importância quando da avaliação da economia:

- Fronteira de medição: a economia pode ser determinada para toda a instalação ou apenas uma parte dela. Caso o objetivo seja gerir apenas os equipamentos afetados pelo programa de economia, estabelece-se uma fronteira de medição em torno destes equipamentos. Porém, se o objetivo é gerir o desempenho energético de toda a instalação, pode-se usar medidores que visam quantificar o fornecimento de energia para toda a instalação a fim de avaliar o desempenho energético e a economia;
- Período da linha de base: deve ser determinado para representar todos os modos de funcionamento da instalação, devendo cobrir um ciclo de funcionamento completo, desde o consumo máximo até o consumo mínimo. Deve também representar relativamente bem todas as condições de funcionamento em um ciclo normal, incluir apenas os períodos de tempo para os quais são conhecidos todos os fatores relativos à instalação, sejam fixos ou variáveis, e coincidir com o período imediatamente anterior ao compromisso de se implementar a AEE;
- Período de determinação da economia: deve englobar pelo menos um ciclo de funcionamento normal dos equipamentos ou instalação, para caracterizar completamente a eficácia da economia em todos os modos de funcionamento normais;
- Ajustes de rotina: para quaisquer fatores que rejam a energia, em relação aos quais se espera que mudem periodicamente durante o período de determinação da economia, tais como o clima ou o volume da produção;

- Ajustes não-de rotina: para aqueles fatores que regem o uso da energia, em relação aos quais não há a expectativa de que mudem habitualmente, tais como o tamanho da instalação, a concepção e o funcionamento dos equipamentos instalados, o número semanal de turnos de produção ou o tipo de ocupantes;
- Variáveis independentes: é um parâmetro que pode mudar regularmente e causar impacto mensurável no consumo de energia de um sistema ou instalação. Um exemplo de variável independente que rege o consumo de energia em uma edificação é a temperatura exterior.

Por representar uma "ausência" de energia, a economia não pode ser medida diretamente. Por isso, ela deve ser determinada se comparando os consumos medidos antes e depois da implantação das AEE, fazendo-se os ajustes adequados, dado que as condições ambientais e de uso podem se alterar de um período para o outro. A Figura 4 mostra graficamente como é feito esse ajuste.

Figura 4 – Exemplo de histórico de consumo de energia



Fonte: EVO 2012.

Pode-se obter o quanto se economizou de energia através da Equação 20:

$$\text{Economia} = (C_{lb} - C_{pde}) \pm \text{Ajustes} \quad (20)$$

- C_{lb} : consumo na linha de base, em kW;

- C_{pde} : consumo no período de determinação de economia, em kW;
- Ajustes: dividido entre Ajustes de Rotina e Ajustes Não-de Rotina.

O PIMVP (EVO, 2012) fornece quatro opções para se determinar a economia (A, B, C e D). A escolha por uma das opções implica em muitas considerações, incluindo o local da fronteira de medição. A Tabela 4 explica as aplicações de cada uma delas.

Tabela 4 – Visão geral das opções de medição do PIMVP.

Opção do PIMVP	Como calcular a economia	Aplicações típicas
A. Medição isolada da AEE: medição dos parâmetros-chave - medição no campo dos parâmetros-chave, que definem o uso de energia dos sistemas afetados pela AEE. Os parâmetros não selecionados para medição no campo são estimados, sendo necessária a justificação do parâmetro estimado.	Cálculo de engenharia do consumo da linha de base e do consumo do período de determinação da economia a partir de medições e valores estimados. Ajuste de rotina e não-de rotina são exigidos.	AEE em sistemas de iluminação: potência requerida como parâmetro-chave, horas de funcionamento da iluminação com base nas características da edificação e comportamento dos ocupantes como estimativas
B. Medição isolada da AEE: medição de todos os parâmetros - medição no campo de todos os parâmetros que afetam o consumo de energia do sistema afetado pela AEE.	Medições do consumo da linha de base e consumo do período de determinação da economia e/ou cálculos de engenharia. Ajustes de rotina e não-de rotina são exigidos.	Aplicação de inversor de frequência e controle de motor para ajustar o fluxo de bombas.

Continua na página seguinte.

Opção do PIMVP	Como calcular a economia	Aplicações típicas
C. Toda a instalação: medição do consumo de energia em nível de toda a instalação ou sub-instalação, sendo contínuas e efetuadas durante o período de determinação da economia.	Análise dos dados do medidor da linha de base de toda a instalação e do período de determinação da economia. Ajuste de rotina é exigido, utilizando uma comparação simples ou análise de regressão. Ajustes não-de-rotina também são exigidos.	Programa de gestão de energia multifacetado, afetando diversos equipamentos da instalação. Medições do consumo de energia para um período da linha de base de doze meses, e durante o período de determinação da economia.
D. Simulação calibrada: simulação do consumo de energia de toda a instalação ou sub-instalação, por modelos que representem adequadamente o desempenho energético da instalação. Esta opção requer competências consideráveis em simulação calibrada.	Simulação do consumo de energia, calibrada com dados de faturamento por hora ou mensal da concessionária.	Programa de gestão de energia multifacetado, afetando diversos equipamentos da instalação, onde não existia nenhum medidor no período da linha de base (dados da linha de base indisponíveis).

Fonte: adaptado de EVO (2012).

As opções A e B são indicadas para quando se deseja realizar AEEs em equipamentos específicos, estreitando a fronteira de medição e, com isso, reduzindo o esforço requerido para monitorar variáveis independentes e fatores estáticos. Por outro lado, os resultados obtidos com estas opções não podem ser correlacionados com o consumo de energia total da instalação, registrado nas faturas da concessionária.

As opções C e D são indicadas para quando se deseja analisar o consumo total da instalação para avaliar o seu desempenho energético como um todo. Neste caso, a fronteira de medição inclui toda a instalação, ou grande parte desta. A opção C destina-se a projetos em que se espera uma economia significativa, comparada com as variações aleatórias ou inexplicáveis de energia ocorrida em nível de toda a instalação. A opção D é similar à C, com a diferença de que ela será usada quando os dados de energia do período da linha de base não existem ou não estão disponíveis, ou quando os dados do período de determinação da economia não estão disponíveis ou estão obscurecidos por fatores difíceis de quantificar, como as futuras alterações da instalação ou novos equipamentos que podem ser adquiridos.

2.8 Análise de viabilidade econômica

Como parte de um projeto de eficiência energética, é preciso analisar a viabilidade de se implementar as soluções propostas. Para isso, pode-se usar o método do Valor Presente Líquido (VPL), que identifica o valor líquido atual de um investimento futuro. De acordo com Knuth (2010), VPL é calculado conforme as Equações 21 e 22:

$$VPL = FC_0 + \frac{FC_1}{1+i} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \frac{FC_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (21)$$

$$VPL = \sum_{k=0}^n \frac{FC_k}{(1+i)^k} \quad (22)$$

- VPL : valor presente líquido;
- FC_0 : fluxo de caixa inicial;
- FC_n : fluxo de caixa no período n ;
- n : número de períodos a serem analisados (anos ou meses);
- i : taxa de desconto, ou taxa mínima de atratividade (TMA).

Se o $VPL > 0$, isso significa que o montante no projeto, considerando-se a taxa de desconto i , está sendo recuperado, o que indica a viabilidade da execução do que foi proposto. Caso $VPL < 0$, então o projeto está dando prejuízos, sendo sua execução inviável financeiramente.

Adicionalmente, é possível se utilizar do método da Taxa Interna de Retorno (TIR). Nesse caso, calcula-se a taxa que zera o VPL dos fluxos de caixa do projeto avaliado. Após, compara-se o resultado obtido com a TMA desejada. Caso a $TIR \geq TMA$, então o projeto pode ser considerado economicamente viável. Por outro lado, se a $TIR < TMA$, então considera-se que o projeto causará prejuízos, portanto não sendo economicamente viável (FILOMENA, 2014).

Por fim, outro método para se verificar a viabilidade econômica do projeto é calcular o *payback*, que seria número de períodos necessários para que seja apresentado o retorno do investimento. Isso permite avaliar a viabilidade de acordo com o desejado pelo projetista, de forma que um prazo muito longo pode ser considerado como um investimento não tão adequado. Segundo Knuth (2010) Calcula-se o *payback* dividindo o investimento inicial no projeto pelo valor médio do fluxo de caixa no período, conforme a Equação 23. Ao se fazer essa divisão, encontra-se um valor estimado do tempo de retorno do investimento.

$$Payback = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{FC médio}} \quad (23)$$

3 Estudo de caso

Para este projeto, foi escolhido o Presídio Estadual Feminino Madre Pelletier, localizado no município de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul, como estudo de caso. Tal escolha foi baseada em dois pontos: a localização do estabelecimento, estando situado em uma área de fácil acesso da cidade, e suas características, que se assemelham àquelas encontradas em outras unidades prisionais do Estado.

Foram obtidas as faturas de energia de fevereiro de 2022 a janeiro de 2023 junto à CEEE Equatorial, além de realizadas visitas de campo para se avaliar as condições da instalação, realizar medidas de iluminância nos ambientes e também entrevistas com os gestores da penitenciária.

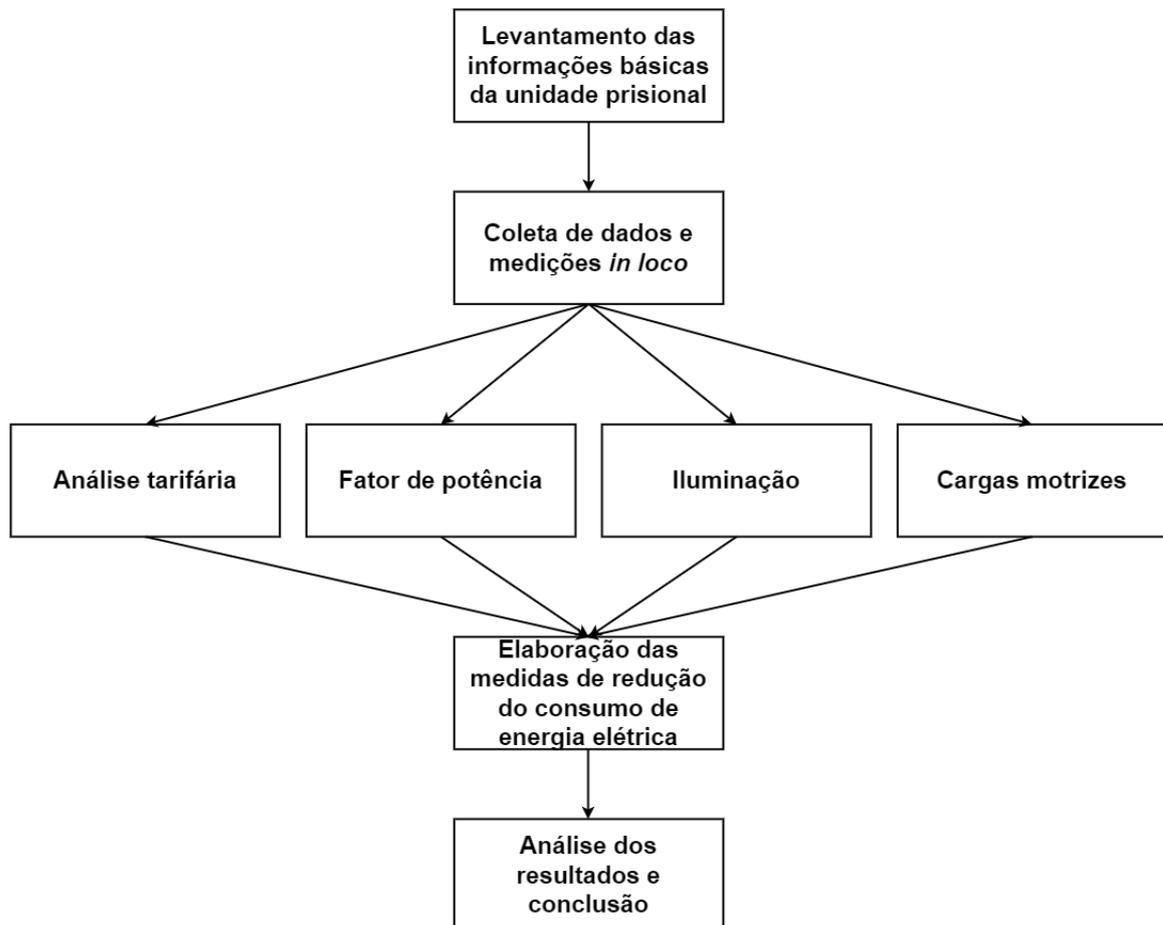
3.1 Metodologia

Com a relação à metodologia aplicada neste estudo de caso, foram estabelecidas quatro etapas, as quais seguem um fluxo definido de execução com o objetivo de se obter um resultado adequado. Tais etapas são as seguintes:

1. Levantamento das informações básicas: foram realizadas reuniões com as gestoras do presídio e levantadas as principais informações relativas ao local, como estrutura da unidade, tipos e quantidade de aparelhos instalados, rotina de trabalho, número de apenadas, dentre outras informações;
2. Coleta de dados: foram coletados dados relativos às características dos motores instalados, medições de iluminância nos ambientes internos e obtenção das faturas de energia elétrica dos 12 meses anteriores ao estudo junto à concessionária local (neste caso específico, a CEEE Equatorial);
3. Elaboração das medidas de redução de consumo de energia elétrica: nesta etapa, foram identificados os principais pontos de consumo de energia e que geram os maiores custos, e foram propostas medidas a serem implementadas que visam sanar os problemas encontrados;
4. Análise dos resultados e conclusões: por fim, foram feitas simulações com o objetivo de estimar o impacto das adequações sugeridas em comparação com um cenário onde não houveram alterações. Após, foram analisados os resultados obtidos, tanto do ponto de vista de redução do consumo de energia elétrica como da redução dos gastos, e determinadas quais ações geram impactos positivos e estão aptas a serem implementadas.

A Figura 5 mostra o fluxo de execução das etapas acima descritas.

Figura 5 – Etapas do estudo de eficiência energética no PEF Madre Pelletier.



Fonte: o autor (2023).

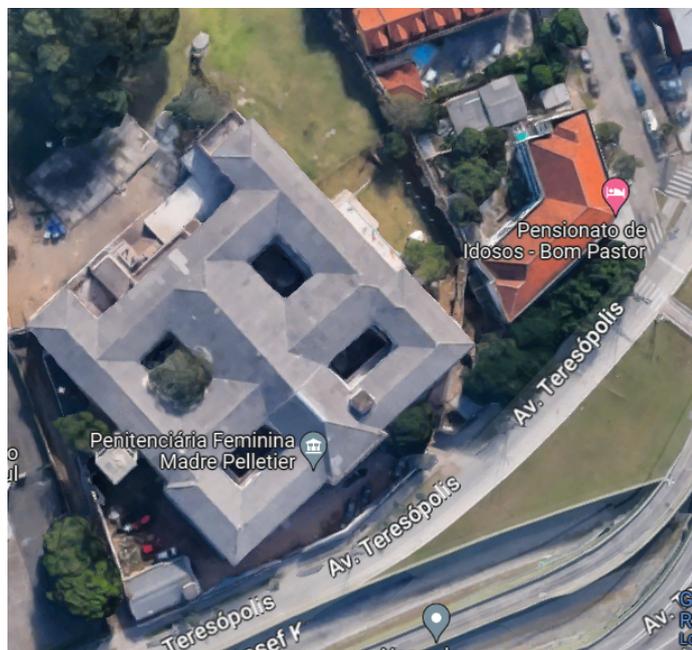
3.2 O Presídio Estadual Feminino Madre Pelletier

Segundo dados da SUSEPE (2023), em abril de 2023, a população carcerária do PEF Madre Pelletier era de 207 apenadas, sendo que a lotação máxima é de 239. Assim sendo, ainda que não esteja superlotado, ele opera perto do seu limite. O prédio onde está localizado o presídio é uma edificação antiga, construída na década de 1930, e com determinadas partes sendo tombadas pelo patrimônio histórico. Por isso, qualquer projeto de reforma a ser executado no local é delicado e necessita de acompanhamento minucioso do poder público e das autoridades competentes.

O presídio conta com 6 galerias (B1, B2, B3, B4, C e D), unidade materno-infantil, unidade básica de saúde (UBS), isolamento/triagem, alojamento de guardas, setor administrativo, área de serviços, postos de trabalho para as apenadas e áreas externas com guaritas. A área interna ainda possui uma capela, que se encontra em processo de

restauração devido a um incêndio que a destruiu quase que totalmente. As Figuras 6 e 7 mostram a visão aérea do presídio, além da fachada da edificação principal.

Figura 6 – Imagem de satélite do PEF Madre Pelletier.



Fonte: Google (2023).

Figura 7 – Foto da entrada principal do PEF Madre Pelletier.



Fonte: o autor (2023).

Com relação à análise luminotécnica, foram escolhidos ambientes da área administrativa, da Unidade Básica de Saúde (UBS) e da revista. Isso se dá pois determinados espaços do presídio, como as galerias, as celas, as oficinas de trabalho e demais áreas com circulação de apenadas, não puderam ser acessadas por questões de segurança.

3.2.1 Área administrativa

O setor administrativo se encontra no andar térreo da edificação, de frente ao *hall* de entrada. Possui os seguintes setores: sala da direção, setor técnico, refeitório / cozinha, setor jurídico, audiências, CDO, parlatório, setor pessoal, segurança, contabilidade, ACLC (atividade de controle legal e cadastro) e recepção, além de circulação interna e banheiros. Em sua maioria, os espaços são compostos por escritórios, contendo um ou mais computadores, ar-condicionados, impressoras e em alguns lugares, cafeteiras, chaleiras e frigobares. As características dos setores são apresentadas na Tabela 5. É importante ressaltar que determinados espaços possuem configurações diferentes quanto à altura das luminárias, além de cores e tipos dos tetos, paredes e pisos.

Tabela 5 – Características dos ambientes da área administrativa.

Ambiente	Hall de entrada	Circulação Dir.	Direção
Dimensões	5,30m x 12,40m	2,20m x 6,80m	4,80m x 4,70m
Tipo de atividade*	Saguão de entrada	Áreas de circulação e corredores	Escritórios - Escrever, ler, teclar, processar dados
Características ambientais	Ambiente normal		
Cor/tipo do teto	Amarelo	Amarelo	Amarelo
Cor/tipo da parede	Amarelo	Amarelo	Amarelo
Cor/tipo do piso	Pedra	Madeira	Madeira
Altura do plano de trabalho**	1,50m	1,50m	0,80m
Altura da luminária**	3,21m	3,41m	3,41m
Intervalo de manutenção	1 ano		
Ambiente	Recepção	Circulação Adm.	ACLC
Dimensões	5,30m x 12,40m	29,15m x 2,50m	3,50m x 4,60m
Tipo de atividade*	Escritório - Recepção	Áreas de circulação e corredores	Escritórios - Escrever, ler, teclar, processar dados
Características ambientais	Ambiente normal		
Cor/tipo do teto	Branco	Branco	Branco

Cor/tipo da parede	Branco	Branco	Branco
Cor/tipo do piso	Pedra	Pedra	Bege
Altura do plano de trabalho**	0,80m	1,50m	0,80m
Altura da luminária**	3,21m	3,41m	3,41m
Intervalo de manutenção	1 ano		
Ambiente	Segurança	Circ. Parlatórios	Parlatórios
Dimensões	3,50m x 4,70m	1,15m x 3,00m	1,45m x 2,00m
Tipo de atividade*	Escritórios - Escrever, ler, teclar, processar dados	Áreas de circulação e corredores	Estação de controle
Características ambientais	Ambiente normal		
Cor/tipo do teto	Branco	Branco	Branco
Cor/tipo da parede	Branco	Amarelo	Amarelo
Cor/tipo do piso	Bege	Granitina (cinza)	Granitina (cinza)
Altura do plano de trabalho**	0,80m	1,50m	0,80m
Altura da luminária**	3,41m	4,00m	4,00m
Intervalo de manutenção	1 ano		
Ambiente	Atend. Técnico	Direção Geral	Refeitório
Dimensões	2,50m x 6,40m	4,30m x 6,30m	4,80m x 6,30m
Tipo de atividade*	Escritórios - Escrever, ler, teclar, processar dados	Escritórios - Escrever, ler, teclar, processar dados	Refeitório/cantina
Características ambientais	Ambiente normal		Ambiente limpo
Cor/tipo do teto	Branco	Branco	Cinza
Cor/tipo da parede	Branco	Branco	Lajota branca
Cor/tipo do piso	Bege	Bege	Granitina (cinza)

Altura do plano de trabalho**	0,80m	0,80m	0,80m
Altura da luminária**	3,41m	3,41m	2,18m
Intervalo de manutenção	1 ano		
Ambiente	Setor Técnico	Atend. Técnico 1	Atend. Técnico 2
Dimensões	4,80m x 6,40m	4,80m x 3,50m	2,40m x 2,70m
Tipo de atividade*	Escritórios - Escrever, ler, teclar, processar dados	Escritórios - Escrever, ler, teclar, processar dados	Escritórios - Escrever, ler, teclar, processar dados
Características ambientais	Ambiente normal		
Cor/tipo do teto	Branco	Branco	Branco
Cor/tipo da parede	Cinza	Branco	Branco
Cor/tipo do piso	Bege	Bege	Bege
Altura do plano de trabalho**	0,80m	0,80m	0,80m
Altura da luminária**	3,41m	4,00m	4,00m
Intervalo de manutenção	1 ano		

*Conforme NBR ISO 8995-1:2015, capítulo 5;

**Alturas relativas ao piso acabado;

Fonte: o autor (2023).

3.2.2 Unidade Básica de Saúde (UBS)

A UBS do presídio funciona no segundo pavimento e oferece para as apenas serviços de atendimento médico e odontológico, contando com recepção, enfermagem, nutrição, enfermaria, consultórios, farmácia e sanitários. As características dos ambientes estão expostas na Tabela 6.

Tabela 6 – Características dos ambientes da UBS.

Ambiente	Recepção	Consultório 1	Estoque Remédios
Dimensões	5,34m x 2,65m	3,35m x 2,65m	3,80m x 2,65m

Tipo de atividade*	Escritório - Recepção	Salas para atendimento médico	Depósito, estoques e câmara fria
Características ambientais	Ambiente limpo	Ambiente muito limpo	Ambiente limpo
Cor/tipo do teto	Branco	Branco	Branco
Cor/tipo da parede	Roxo	Branco	Branco
Cor/tipo do piso	Bege	Bege	Bege
Altura do plano de trabalho**	0,80m	0,80m	1,50m
Altura da luminária**	3,00m	3,00m	3,00m
Intervalo de manutenção	1 ano		
Ambiente	Nutrição	Consultório 2	Consultório Odontológico
Dimensões	6,56m x 2,75m	3,16m x 2,65m	3,16m x 2,40m
Tipo de atividade*	Escritórios - Escrever, ler, teclar, processar dados	Salas para atendimento médico	Salas para atendimento médico
Características ambientais	Ambiente limpo	Ambiente muito limpo	
Cor/tipo do teto	Branco	Azul claro	Branco
Cor/tipo da parede	Roxo	Azul claro	Branco
Cor/tipo do piso	Bege	Granitina	Bege
Altura do plano de trabalho**	0,80m	0,80	1,10m
Altura da luminária**	3,53m	3,53m	3,00m
Intervalo de manutenção	1 ano		
Ambiente	Psico / Atend. Social	Circulação	Enfermaria
Dimensões	3,40m x 3,50m	3,40m x 1,15m	6,89m x 4,80m
Tipo de atividade*	Escritórios - Escrever, ler, teclar, processar dados	Áreas de circulação e corredores	Enfermaria

Características ambientais	Ambiente limpo		Ambiente muito limpo
	Cor/tipo do teto	Branco	Branco
Cor/tipo da parede	Branco	Branco	Lajota branca
Cor/tipo do piso	Bege	Bege	Bege
Altura do plano de trabalho**	0,80m	1,50m	1,10m
Altura da luminária**	3,53m	3,00	3,00m
Intervalo de manutenção	1 ano		

*Conforme NBR ISO 8995-1:2015, capítulo 5;

**Alturas relativas ao piso acabado;

Fonte: o autor (2023).

3.2.3 Revista

Neste setor são feitas as revistas das pessoas que visitam as apenadas, como forma de impedir que se adentre o presídio com itens que podem comprometer a segurança do local, como armas, celulares, objetos cortantes, dentre outros. O local conta com um aparelho de raio-x, além de salas individuais onde são realizadas as revistas corporais. As características do local estão descritas na Tabela 7.

Tabela 7 – Características dos ambientes do Setor de Revista.

Ambiente	Entrada	Raio-x	Circulação
Dimensões	2,90m x 5,40m	5,30m x 2,60m	4,10m x 2,67m
Tipo de atividade*	Áreas de circulação e corredores	Aeroportos - área de verificação e segurança***	Áreas de circulação e corredores
Características ambientais	Ambiente normal		
Cor/tipo do teto	Branco		
Cor/tipo da parede	Roxo		
Cor/tipo do piso	Bege		

Altura do plano de trabalho**	1,50m	1,00m	1,50m
Altura da luminária**	3,41m	3,41m	3,41m
Intervalo de manutenção	1 ano		
Ambiente	Revista Masc.	Revista Fem.	Revista Espera
Dimensões	2,90m x 2,40m	2,39m x 4,12	2,18m x 5,10m
Tipo de atividade*	Aeroportos - área de verificação e segurança***	Aeroportos - área de verificação e segurança***	Estação de controle
Características ambientais	Ambiente normal		
Cor/tipo do teto	Branco		
Cor/tipo da parede	Roxo		
Cor/tipo do piso	Bege		
Altura do plano de trabalho**	1,60m	1,60m	0,80m
Altura da luminária**	3,41m	3,41m	3,41m
Intervalo de manutenção	1 ano		

*Conforme NBR ISO 8995-1:2015, capítulo 5;

**Alturas relativas ao piso acabado;

***Como este caso específico não se encontra na norma, foi escolhido um tipo de uso semelhante ao encontrado no local.

Fonte: o autor (2023).

3.3 Iluminação

O Madre Pelletier conta com lâmpadas que, em sua maioria, são tubulares fluorescente instaladas em luminárias que acomodam duas unidades, com alguns ambientes apresentando lâmpadas do tipo bulbo LED com base E27, sem a presença de luminárias. Isso é apresentado nas Figuras 8 e 9, respectivamente. Também foram encontradas algumas lâmpadas tubulares LED, estas mais difíceis de serem diferenciadas das tubulares fluorescentes.

Figura 8 – Luminária com duas lâmpadas tubulares fluorescentes no setor de revista.



Fonte: o autor (2023).

Figura 9 – Lâmpada bulbo LED no consultório odontológico.



Fonte: o autor (2023).

No levantamento dos dados de campo, foram realizadas medidas dos níveis de iluminância nos ambientes utilizando-se de um luxímetro modelo Yokogawa 51001, mostrado na Figura 10. Adicionalmente, foram coletados os dados das características construtivas e dimensões, conforme descrito nas Tabelas 5, 6 e 7, que serão utilizados no cálculo de iluminação.

Figura 10 – Luxímetro Yokogawa 51001.



Fonte: o autor (2023).

As medidas foram realizadas nos principais setores do estabelecimento, escolhendo-se pontos sob as superfícies de trabalho ou em locais onde há permanência humana, e assim obtendo-se os níveis de iluminância média, comparados com o que a NBR/ISO 8995-1:2013 especifica como o mínimo para cada tipo de ambiente, tal qual mostrado na Tabela 8. Cabe ressaltar que algumas das medições podem ter valores anormais devido a influências fora de controle, como a incidência de luz solar através das aberturas da edificação. Estas medições estão marcadas com um asterisco na referida Tabela.

Tabela 8 – Medidas de iluminância nos ambientes.

Ambiente	Pontos Medidos	Iluminância Média (lux)	Iluminância Mín. NBR (lux)	Cumpre a norma?
Área administrativa				
Hall de entrada	4	374*	100	Sim
Circ. Diretoria	2	266*	100	Sim
Sala da Direção	2	151	500	Não
Recepção	4	123	300	Não
Circ. Adm.	3	277	100	Sim
ACLC	3	106	500	Não
Segurança	3	224	500	Não
Circ. Parlatórios	1	50	100	Não
Parlatórios	2	284	200	Sim

Advogado	1	230	500	Não
Direção Geral	4	244	500	Não
Refeitório	4	201	200	Sim
Contabilidade	5	228	500	Não
Anexo Cont. 1	1	260	500	Não
Anexo Cont. 2 e 3	2	400	500	Não
Unidade Básica de Saúde (UBS)				
Recepção	1	160	300	Não
Consultório 1	2	191	500	Não
Estoque Remédios	2	260	100	Sim
Nutrição	2	185	500	Não
Consultório 2	1	402	500	Não
Cons. Odonto	1	400	500	Não
Psicólogo	2	214	500	Não
Enfermaria	1	1350*	500	Sim
Revista				
Entrada	1	100	100	Sim
Raio-x	1	220	300	Não
Circulação	1	140	100	Sim
Revista Masc.	1	150	300	Não
Revista Fem.	1	400*	300	Sim
Guarda	2	200	150	Sim

*Medidas com influência da iluminação exterior.

Fonte: o autor (2023).

3.4 Consumo de energia elétrica

Para análise do consumo de energia elétrica do local, foram obtidas junto à CEEE Equatorial as faturas de energias dos últimos 12 meses do presídio, entre fevereiro de 2022 e janeiro de 2023. O fornecimento de energia é feito em tensão primária de 13,8 kV, o que insere o estabelecimento no subgrupo A4. Além disso, a modalidade tarifária contratada é a horária verde. Com isso, apenas um valor de demanda foi contratado tanto para o horário de ponta quanto para o fora de ponta, sendo essa demanda de 115 kW. A Figura 11 mostra a fatura de setembro de 2022, contendo as informações acima mencionadas. Dados considerados sensíveis foram censurados.

Figura 11 – Fatura de energia elétrica do PEF Madre Pelletier

COMPANHIA ESTADUAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
Av. Joaquim Porto Villanova, nº 201, Prédio A Sala 721 - CEP 91410-400 Porto Alegre - RS
CNPJ : 08.467.115/0001-00 INSCRIÇÃO ESTADUAL: 096/3156659
NOTA FISCAL / CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA

Nota Fiscal- Série U - 166050355 FAT: 01-202243534818626-80

Reservado ao Fisco
DD39.71E0.A024.98F0.0AF2.EC57.885D.13D6

Bandeira Vigente: **Bandeira Verde**
Número da UC
Código para débito em conta corrente
24835404

Cliente e UC (Unidade Consumidora)

Dados Leitura: **Setembro/2022**
Período Fiscal: 01/09/2022
Emissão: 08/09/2022
Apresentação: 09/09/2022
Próxima Leitura Prevista: 01/10/2022
Número de Dias Faturados: 31
Equipamento: 34153519
Dem. Máx. Ponta(kW): 57,6
Dem. Máx. Fora Ponta(kW): 65,66
Dem.Ultrap. Ponta (Hora/Dia):
Dem.Ultrap.F. Ponta (Hora/Dia):
Perdas de Transformações (%): 0,00

Tipo de Tarifa: Horária Verde Tensão Contratada (V): 13800 Subgrupo de Tensão: A 4
Demanda Contratada (kW): 115 (TP)
Classe de Consumo Aneel: Poder Publico - Poder Publico Estadual / Distrital
Etapa / Livro / Seq: 64 / A00841 / 3

Fonte: CEEE Equatorial (2023).

A Tabela 9 mostra os valores de demanda máxima, consumo e excedente reativo medidos nos horários de ponta e fora de ponta para cada um dos períodos de faturamento entre fevereiro de 2022 e janeiro de 2023.

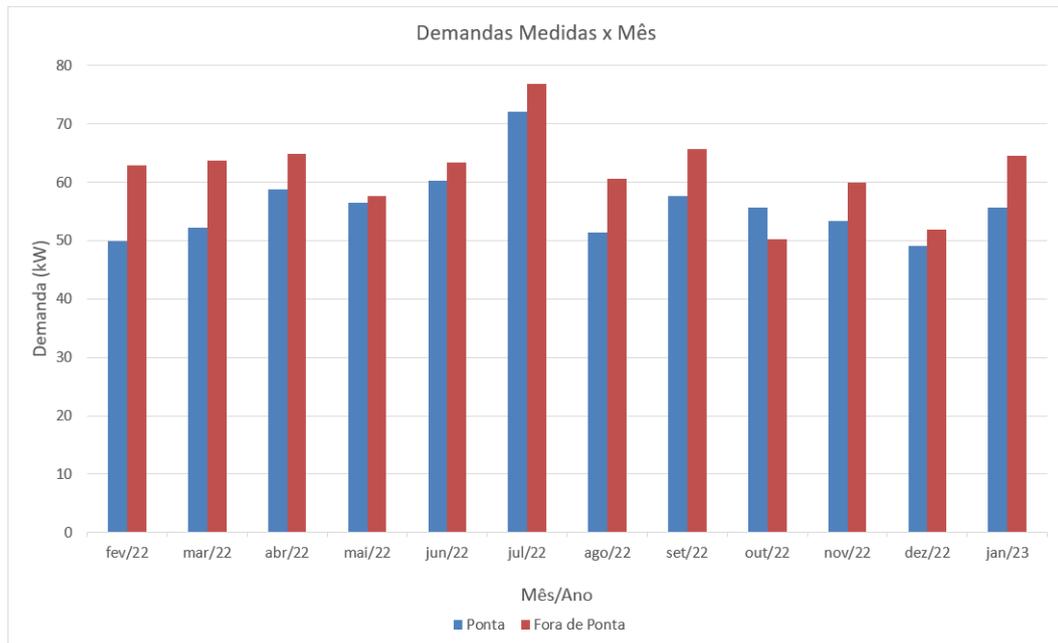
Tabela 9 – Valores medidos de demanda máxima e consumo entre fevereiro de 2022 e janeiro de 2023.

Mês/ano	Demanda medida (kW)		Consumo medido (kWh)		Reat. Excedente (kvarh)	
	HP	HFP	HP	HFP	HP	HFP
fev/2022	49,92	62,98	2.276	22.593	26	373
mar/2022	52,22	63,74	2.242	19.481	22	296
abr/2022	58,75	64,90	2.552	19.286	22	461
mai/2022	56,45	57,60	2.042	16.406	22	618
jun/2022	60,29	63,36	2.559	18.225	26	563
jul/2022	72,19	76,80	2.532	21.572	8	205
ago/2022	51,46	60,67	2.155	18.689	20	393
set/2022	57,60	65,66	2.546	18.909	10	330
out/2022	55,68	50,30	2.140	16.096	26	482
nov/2022	53,38	59,90	2.079	16.115	17	624
dez/2022	49,15	51,84	2.060	15.922	19	620
jan/2023	55,68	64,51	2.378	19.563	23	515

Fonte: CEEE Equatorial (2023).

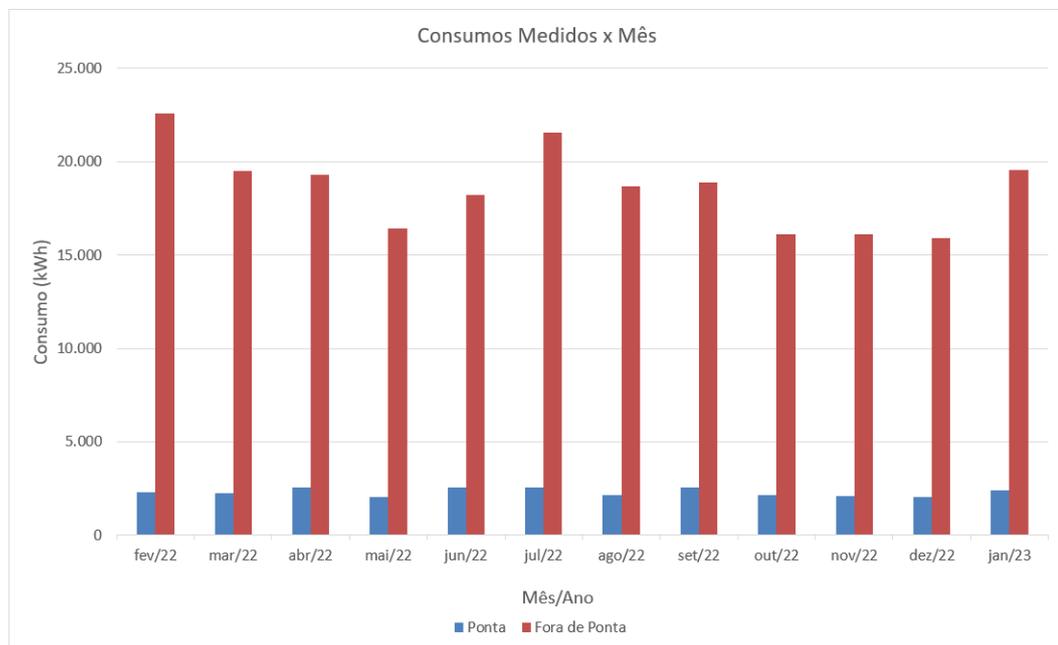
Os gráficos expostos nas Figuras 12, 13 e 14 mostram, respectivamente, os padrões de demanda, consumo e excedentes reativos ao longo dos últimos 12 meses, conforme a Tabela 9.

Figura 12 – Demanda máxima medida por mês nos horários de ponta e fora de ponta.



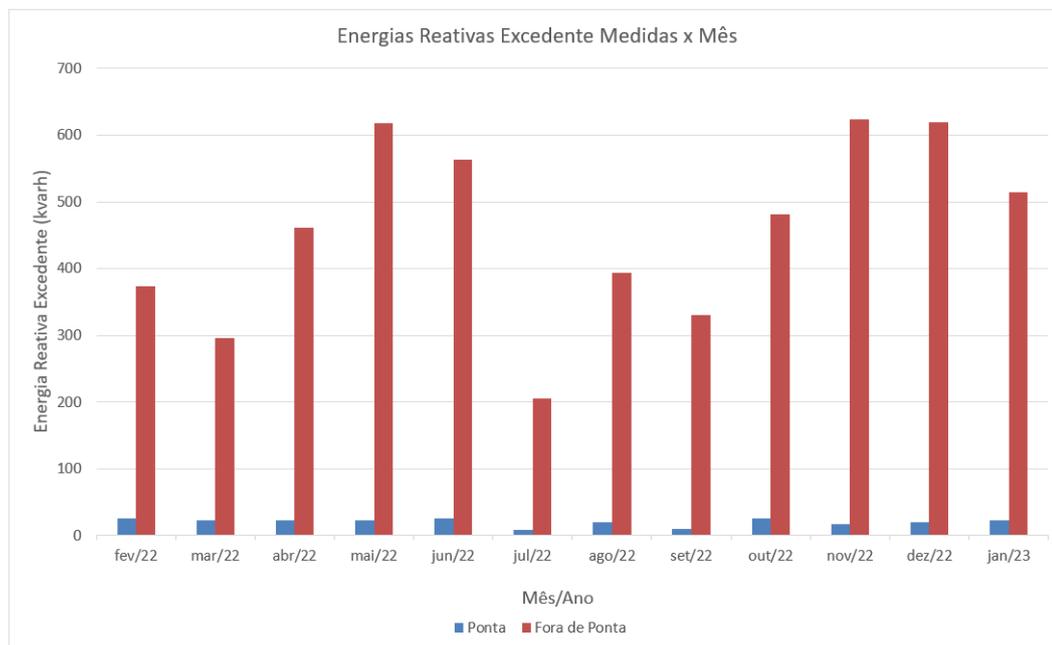
Fonte: o autor (2023).

Figura 13 – Consumo medido por mês nos horários de ponta e fora de ponta.



Fonte: o autor (2023).

Figura 14 – Energia reativa excedente medida por mês nos horários de ponta e fora de ponta.



Fonte: o autor (2023).

A análise dos dados obtidos junto à concessionária indicam que a demanda máxima medida em um posto tarifário durante os últimos 12 meses foi de 76,80 kW, havendo uma média de 56,06 kW em horário de ponta e 61,86 kW em horário fora de ponta, considerando-se os maiores valores medidos em cada mês. Ao contratar uma demanda de 115 kW, o estabelecimento está pagando por uma energia que ele não irá consumir, gerando custos extras desnecessários. Além disso, nota-se o consumo de energia reativa excedente que, apesar de não ser considerável, ainda assim poderia ser evitado.

Já as Tabelas 10 e 11 mostram os gastos em energia elétrica em reais (R\$) no mesmo período. Algumas observações a serem feitas:

1. No período de fevereiro a maio, foi cobrado um adicional referente à bandeira tarifária vermelha patamar 2, vigente durante o período. Os outros meses foram faturados sob bandeira tarifária verde, ou seja, sem cobrança adicional na fatura;
2. No período de fevereiro a novembro, houve uma cobrança tarifária diferente para a diferença entre a demanda contratada e a demanda medida. Esse item está descrito nas faturas como "Demanda TUSD Isenta ICMS". Nas faturas de dezembro e janeiro, a cobrança se deu sob tarifa única para o valor de demanda contratada;
3. A coluna "Outros Gastos" refere-se a adicionais como contribuição com a iluminação pública (todos os meses) e multas referentes a atrasos nos pagamentos e débitos em aberto (abril, agosto, setembro e novembro de 2022 e janeiro de 2023).

Tabela 10 – Valores gastos em R\$ com energia elétrica entre fevereiro de 2022 e janeiro de 2023 (parte 1).

Mês/Ano	Demanda	Consumo de Energia		Multa Energia
		HP	HFP	Reat. Excedente
fev/2022	2.891,02	4.242,34	9.618,72	131,46
mar/2022	2.884,95	4.170,18	8.276,38	104,55
abr/2022	2.887,62	4.751,17	8.201,13	158,95
mai/2022	2.882,69	3.795,19	6.964,50	210,26
jun/2022	2.886,07	4.761,65	7.745,81	193,73
jul/2022	2.885,46	4.710,41	9.166,37	70,03
ago/2022	2.842,28	3.949,06	7.822,46	133,76
set/2022	2.820,58	4.629,94	7.854,12	109,30
out/2022	2.843,47	3.923,22	6.739,97	164,63
nov/2022	2.879,61	3.859,83	6.833,68	210,35
dez/2022	3.018,55	3.924,24	6.877,67	206,55
jan/2023	3.249,81	4.656,19	8.543,74	162,05
Subtotais	34.972,11	51.373,62	94.644,54	1.855,62

Fonte: CEEE Equatorial (2023).

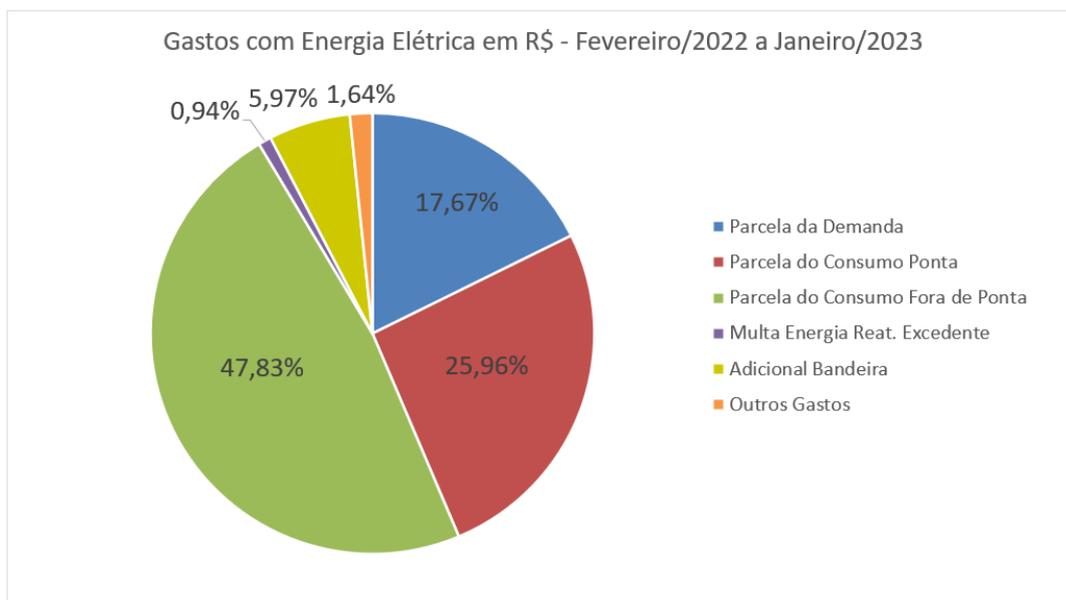
Tabela 11 – Valores gastos em R\$ com energia elétrica entre fevereiro de 2022 e janeiro de 2023 (parte 2).

Mês/Ano	Adicional	Outros	Subtotal
	Band. Tarifária	Gastos	Mensal
fev/2022	3.785,80	36,13	20.705,47
mar/2022	3.299,92	36,13	18.772,11
abr/2022	3.320,48	1.215,06	20.534,41
mai/2022	1.400,11	36,13	15.288,88
jun/2022	0,00	25,62	15.612,88
jul/2022	0,00	25,62	16.857,89
ago/2022	0,00	474,70	15.222,26
set/2022	0,00	407,68	15.821,62
out/2022	0,00	25,62	13.696,91
nov/2022	0,00	339,53	14.123,00
dez/2022	0,00	25,62	14.052,63
jan/2023	0,00	591,41	17.203,20
Subtotais	11.806,31	3.239,25	
Total anual: R\$ 197.891,26			

Fonte: CEEE Equatorial (2023).

O gráfico mostrado na Figura 15 representa o quanto cada parcela da fatura contribui no gasto total de energia elétrica no período analisado.

Figura 15 – Contribuição das parcelas nos gastos com energia elétrica no PEF Madre Pelletier entre fevereiro de 2022 e janeiro de 2023.



Fonte: o autor (2023).

Como se pode notar pelos dados obtidos, a maior parcela do gasto corresponde ao consumo em horário fora de ponta, seguido pelo consumo em horário de ponta, demanda contratada, adicional de bandeiras tarifárias, gastos diversos (contribuição da iluminação pública e multas por atraso no pagamento de faturas anteriores) e por fim, multa por excedente reativo. Considerando que a demanda contratada está muito acima do que se consome na unidade prisional, não houve multas por ultrapassagem de demanda nos últimos 12 meses. Conforme é mostrado na Seção 4.1, se faz necessário reduzir a demanda contratada, bem como manter o fator de potência da instalação acima do valor mínimo de 0,92, proposto na REN 1000:2021.

3.5 Cargas motrizes

Em instituições prisionais, a quantidade de equipamentos pode variar conforme o uso do prédio. É comum encontrarmos geradores cuja finalidade é a de fornecer energia caso haja interrupção no fornecimento pela concessionária, dada a importância de se manter o funcionamento adequado da instalação de um presídio por questões de segurança. Também é possível encontrar motores trifásicos caso haja um pavilhão de trabalho dentro da unidade prisional, equipamentos nas áreas de serviço (máquinas de lavar e secadoras industriais, por exemplo), cancelas e portões de acesso à parte interna, bombas hidráulicas e compressores que estejam instalados no local.

Para uma melhor utilização de energia, é importante que esses equipamentos estejam em bom estado de conservação e corretamente dimensionados. Para isso, é necessário que seja feito um levantamento das cargas motrizes instaladas no local e como elas estão performando.

Com relação às cargas motrizes presentes no PEF Madre Pelletier, por mais que hajam oficinas e postos de trabalhos que empregam as apenas, as principais atividades executadas no local são artesanato e descaracterização de equipamentos eletrônicos. Nenhum destes processos, porém, envolve o uso de máquinas elétricas, sendo o trabalho realizado manualmente. As únicas máquinas presentes no local são: uma bomba hidráulica para o reservatório elevado de água, uma bomba de incêndio e dois compressores.

Para a análise das cargas motrizes, obteve-se os dados de placa da bomba hidráulica do reservatório. Como a bomba de incêndio só é acionada em casos de emergência, os impactos de uma possível substituição são irrisórios e, portanto, a mesma não será considerada nessa análise. Além disso, não foram obtidos dados suficientes para que pudesse ser feita uma análise adequada dos compressores, além de serem máquinas mais recentes, portanto os mesmos também foram descartados. As informações obtidas são conforme a Tabela 12.

Tabela 12 – Dados de placa das cargas motrizes do PEF Madre Pelletier.

Tipo do Motor	Motobomba Reservatório
Potência (kW/cv)	3,7 / 5
Tensão Nominal (V)	220
Corrente Nominal (A)	12,8
Rotação (RPM)	3.475
Ip/In	8,8
Nº de Polos	2
Fator de Potência	0,87
Rendimento (%)	87,6
Partida	Direta
Operação (hrs/dia)	12*
Idade (anos)	9
Rebobinagens	0

* Valor estimado.

Fonte: o autor (2023).

4 Análise dos resultados

Neste capítulo, será feita a análise dos resultados obtidos através da simulação dos dados coletados no local e com a concessionária de energia. Para tal, serão utilizados as simulações realizadas nos seguintes *softwares*: Microsoft Office Excel 2019, DIALux EVO 11.0 e WEG See+ versão 1.0.3.

4.1 Análise tarifária

Para a análise do consumo de energia elétrica, utilizou-se os dados obtidos através das faturas entre fevereiro de 2022 e janeiro de 2023, conforme consta na Tabela 9, para avaliar os seguintes aspectos: modalidade tarifária adequada e demanda contratada. Para isso, as simulações foram realizadas utilizando o Microsoft Excel, em planilha montada para esse tipo de estudo. Com relação às análises, foram considerados apenas as tarifas referentes a demanda, consumo, multa por energia reativa excedente e bandeira tarifária vigentes em março de 2023, tal qual mostrado na Tabela 13.

Tabela 13 – Tarifas da CEEE Equatorial para o subgrupo A4 nas modalidades tarifárias verde e azul, vigentes em março de 2023

Tarifa Verde	Demanda (R\$/kW)	26,12
	Energia Ponta (R\$/kWh)	1,80981
	Energia Fora de Ponta (R\$/kWh)	0,40367
Tarifa Azul	Demanda Ponta (R\$/kW)	51,81
	Demanda Fora de Ponta (R\$/kW)	26,12
	Energia Ponta (R\$/kWh)	0,55193
	Energia Fora de Ponta (R\$/kWh)	0,40367

Fonte: adaptado de CEEE Equatorial (2023).

Analisando-se as tarifas acima detalhadas, percebe-se que a demanda fora de ponta possui o mesmo valor de tarifa tanto para a modalidade tarifária horária verde quanto para a azul, porém o valor da tarifa para o horário de ponta na modalidade azul é duas vezes maior que o da modalidade verde. Por outro lado, nota-se também que o valor da tarifa para a energia consumida no horário fora de ponta é a mesma para ambas as modalidades, porém nesse segundo caso, no horário de ponta ele é mais de três vezes maior na modalidade verde, se comparado com a modalidade azul.

Outras parcelas, como gastos com iluminação pública e multas por atraso, serão desconsideradas por não impactarem nos resultados, visto que os efeitos causados no gasto total seriam iguais para todas as situações analisadas. É imprescindível notar também que as tarifas mudam conforme a época do ano, incluindo a possibilidade de ocorrer alteração

na bandeira tarifária. A Tabela 14 mostra os adicionais relativos às bandeiras tarifárias praticados pela CEEE Equatorial, referência em março de 2023.

Tabela 14 – Adicionais de bandeira tarifária da CEEE Equatorial em março de 2023.

Bandeira	Tarifa (R\$/kWh)
Amarela	0,02989
Vermelha I	0,06500
Vermelha II	0,09795

Fonte: adaptado de CEEE Equatorial (2023).

Isso pode causar impacto num cenário após as implementações das AEE, porém não impactam esta respectiva análise. Outras AEEs a serem analisadas, como iluminação, cargas motrizes e minigeração por sistema fotovoltaico, podem impactar positivamente na redução dos gastos globais com energia elétrica, sendo consideradas variáveis independentes, mas que também não se incluem nesta análise.

Primeiramente, foi simulado o contrato atualmente vigente no estabelecimento: tarifa verde, com demanda contratada de 115 kW. A este cenário foi dado o nome de "cenário de referência", e os valores obtidos estão expostos na Tabela 15. A coluna "Multas" refere-se aos valores pagos por ultrapassagem de demanda e energia reativa excedente.

Tabela 15 – Gastos de referência com a modalidade atualmente contratada.

Mês/Ano	Demanda Faturada (R\$)	Consumo Energia (R\$) HP	Multas (R\$)	Total Mensal (R\$)
Fev/2022	3.003,80	4.119,13	111,10	16.354,14
Mar/2022	3.003,80	4.057,59	88,54	15.013,83
Abr/2022	3.003,80	4.618,64	134,49	15.542,10
Mai/2022	3.003,80	3.695,63	178,20	13.500,24
Jun/2022	3.003,80	4.631,30	164,00	15.155,99
Jul/2022	3.003,80	4.582,44	59,31	16.353,52
Ago/2022	3.003,80	3.900,14	115,00	14.563,12
Set/2022	3.003,80	4.607,78	94,67	15.339,24
Out/2022	3.003,80	3.872,99	141,45	13.515,71
Nov/2022	3.003,80	3.762,59	178,48	13.450,02
Dez/2022	3.003,80	3.728,21	177,92	13.337,17
Jan/2023	3.003,80	4.303,73	149,80	15.354,33
Total anual: R\$ 177.479,41				

Fonte: o autor (2023).

Em seguida, foram simulados dois cenários: tarifa verde, com demanda contratada de 56 kW; e tarifa azul, com demandas contratadas de 55 kW para ponta e 60 kW para fora de ponta. Os referidos valores foram escolhidos com base em simulações que visaram determinar o menor custo de energia elétrica anual. Os resultados obtidos estão expressos nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16 – Gastos obtidos com tarifa verde e demanda contratada de 56 kW.

Mês/Ano	Demanda Faturada (R\$)		Consumo Energia (R\$)		Multas (R\$)	Total Mensal (R\$)
	HP	HFP	HP	HFP		
Fev/2022	1.645,04		4.119,13	9.120,12	111,10	14.995,38
Mar/2022	1.664,89		4.057,59	7.863,90	88,54	13.674,92
Abr/2022	1.695,19		4.618,64	7.785,18	134,49	14.233,49
Mai/2022	1.504,51		3.695,63	6.622,61	178,20	12.000,96
Jun/2022	1.654,96		4.631,30	7.356,89	164,00	13.807,15
Jul/2022	2.006,02		4.582,44	8.707,97	905,08	16.201,50
Ago/2022	1.584,70		3.900,14	7.544,19	115,00	13.144,03
Set/2022	1.715,04		4.607,78	7.633,00	94,67	14.050,48
Out/2022	1.462,72		3.872,99	6.497,47	141,45	11.974,63
Nov/2022	1.564,59		3.762,59	6.505,14	178,48	12.010,81
Dez/2022	1.462,72		3.728,21	6.427,23	177,92	11.796,09
Jan/2023	1.685,00		4.303,73	7.897,00	149,80	14.035,53
Total anual: R\$ 161.924,95						

Fonte: o autor (2023).

Tabela 17 – Gastos obtidos com tarifa azul e demandas contratadas de 55 kW para ponta e 60 kW para fora de ponta.

Mês/Ano	Demanda Faturada (R\$)		Consumo Energia (R\$)		Multas (R\$)	Total Mensal (R\$)
	HP	HFP	HP	HFP		
Fev/2022	2.849,55	1.645,04	1.256,19	9.120,12	111,10	14.981,99
Mar/2022	2.849,55	1.664,89	1.237,43	7.863,90	88,54	13.704,31
Abr/2022	3.043,84	1.695,19	1.408,53	7.785,18	134,49	14.067,22
Mai/2022	2.924,67	1.567,20	1.127,04	6.622,61	178,20	12.419,73
Jun/2022	3.123,62	1.654,96	1.412,39	7.356,89	164,00	13.711,86
Jul/2022	3.740,16	2.006,02	1.397,49	8.707,97	2.718,17	18.569,80
Ago/2022	2.849,55	1.584,70	1.189,41	7.544,19	115,00	13.282,84
Set/2022	2.984,26	1.715,04	1.405,21	7.633,00	94,67	13.832,17
Out/2022	2.884,78	1.567,20	1.181,13	6.497,47	141,45	12.272,03
Nov/2022	2.849,55	1.567,20	1.147,46	6.505,14	178,48	12.247,83
Dez/2022	2.849,55	1.567,20	1.136,98	6.427,23	177,92	12.158,88
Jan/2023	2.884,78	1.685,00	1.312,49	7.897,00	149,80	13.929,07
Total anual: R\$ 165,177,75						

Fonte: o autor (2023).

Na Tabela 18, estão descritos os gastos anuais com energia elétrica em cada um dos cenários analisados, bem como a economia gerada em comparação com o cenário de referência.

De posse dos resultados, conclui-se que o modelo de contratação mais adequado para o prédio é a tarifa horária verde com demanda contratada de 56 kW, que gerou uma economia estimada de R\$ 15.554,46 ao ano. Recomenda-se, portanto, que seja feito

Tabela 18 – Comparação entre os diferentes cenários de contratação de demanda.

Cenário	Referência	Tarifa Verde	Tarifa Azul
Total Anual (R\$)	177.479,41	161.924,95	165,177,75
Economia (R\$)	-	15.554,46	12.301,66

Fonte: o autor (2023).

junto à concessionária a readequação do contrato de fornecimento de energia, a fim de se reduzir os gastos com energia elétrica.

Se considerarmos a possibilidade de se haver um aumento de carga no estabelecimento devido à instalação de novos equipamentos no local, pode-se contratar uma demanda um pouco acima do valor sugerido. Assim, a Tabela 19 mostra os gastos anuais para cada demanda contratada e suas respectivas economias em relação ao valor de referência, considerando a contratação através da modalidade tarifária verde.

Tabela 19 – Gasto e economia anuais simulados em relação aos valores de demanda contratada na modalidade tarifária verde.

Demanda contratada (kW)	Gastos anuais (R\$)	Economia (R\$)
115 (VR*)	177.479,41	-
56	161.924,95	15.554,46
60	161.990,25	15.489,16
65	162.508,47	15.240,94
70	163.552,23	13.927,18
75	164.988,83	12.490,58

*VR: valor de referência.

Fonte: o autor (2023).

Percebe-se que para valores de demanda contratada de até 65 kW, a diferença entre o montante economizado anualmente é de cerca de R\$ 300,00, o que possibilita a contratação um pouco acima do ideal, no caso de haver a perspectiva de se instalar novos equipamentos que aumentem o consumo da unidade. A partir de 70 kW de demanda contratada, essa diferença aumenta para mais de R\$ 1.600,00. Assim, recomenda-se a contratação em valores superiores a essa faixa apenas em caso de necessidade devido ao aumento efetivo da carga instalada no prédio.

Cabe ressaltar, porém, que os valores obtidos nas simulações são estimados, e não necessariamente serão refletidos na prática. Isso ocorre pois outros fatores, como variação das tarifas de energia, bandeiras tarifárias e até mesmo mudanças no perfil de consumo da unidade, podem causar impactos nos gastos após a adequação tarifária. Mesmo assim, pode-se considerar que a análise realizada obteve resultados satisfatórios, e a implementação desta AEE não gera custos ao cliente, havendo assim retorno financeiro imediato.

4.2 Correção do fator de potência

Conforme foi visto na Tabela 10, se gastou no PEF Madre Pelletier, no período entre fevereiro de 2022 e janeiro de 2023, R\$ 1.855,62 em multas devido ao consumo de energia reativa excedente. Isso significa que a instalação como um todo possui um fator de potência abaixo do mínimo permitido pela REN 1000:2021, que é de 0,92. Assim, foi calculado o valor médio de FP para cada mês com base na Equação 11. A Tabela 20 mostra os resultados obtidos.

Tabela 20 – Fator de potência calculado para cada mês.

Mês/Ano	Consumo Energia (kWh)	Energ. Reativa Excedente (kVArh)	Fator de Potência
Fev/2022	24.869	399	0,915
Mar/2022	21.723	318	0,915
Abr/2022	21.838	483	0,913
Mai/2022	18.448	640	0,908
Jun/2022	20.784	589	0,910
Jul/2022	24.104	213	0,917
Ago/2022	20.844	413	0,913
Set/2022	21.455	340	0,915
Out/2022	18.236	508	0,911
Nov/2022	18.194	641	0,908
Dez/2022	17.982	639	0,908
Jan/2023	21.941	538	0,912
Total	250.418	5.721	0,912

Fonte: o autor (2023).

Considerando-se o pior caso dentre os valores calculados (FP de 0,908 nos meses de novembro e dezembro de 2022), é preciso fazer com que esse fator de potência atenda o mínimo exigido pela norma. Para isso, utilizou-se o fator multiplicador para se obter a potência reativa necessária a fim de se eliminar o excedente reativo, conforme a Tabela 21. Neste estudo, preferiu-se considerar o necessário para se chegar a um fator de potência unitário, pois futuras ampliações podem introduzir equipamentos que possam aumentar o consumo de energia reativa.

Tabela 21 – Fatores multiplicadores para correção do fator de potência.

FP atual	FP desejado
	1,00
0,91	0,456
0,92	0,426
0,93	0,395
0,94	0,363

0,95	0,329
------	-------

Fonte: adaptado de WEG (2023).

Com isso, pode-se calcular a potência reativa a ser usada na compensação utilizando-se do fator multiplicativo e da demanda média nos últimos 12 meses. Através dos valores descritos na Tabela 9, foram calculadas as médias mensais de demanda nos horários de ponta e fora de ponta no período analisado. Após, foi feita uma média ponderada, considerando que o horário de ponta corresponde a 3 das 24 horas de um dia, enquanto que o horário fora de ponta corresponde às demais 21 horas. Com isso, chegou-se a um valor de demanda média de 61,13 kW.

Então, foi calculada a potência reativa a ser instalada para compensar o fator de potência da instalação até o valor unitário. Isso é feito conforme a Equação 24.

$$Q_c = FM \times D_{méd} = 0,456 \times 61,13 \text{ kW} = 27,88 \text{ kVAr} \quad (24)$$

Portanto, para se corrigir o fator de potência da instalação, é necessário ter instalada uma potência reativa de 27,88 kVAr. Pelo fato do estabelecimento possuir uma carga majoritariamente indutiva (ar-condicionados, lâmpadas fluorescentes, bombas hidráulicas e compressores), a melhor opção é realizar a correção através da instalação de um banco de capacitores. Optou-se, então, por um modelo de 30 kVAr, que é suficiente para equilibrar o FP e não fica com uma quantidade grande de carga ociosa.

Para esta análise, foi escolhido um banco de capacitores modelo BCW30V53T, da WEG, custando R\$ 1.729,00. Considerando-se ainda os valores referentes à instalação do equipamento como sendo cerca de 10% do custo de aquisição, chega-se a um investimento de R\$ 1.901,90, sendo esta uma estimativa do valor a ser gasto.

Ao serem comparados o valor acima especificado com o gasto anual com multas por excedente de energia reativa, que é de R\$ 1.592,96 se forem somados os valores mensais da coluna Multas da Tabela 15, vê-se que no segundo ano de uso tal investimento já teria seu retorno consumado, o que indica a viabilidade de ser implementado na unidade prisional, além de gerar uma economia de cerca de R\$ 1.600,00 reais anuais.

4.3 Sistema de iluminação

Com relação à análise do sistema de iluminação, os dados obtidos nos levantamentos de campo foram inseridos no *software* DIALux EVO 10.1 para simulação dos cenários de iluminação. A Tabela 22 mostra as refletâncias das paredes, dos pisos e dos tetos de

cada ambiente conforme as características construtivas, ou seja, cor e tipo do material empregado nas superfícies.

Tabela 22 – Índice de refletância (IR) dos ambientes do PEF Madre Pelletier.

Área Administrativa						
Ambiente	Teto		Parede		Piso	
	Cor/Tipo	IR (%)	Cor/Tipo	IR (%)	Cor/Tipo	IR (%)
Hall	Amarelo	69	Amarelo/Lajota	69	Pedra	21
Circ. Direção	Amarelo	69	Amarelo	69	Parquê	34
Direção	Amarelo	69	Amarelo	69	Parquê	34
Recepção	Branco	86	Branco	86	Pedra	21
Circ. Adm	Branco	86	Branco	86	Pedra	21
ACLC	Branco	86	Branco	86	Bege	49
Segurança	Branco	86	Branco	86	Bege	49
Circ. Parlat.	Branco	86	Amarelo	69	Bege	49
Parlatórios	Branco	86	Amarelo	69	Bege	49
Atend. Téc. 1	Branco	86	Branco	86	Bege	49
Direção Geral	Branco	86	Branco	86	Bege	49
Refeitório	Cinza	23	Lajota Branca	86	Granitina	30
Setor Técnico	Branco	86	Cinza Claro	35	Bege	49
Atend. Téc. 2.1	Branco	86	Branco	86	Bege	49
Atend. Téc. 2.2	Branco	86	Branco	86	Bege	49
Unidade Básica de Saúde (UBS)						
Recep. UBS	Branco	86	Roxo	53	Bege	49
Consult. 1	Branco	86	Branco	86	Bege	49
Estoque	Branco	86	Branco	86	Bege	49
Nutrição	Branco	86	Roxo	53	Bege	49
Consult. 2	Branco	86	Branco	86	Granitina	30
Odontol.	Branco	86	Branco	86	Bege	49
Psicólogo	Branco	86	Branco	86	Bege	49
Atend. Social	Branco	86	Branco	86	Bege	49
Circ. Enferm.	Branco	86	Branco	86	Bege	49
Enfermaria	Branco	86	Lajota Branca	86	Bege	49
Revista						
Entrada	Branco	86	Roxo	53	Bege	49
Raio-x	Branco	86	Roxo	53	Bege	49
Circulação	Branco	86	Roxo	53	Bege	49
Revista Masc.	Branco	86	Roxo	53	Bege	49

Revista Fem.	Branco	86	Roxo	53	Bege	49
Rev.Espera	Branco	86	Roxo	53	Bege	49

Fonte: o autor (2023).

Os fatores de manutenção considerados para os ambientes são para um período de uso sem limpeza de 1 ano, considerando os ambientes de atendimento às apenadas da UBS (consultórios e enfermaria) como sendo muito limpos, o refeitório da área administrativa como sendo limpo e demais ambientes como sendo normais.

Para a devida análise, foram simulados dois cenários diferentes de iluminação: um com as lâmpadas existentes no local e outro substituindo-se essas lâmpadas por modelos de LED, mais eficientes e com menor consumo de energia. Em todas as simulações realizadas, foram desprezados os efeitos da iluminação exterior através das aberturas da edificação. Além disso, por questões de praticidade devido à complexidade do projeto como um todo, escolheu-se utilizar o método dos lúmens como forma de calcular o fluxo luminoso total e, conseqüentemente, o número de luminárias necessárias em cada um dos ambientes de trabalho.

4.3.1 Cenário 1

Neste primeiro cenário, foram considerados os modelos de lâmpadas existentes no local. Porém, conforme visto na Tabela 8, diversos ambientes atualmente não possuem a iluminância mínima exigida pela norma conforme o tipo de atividade exercida neles. Assim, onde necessário, foi preciso considerar uma quantidade de luminárias que atendesse os requisitos mínimos definidos pela norma. Para este caso, as lâmpadas utilizadas estão mostradas na Tabela 23 e suas quantidades são apresentadas nas Tabelas 24, 25 e 26.

Tabela 23 – Características das luminárias instaladas no cenário 1.

Modelo	TL-D 36W	Standart LEDBulb 9W	TrueForce Core HB 24W E27
Tipo	1.a	1.b	1.c
Potência (W)	36	9	24
Fluxo luminoso (lm)	2500	806	2800
Rendimento luminoso (lm/W)	69,4	89	116
Temperatura de cor (K)	6.200	6.500	6500
IRC (%)	72	80	80
Vida útil (h)	10.000	25.000	25.000

Fonte: o autor (2023).

Tabela 24 – Quantidade de luminárias em cada ambiente na área administrativa para o cenário 1.

Ambiente	Modelos			Nº Total
	1.a	1.b	1.c	
Hall de Entrada	6	-	-	6
Circ. Dir.	-	8	-	8
Direção	-	42	-	42
Recepção	24	-	-	24
Circ. Adm	10	-	-	10
ACLC	18	-	-	18
Segurança	12	-	-	12
Circ. Parlatórios	-	3	-	3
Parlatório 1	-	-	2	2
Parlatório 2	-	-	2	2
Atend. Téc 1	12	-	-	12
Advogado	-	-	6	6
Direção Geral	16	-	-	16
Refeitório	4	-	3	7
Setor Técnico	30	-	-	30
Atend. Téc. 2.1	-	-	4	4
Atend. Téc. 2.2	-	-	4	4
Total	132	53	21	206

Fonte: o autor (2023).

Tabela 25 – Quantidade de luminárias em cada ambiente na UBS para o cenário 1.

Ambiente	Modelos			Nº Total
	1.a	1.b	1.c	
Recepção	-	-	6	6
Consultório 1	6	-	-	6
Estoque	2	-	-	2
Nutrição	-	-	12	12
Consultório 2	-	-	4	4
Cons. Odonto	-	-	3	3
Enfermaria	-	-	4	4
Psicólogo	-	-	4	4
Atend. Social	-	-	4	4
Circ. Psico	2	-	-	2
Total	10	-	37	47

Fonte: o autor (2023).

Tabela 26 – Quantidade de luminárias em cada ambiente no setor de revista para o cenário 1.

Ambiente	Modelos			Nº Total
	1.a	1.b	1.c	
Entrada	4	-	-	4
Raio-x	4	-	-	4
Circulação	-	-	2	2
Revista Masc.	4	-	-	4
Revista Fem.	8	-	-	8
Guarda	6	-	-	6
Total	26	-	2	28

Fonte: o autor (2023).

Os resultados obtidos pela simulação do cenário 1 no DIALux EVO estão expressos na Tabela 27.

Tabela 27 – Resultados das simulações em cada ambiente para o cenário 1.

Ambiente	Iluminância \bar{E} (lx)				Uniformidade g_1
	Média	Mín.	Máx.	Norma	
Área Administrativa					
Hall de Entrada	111	37	190	100	0,34
Corredor Dir.	114	79	133	100	0,70
Direção	521	408	608	500	0,78
Recepção	299	219	332	300	0,73
Circ. Adm.	154	64	237	100	0,42
ACLC	638	554	719	500	0,87
Segurança	629	525	708	500	0,83
Circ. Parlatório	129	103	144	100	0,80
Parlatório 1	223	196	245	200	0,88
Parlatório 2	223	202	245	200	0,91
Atend. Téc 1	612	498	690	500	0,81
Advogado	565	472	621	500	0,84
Direção Geral	544	466	615	500	0,86
Refeitório	267	68,8	813	200	0,26
Setor Técnico	521	362	648	500	0,69
Atend. Téc. 2.1	502	443	557	500	0,88
Atend. Téc. 2.2	498	441	547	500	0,89
Unidade Básica de Saúde (UBS)					
Recepção	339	217	410	300	0,64

Consultório	538	47	609	500	0,09
Estoque	189	11,8	252	200	0,06
Adm UBS	574	418	680	500	0,73
Consultório 2	551	311	625	500	0,56
Cons. Odonto	515	362	602	500	0,70
Enfermaria	621	47,8	694	500	0,08
Psicólogo	592	477	687	500	0,81
Atend. Social	542	464	600	500	0,86
Circ. Psico	436	280	678	100	0,64
Revista					
Entrada	214	20,4	353	100	0,10
Raio-x	372	44	458	300	0,10
Circulação	348	182	423	100	0,52
Revista Masc.	315	190	425	300	0,60
Revista Fem.	448	270	572	300	0,60
Guarda	253	169	349	150	0,67

Fonte: o autor (2023).

4.3.2 Cenário 2

No cenário 2, foi considerada a substituição das lâmpadas existentes por modelos mais eficientes, além da instalação de luminárias refletores para concentrar a luz nos planos de trabalho.

As lâmpadas escolhidas foram os modelos CorePro LEDtube 1200mm HO 18W865 C W G e TrueForce Core HB 40W E27 865 WV, ambas da marca Philips. As luminárias utilizadas para as lâmpadas tubulares foram mantidas as mesmas, e as que irão compor o conjunto com as lâmpadas bulbos são prismáticas pendentes de 16 polegadas e com refletor em poliestireno/acrílico moldado, da marca Claron. Todas estas informações estão expostas na Tabela 28.

As Tabelas 29, 30 e 31 indicam as quantidades de pontos de iluminação em cada um dos ambientes.

Tabela 28 – Características das luminárias utilizadas no cenário 2.

Modelo	CorePro LEDtube 1200mm	TrueForce Core
	HO 18W865 C W G	HB 40W E27 865 WV
Tipo	2.a	2.b
Potência (W)	18	40
Fluxo luminoso (lm)	2100	4800
Rendimento lum. (lm/W)	116	120
Temperatura de cor (K)	6.500	6500
IRC (%)	80	80
Vida útil (h)	25.000	25.000

Fonte: o autor (2023).

Tabela 29 – Quantidade de luminárias em cada ambiente na área administrativa para o cenário 2.

Ambiente	Modelos		Nº Total
	2.a	2.b	
Hall de Entrada	6	-	6
Circ. Dir.	-	2	2
Direção	-	4	4
Recepção	24	-	24
Circ. Adm	10	-	10
ACLC	12	-	12
Segurança	12	-	12
Circ. Parlatórios	-	1	1
Parlatório 1	-	1	1
Parlatório 2	-	1	1
Atend. Téc 1	12	-	12
Advogado	-	2	2
Direção Geral	16	-	16
Refeitório	-	4	4
Setor Técnico	-	6	6
Atend. Téc. 2.1	-	2	2
Atend. Téc. 2.2	-	2	2
Total	92	25	117

Fonte: o autor (2023).

Tabela 30 – Quantidade de luminárias em cada ambiente na UBS para o cenário 2.

Ambiente	Modelos		Nº Total
	2.a	2.b	
Recepção	-	2	2
Consultório 1	6	-	6
Estoque	2	-	2
Nutrição	-	3	3
Consultório 2	-	2	2
Cons. Odonto	-	1	1
Enfermaria	-	2	2
Psicólogo	-	1	1
Atend. Social	-	1	1
Circ. Psico	-	1	1
Total	8	13	21

Fonte: o autor (2023).

Tabela 31 – Quantidade de luminárias em cada ambiente no setor de revista para o cenário 2.

Ambiente	Modelos		Nº Total
	2.a	2.b	
Entrada	4	-	4
Raio-x	4	-	4
Circulação	-	1	1
Revista Masc.	-	1	1
Revista Fem.	-	2	2
Guarda	6	-	6
Total	14	4	18

Fonte: o autor (2023).

Os resultados obtidos pela simulação do cenário 2 no DIALux são mostrados na Tabela 32.

Tabela 32 – Resultados das simulações em cada ambiente para o cenário 2.

Ambiente	Iluminância \bar{E} (lx)				Uniformidade g_1
	Média	Mín.	Máx.	Norma	
Área Administrativa					
Hall de entrada	115	39	323	100	0,34
Circ. dir.	428	80,8	1061	100	0,19
Direção	535	380	621	500	0,71
Recepção	318	223	373	300	0,70

Circ. adm	173	61,4	319	100	0,35
ACLC	634	539	716	500	0,85
Segurança	628	515	709	500	0,82
Circ. parlatórios	222	177	250	100	0,80
Parlatório 1	448	393	505	200	0,88
Parlatório 2	450	404	504	200	0,90
Atend. téc. 1	612	497	682	500	0,81
Advogado	528	350	696	500	0,66
Direção geral	553	458	641	500	0,83
Refeitório	399	231	562	200	0,58
Setor técnico	580	382	683	500	0,66
Atend. téc. 2.1	824	672	985	500	0,82
Atend. téc. 2.2	817	663	974	500	0,81
Unidade Básica de Saúde (UBS)					
Recepção	435	117	849	300	0,27
Consultório 1	682	47,7	849	500	0,07
Estoque	237	10,6	484	100	0,05
Nutrição	504	279	642	500	0,55
Consultório 2	632	220	835	500	0,35
Cons. Odonto	505	141	1284	500	0,28
Enfermaria	760	37,1	1506	500	0,05
Psicólogo	565	395	678	500	0,70
Atend. Social	598	445	731	500	0,74
Circ. Psico	372	124	2000	100	0,33
Revista					
Entrada	157	14,5	244	100	0,10
Raio-x	301	285	320	300	0,95
Circulação	376	117	841	100	0,31
Revista Masc.	442	123	896	300	0,28
Revista Fem.	627	225	967	300	0,36
Guarda	213	134	266	150	0,63

Fonte: o autor (2023).

4.3.3 Análise de viabilidade econômica do sistema de iluminação

Para o estudo de viabilidade econômica, foi considerado que o sistema fica funcionando 10 horas por dia em todos os ambientes, sendo das 07h até as 17h nos setores administrativo e de revista, e das 08h às 18h na UBS. Além disso, por se tratar de um local

que sempre está ocupado e que precisa manter um nível suficientemente alto de segurança, considerou-se que a edificação funciona durante os 365 dias do ano. A Tabela 33 lista as características gerais das luminárias, enquanto que a Tabela 34 apresenta os resultados com relação aos custos de ambos os cenários.

Tabela 33 – Características das luminárias e lâmpadas utilizadas.

Modelo	Cenário 1			Cenário 2	
	1.a	1.b	1.c	2.a	2.b
Tipo de lâmpada	Fluor.	LED	LED	LED	LED
Potência (W)	36	9	24	18	40
Fluxo Lum. (lm)	2.500	806	2.800	2.100	4.800
Rendimento (lm/W)	69,44	89,56	116,67	116,67	120,00
Vida útil (horas)	10.000	25.000	25.000	25.000	25.000
Nº luminárias	84	-	-	57	42
Nº lâmpadas p/ lum.	2	1	1	2	1
Nº total de lâmpadas	168	53	60	114	42
Horas de func. p/ ano	3.650	3.650	3.650	3.650	3.650
Vida útil (anos)	2,74	6,85	6,85	6,85	6,85

Fonte: o autor (2023).

Tabela 34 – Custos totais e anuais de cada cenário.

Modelo	Cenário 1			Cenário 2	
	1.a	1.b	1.c	2.a	2.b
Preço unit. lamp. (R\$)	15,99	9,59	67,99	32,99	107,99
Preço unit. lum. (R\$)	-	-	-	-	60,00
Custo total tipo (R\$)	2.686,32	508,27	4.079,40	3.760,86	7.055,58
Custo anual tipo (R\$)	980,51	74,21	595,59	549,09	1.030,11
Custo total cenário (R\$)		7.273,99		10.816,44	
Custo anual cenário (R\$)		1.650,31		1.579,20	
Potência total cenário (kW)		7.965		3.732	
Consumo anual (kWh)		29.072		5.894	
Tarifa de energia (R\$/kWh)		0,40367		0,40367	
Custo anual consumo (R\$)		11.735,60		2.379,06	
Gasto anual total (R\$)		13.385,90		3.958,26	

Fonte: o autor (2023).

Analisando-se os resultados, é possível ver que apesar de possuir um custo de implementação mais alto, o cenário 2 possui um consumo anual de energia de 5.894 kWh, enquanto que no cenário 1 o consumo anual é de 29.072 kWh, uma economia de 23.178 kWh/ano. Na mesma proporção, os gastos anuais do cenário 2 ficaram em R\$ 3.958,26, enquanto que os gastos anuais do cenário 1 foram de R\$ 13.385,90, uma diferença de R\$ 9.427,64. A título de comparação, esse valor corresponde a mais da metade da média mensal de gastos com energia elétrica no período de fevereiro de 2022 a janeiro de 2023, o

que significa dizer que a economia atingida em um ano equivale a aproximadamente 15 dias de uso do sistema de iluminação.

Para corroborar os resultados observados, foi calculado o VPL do investimento conforme a Equação 21, considerando-se um tempo de garantia de 5 anos e uma TMA de 5%. O valor encontrado foi de R\$ 32.341,79, o que indica a viabilidade da substituição das lâmpadas e luminárias dos ambientes.

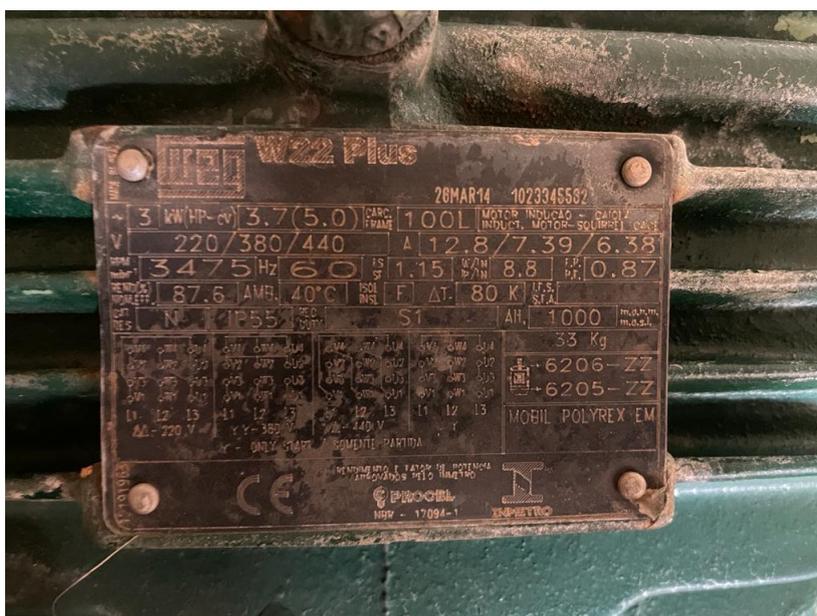
É importante reforçar que o cenário 1 não é o mesmo que se encontra instalado no local atualmente, mas sim os valores que seriam encontrados caso o número de luminárias fosse tal que cumprisse com os requisitos mínimos da norma, sendo essa condição imprescindível em qualquer projeto luminotécnico.

4.4 Cargas motrizes

Para as cargas motrizes, foi analisada a possibilidade de substituição do conjunto motobomba responsável pelo bombeamento de água até o reservatório elevado. Conforme dito na Seção 3.5, apesar do presídio possuir oficinas de trabalho para as apenadas, nenhuma das atividades realizadas exige o uso de motores. Sendo assim, o número de cargas motrizes no local é pequeno.

A motobomba instalada no local é um W22 Plus fabricado no ano de 2014. Mesmo assim, devido à ação do tempo, se encontra em estado de relativa deterioração, bastante suja e com certo nível de oxidação da carcaça. Apesar disso, foi possível obter os dados de placa. As informações foram descritas na Tabela 12.

Figura 16 – Dados de placa da motobomba do reservatório do PEF Madre Pelletier.



Fonte: o autor (2023).

Para a referida análise, foi utilizado o *software* See+, oferecido pela WEG, empresa de fabricação de motores sediada em Jaraguá do Sul - SC. Nele, o usuário informa os dados dos motores a serem substituídos, como potência em CV, número de polos, quantidade de motores, horas trabalhadas por dia, dias de funcionamento por ano, idade do motor e número de rebobinagens. Além disso, pode-se escolher a linha de motores eficientes da WEG pelo qual se quer substituir os motores atuais, bem como simular um plano de trocas envolvendo as máquinas a serem substituídas, e também um plano de financiamento. Com os dados disponibilizados, é feito o cálculo do retorno financeiro, indicando o potencial de economia em porcentagem, a economia estimada em kWh/ano TIR, além mostrar os indicadores TIR, VPL e *payback*. Podem ser considerados até três cenários distintos, conforme as tarifas de energia vigentes.

As Figuras 17 e 18 mostram as interface do *software*, tanto na entrada de dados quanto na análise de retorno financeiro:

Figura 17 – Dados de entrada do *software* WEG See+.

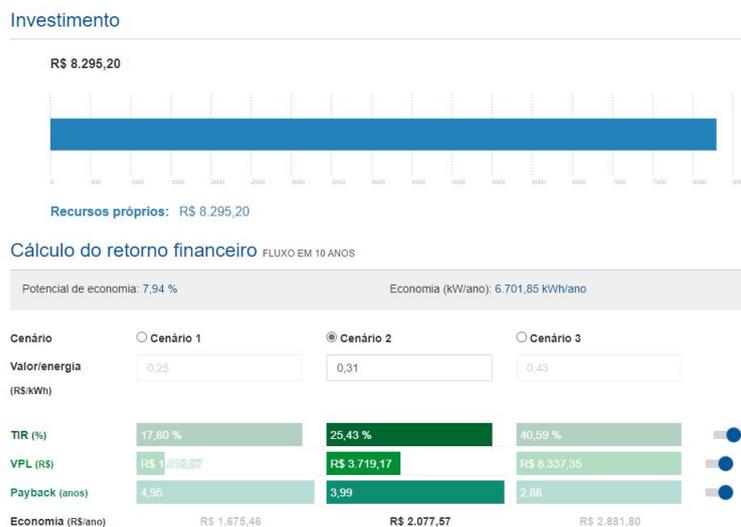
The image shows the 'Dados do motor' (Motor Data) section of the WEG See+ software interface. It features several adjustable parameters:

- Potência do motor em cv:** A slider set to 15,00 (11 kW).
- Número de polos:** A slider set to 2 (3530 RPM).
- Quantidade de motores:** A slider set to 1.
- Linha de motor eficiente WEG:** A dropdown menu showing 'W22 IR3 Premium Trifásico'.
- Preço médio do motor eficiente WEG:** A slider set to 8.295,20.
- Horas trabalhadas/ano:** Two input fields: 'horas/dia' (24,00) and 'dias/ano' (268).
- Idade do motor:** A slider set to 17 (anos).
- Número de rebobinagens:** A slider set to 2.

At the bottom, there are two toggle switches: 'Considerar Plano de Troca' (checked) and 'Simular financiamento' (unchecked).

Fonte: WEG (2023).

Figura 18 – Análise de retorno financeiro do software WEG See+.



Fonte: WEG (2023).

A simulação foi realizada considerando o preço médio de aquisição dos motores de duas linhas de alto rendimento da WEG: W22 IR3 Premium e W22 Super Premium. A linha W22 conta com equipamentos de alta eficiência e rendimento, feitos especialmente com o objetivo de se reduzir o consumo de energia na indústria, sendo que os motores W22 IR3 Premium atendem aos níveis de rendimento especificados na Portaria Interministerial nº 1, de 29 de junho de 2017, que determina o nível mínimo de rendimento em IR3 (faixa de potência de 0,16 a 500 cv, de 2 a 8 polos), válido para todos os motores comercializados. Motores W22 Super Premium possuem níveis de eficiência acima dos exigidos pela legislação vigente (WEG, 2022).

Figura 19 – Motor da linha W22 da WEG.



Fonte: WEG (2023).

As especificações dos motores selecionados estão descritas conforme a Tabela 35:

Tabela 35 – Características dos motores de 5cv da linha W22.

Modelo	IR3 Premium	Super Premium
Tensão nominal (V)	220	220
Corrente nominal (A)	12,8	12,7
Nº de polos	2	2
Frequência (Hz)	60	60
Rotação (RPM)	3510	3515
Rendimento* (%)	88,5	90,0
Fator de Potência*	0,86	0,85

*Tanto para rendimento quanto para fator de potência, foram considerados os motores funcionando com 100% da carga.

Fonte: WEG (2023).

4.4.1 Análise de viabilidade econômica das cargas motrizes

Para a análise de viabilidade econômica, foram considerados três cenários diferentes com relação à tarifa de energia: bandeira verde (sem adicional de tarifa), bandeira vermelha patamar I (com adicional de R\$ 0,06500 por kWh) e bandeira vermelha patamar II (com adicional de R\$ 0,09795 por kWh). O valor base de tarifa considerado foi o da modalidade tarifária verde no horário fora de ponta para consumidores do subgrupo A4, vigente em 23 de março de 2023, conforme a Tabela 13.

Após a inserção dos dados da motobomba, presentes na Tabela 12, no aplicativo, foram obtidos os dados relativos à análise de viabilidade econômica da substituição proposta. Os mesmos são mostrados na Tabela 36.

Tabela 36 – Cálculo do retorno financeiro da substituição da motobomba do reservatório (fluxo em 10 anos).

Modelo	IR3 Premium			Super Premium		
	1	2	3	1	2	3
Preço Médio (R\$)	3.744,75			4.991,10		
Investimento (R\$)	3.744,75			4.991,10		
Cenários	1	2	3	1	2	3
Valor da Tarifa (R\$/kWh)	0,40367	0,46867	0,50162	0,40367	0,46867	0,50162
TIR (%)	-12,38%	-10,15%	-9,09%	-8,85%	-6,40%	-5,22%
VPL (R\$)	-2.667,54	-2.500,19	-2.415,36	-3.193,79	-2.912,53	-2.769,95
Payback (anos)	20,69	17,82	16,65	16,41	14,13	13,20

Cenário 1: bandeira tarifária verde, sem adicional tarifário

Cenário 2: bandeira tarifária vermelha I, adicional de R\$0,06500/kWh

Cenário 3: bandeira tarifária vermelha II, adicional de R\$0,09795/kWh

Fonte: o autor (2023).

Conforme mostram os resultados, em todos os cenários simulados a substituição da motobomba presente na instalação por uma nova não se mostra como um investimento viável a ser feito. Isso está exemplificado nas TIRs e nos VPLs: todos os valores resultantes

da análise foram negativos, o que indica a inviabilidade desta AEE. Além disso, os valores de *payback* variam entre 20,69 e 13,20 anos. Isso significa que quando a substituição tiver o seu valor recuperado, já será o momento de avaliar uma nova substituição do equipamento, o que impede que haja um ganho efetivo na troca. Assim sendo, recomenda-se que se mantenha a motobomba atualmente instalada no local, havendo a necessidade de troca apenas em caso de falha mecânica ou quaisquer avarias que impeçam o correto funcionamento da mesma, ou em caso de aumento da capacidade do reservatório que resulte em uma necessidade de se redimensionar completamente o sistema.

4.5 Economia esperada

Para o cálculo do total economizado com as ações a serem implementadas, considerou-se apenas as que retornaram resultado favorável a suas implementações. Assim, o montante economizado em um ano está exposto na Tabela 37.

Tabela 37 – Economia potencial com a implementação das AEEs propostas.

	Economia (R\$)
Análise tarifária	15.554,46
Correção FP	1.592,96
Iluminação	9.427,64
Total	26.575,06

Fonte: o autor (2023).

Portanto, é esperado que com a implementação das mudanças propostas por este projeto, espera-se obter uma economia de cerca de R\$ 26.500,00 anuais. Tal qual foi discutido anteriormente na Seção 4.1, cabe ressaltar que tais valores não necessariamente serão obtidos após as implementações, pois os mesmos dependem de fatores independentes à análise, como tarifa de energia, incidência de impostos, variações no consumo da unidade e possíveis alterações na instalação. Também cabe notar que a economia projetada na troca das luminárias baseia-se no cumprimento das normas exigidas, situação que não ocorre atualmente no local, o que faz com que novos pontos tenham que ser instalados, aumentando os custos. Ainda assim, os resultados apresentados foram considerados satisfatórios e demonstram os benefícios da execução de medidas de eficiência energética como forma de se otimizar o consumo e, conseqüentemente, os gastos com energia.

5 Conclusão

Este trabalho abordou os diferentes aspectos da análise de eficiência energética em estabelecimentos prisionais, realizando um estudo de caso no Presídio Estadual Feminino Madre Pelletier. Foram realizados levantamentos de campo e através de dados obtidos junto à concessionária para que fossem elaboradas ações que visam reduzir o consumo e o gasto com energia elétrica.

Durante a fase de levantamento de dados *in loco*, foram constatadas dificuldades com relação à obtenção de algumas informações importantes para a análise. Por se tratar de um local que possui diversas medidas de segurança, algumas áreas não puderam ser acessadas. Assim, alguns dados tiveram que ser obtidos junto aos administradores da unidade ou, quando a informação não era conhecida, precisaram ser estimados. Estas medidas podem fazer com que aumente a incerteza com relação a alguns resultados obtidos. De posse dos dados, foram analisados quatro pontos principais no estabelecimento: análise tarifária, correção do fator de potência, sistema de iluminação e cargas motrizes.

Com relação à análise tarifária, foram simulados três cenários de contratação: modalidade atualmente contratada, tarifa horária verde otimizada e tarifa horária azul otimizada. Nos dois últimos cenários, entende-se como otimizado o valor de demanda contratada que gere o menor custo anual com energia elétrica. Com isso, determinou-se que a modalidade de contratação que apresentou os melhores resultados foi a tarifa verde com demanda contratada de 56 kW, que gerou uma economia anual de R\$ 15.554,46, uma economia de 8% em relação à modalidade vigente. É importante notar que a modalidade tarifária verde possui, no horário de ponta, uma tarifa de demanda contratada mais barata que a azul. Por outro lado, a tarifa de consumo de energia na modalidade verde nesse mesmo período do dia é mais de 3 vezes a da modalidade azul. Portanto, é desaconselhado o consumo de grandes quantidades de energia elétrica entre 18 e 21h em dias úteis, evitando, assim, maiores gastos.

Sobre a correção do fator de potência da instalação, notou-se que o valor médio no ano foi de 0,91, com mínimo de 0,908. Apesar de não ser um valor muito baixo, ainda assim não está de acordo com o mínimo estipulado pela ANEEL na REN nº 1000:2021a de 0,92, o que acaba incorrendo em um gasto anual de R\$ 1.855,62 em multas por consumo excedente de energia reativa. Por isso, foi sugerida a instalação de um banco de capacitores para se elevar o fator de potência. Uma pesquisa de mercado mostrou que o preço de tais equipamentos gira em torno de R\$ 1.500,00 a R\$ 2.000,00 para a faixa de potência reativa calculada, tendo sido escolhido para este estudo de caso um banco de capacitores modelo WEG BCW30V53T, ao custo R\$ 1.729,00. Com este custo, é possível notar que

em pouco mais de um ano, esta medida retorna o valor investido ao se eliminar as multas por excedente reativo, o que indica a viabilidade da implementação de tal ação.

No estudo do sistema de iluminação, foram levantados os dados construtivos, a quantidade de luminárias e seus tipos de três setores do estabelecimento: administrativo, Unidade Básica de Saúde (UBS) e revista. Também foram realizadas medidas de iluminância nos ambientes destes locais a fim de verificar se os valores mínimos de iluminância estipulados pela NBR ISO/CIE 8995-1:2013 estavam sendo satisfeitos. Com isso, foram montados dois cenários de iluminação: um com as luminárias atualmente instaladas nos locais, porém com a adição de um número suficiente para que as condições da norma fossem satisfeitas; e outro onde foi proposta a substituição das luminárias atuais por modelos mais econômicos. Estes cenários foram então simulados no *software* DIALux Evo 10.1 e, a partir dos dados obtidos, ficou determinado que a troca das luminárias levaria a uma redução no consumo de energia de 23.178 kWh/ano, e uma economia de R\$ 9.427,64. Calculando-se o VPL, obteve-se um valor positivo, o que confirma a viabilidade da implementação das mudanças.

Em relação às cargas motrizes, percebeu-se durante o levantamento de campo que o estabelecimento não possui uma quantidade muito grande de motores. Após uma análise preliminar, decidiu-se por fazer o estudo da bomba do reservatório. Para isso, foram levantados os dados de placa do motor, além da estimativa de tempo diário de funcionamento do sistema. Após, através do aplicativo WEG See+, foram simulados 3 diferentes cenários de tarifas para os motores de duas linhas de alto rendimento da fabricante. Os resultados obtidos da análise econômica indicaram a inviabilidade da substituição do equipamento, com um tempo de retorno que varia entre 20 anos no pior cenário, e 13 anos no melhor cenário. A recomendação, portanto, é pela manutenção do equipamento existente no local, havendo a necessidade de troca apenas no caso de alguma falha que impeça a plena operação da máquina.

Por fim, ao serem somados as economias potenciais de cada ação, obteve-se um valor de R\$ 26.575,06, sendo este resultado considerado satisfatório na redução dos gastos. Existem outros tópicos que não foram abordados neste trabalho, mas que podem produzir um impacto positivo na redução do consumo de energia na instalação. Pode-se citar a substituição dos chuveiros elétricos por um sistema de aquecimento central através de caldeira. Tal possibilidade foi inicialmente levantada neste estudo de caso, porém o fato de a edificação ser muito antiga e tombada pelo patrimônio histórico dificulta a realização de intervenções mais profundas, e fez com que essa ação não fosse sugerida neste estudo de caso. Adicionalmente, pensou-se na implementação de um sistema de microgeração por painéis fotovoltaicos, mas o pouco espaço disponível para a instalação dos equipamentos no local tornou inviável a implantação desta ação.

Com o presente trabalho, pôde-se identificar ações que podem ser implementadas com a finalidade de se reduzir o consumo de energia elétrica no estabelecimento. Por outro lado, alguns dos pontos levantados como possíveis economias não produziram os resultados esperados. Isso se deve muito às características do local escolhido para este estudo, sendo que estas podem ou não ser encontradas em outras unidades prisionais. Cada projeto terá as suas próprias peculiaridades, que produzirão resultados diferentes para cada uma das ações escolhidas.

Estudos futuros a partir do que foi visto neste trabalho podem incluir o projeto de usinas de minigeração e microgeração através de sistema fotovoltaico para enquadramento das casas prisionais na modalidade de autoconsumo remoto, ou seja, quando as unidades consumidoras de titularidade da mesma pessoa física ou jurídica titular da usina podem participar do mesmo sistema de compensação de energia elétrica. Além disso, sugere-se um estudo sobre o uso de geradores a combustão interna em horários de ponta, com o objetivo de se reduzir o consumo de energia elétrica a partir da rede da concessionária, e conseqüentemente, diminuir os gastos provenientes desse consumo. Outra sugestão de estudo a ser realizado em estabelecimentos prisionais envolve o projeto luminotécnico dos ambientes da edificação, otimizando-se o uso de energia e adequando os níveis de iluminância à norma vigente. Por fim, outro estudo pertinente, anteriormente citado por Schaedler (2017), seria a análise da compra de energia elétrica para os estabelecimentos prisionais através do Mercado Livre de Energia, considerando que existe a previsão de abertura deste modelo de contratação para consumidores com menos de 500 kW de carga instalada que desejem migrar para o Ambiente de Contratação Livre. A expectativa é de que seja publicado pela ANEEL e CCEE uma proposta de cronograma de abertura iniciando em 1º de janeiro de 2024, conforme Portaria N^o 465 o MME, de 12 de dezembro de 2019.

Referências Bibliográficas

- ABNT. *NBR ISO/CIE 8995-1:2013: Iluminação de ambientes de trabalho: Parte 1: Interior*. 2013. Rio de Janeiro.
- ANEEL. *Bandeiras Tarifárias*. 2015. Acessado em: 15 de maio de 2022. Disponível em: <<https://antigo.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>>.
- ANEEL. *Por Dentro da Conta de Luz*. 2016. Acessado em: 15 de maio de 2022. Disponível em: <<https://img.sulgipe.com.br/portal/storage/pdf/diversos/PorDentroDaContaEnergia.pdf>>.
- ANEEL. *Resolução Normativa nº 1000*. 2021. Acessado em: 23 de abril de 2023. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>>.
- ANEEL. *Resolução Normativa nº 920*. 2021. Acessado em: 19 de fevereiro de 2023. Disponível em: <<https://agrese.se.gov.br/wp-content/uploads/2022/01/2099.pdf>>.
- ANEEL. *Entendendo a Tarifa*. 2022. Acessado em: 15 de maio de 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/custo-da-energia-que-chega-aos-consumidores>>.
- CEEE-D. *Tabela de Tarifas - Grupo A*. 2023. Acessado em: 05 de março de 2023. Disponível em: <<https://ceee.equatorialenergia.com.br/distribuicao-arquivos/TabeladeTarifasdoGrupoA1.pdf>>.
- CHAPMAN, S. J. *Fundamentos de máquinas elétricas*. 5. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2013.
- ELETROBRÁS. *Metodologia de Realização de Diagnóstico Energético*: Guia básico. Brasília: IEL/NC, 2009.
- EPE. *Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas)*. 2023. Acessado em: 07 de maio de 2023. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>>.
- EVO. *Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance*: Volume i. 2012. Acessado em: 20 de fevereiro de 2023. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/wp-content/uploads/2015/07/PIMVP_2012-PTBR.pdf>.
- FILOMENA, T. P. *ADM01135 - Engenharia Econômica e Avaliações, Aula 8: Payback modificado e tir*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física, Vol 3: Eletromagnetismo*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 390 p.
- KNUTH, V. *Engenharia Econômica e Finanças*. Indaial: Uniasselvi, 2010.
- LUCKTMEIER, T. *Eficiência Energética na Indústria Coureiro-Calçadista: Estudo de caso de um curtume*. 2020. 99f. Projeto de Diplomação - Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

MAMEDE, J. F. *Instalações Elétricas Industriais*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

PEREIRA, F. O. R. *Conforto Ambiental: Iluminação*. 2014. Acessado em: 25 de setembro de 2021. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/1271716/>>.

PROCEL. *Manual de Tarifação da Energia Elétrica*. 2011. Acessado em: 25 de setembro de 2021. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/sebastiao/wa_files/te344/%20aula/%2009/%20-%20manual/%20de/%20tarif/%20en/%20el/%20-%20procel_epp/%20-%20agosto-2011.pdf>.

SANTOS, A. H. M.; BORTONI, E. da C.; GUARDIA, E. C.; NOGUEIRA, F. J. H.; HADDAD, J.; NOGUEIRA, L. A. H.; PIRANI, M. J.; DIAS, M. V. X.; VENTURINI, O.; CARVALHO, R. D. M. de; YAMACHITA, R. A. *Eficiência Energética: Teoria & prática*. 1. ed. Itajubá: Eletrobrás, 2007.

SCHAEDLER, A. M. *Análise Tarifária de Estabelecimentos Prisionais no Grupo A4*. 2017. 74f. Projeto de Diplomação - Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

SCHUTZE, J. A. . A. *Panorama da Eficiência Energética no Brasil*. 2017. Acessado em: 16 de maio de 2022. Disponível em: <<https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2018/11/Relatorio-Panorama-da-Eficiencia-Energetica-no-Brasil.pdf>>.

SOUZA, A. de; GUERRA, J. C. C.; KRUGER, E. L. Os programas brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento do setor elétrico. *Revista Tecnologia e Sociedade*, n. 1, 2011.

SUSEPE. *Presídio Estadual Feminino Madre Pelletier*. 2023. Acessado em: 26 de fevereiro de 2023. Disponível em: <http://www.susepe.rs.gov.br/conteudo.php?cod_menu=203&cod_conteudo=3829f>.

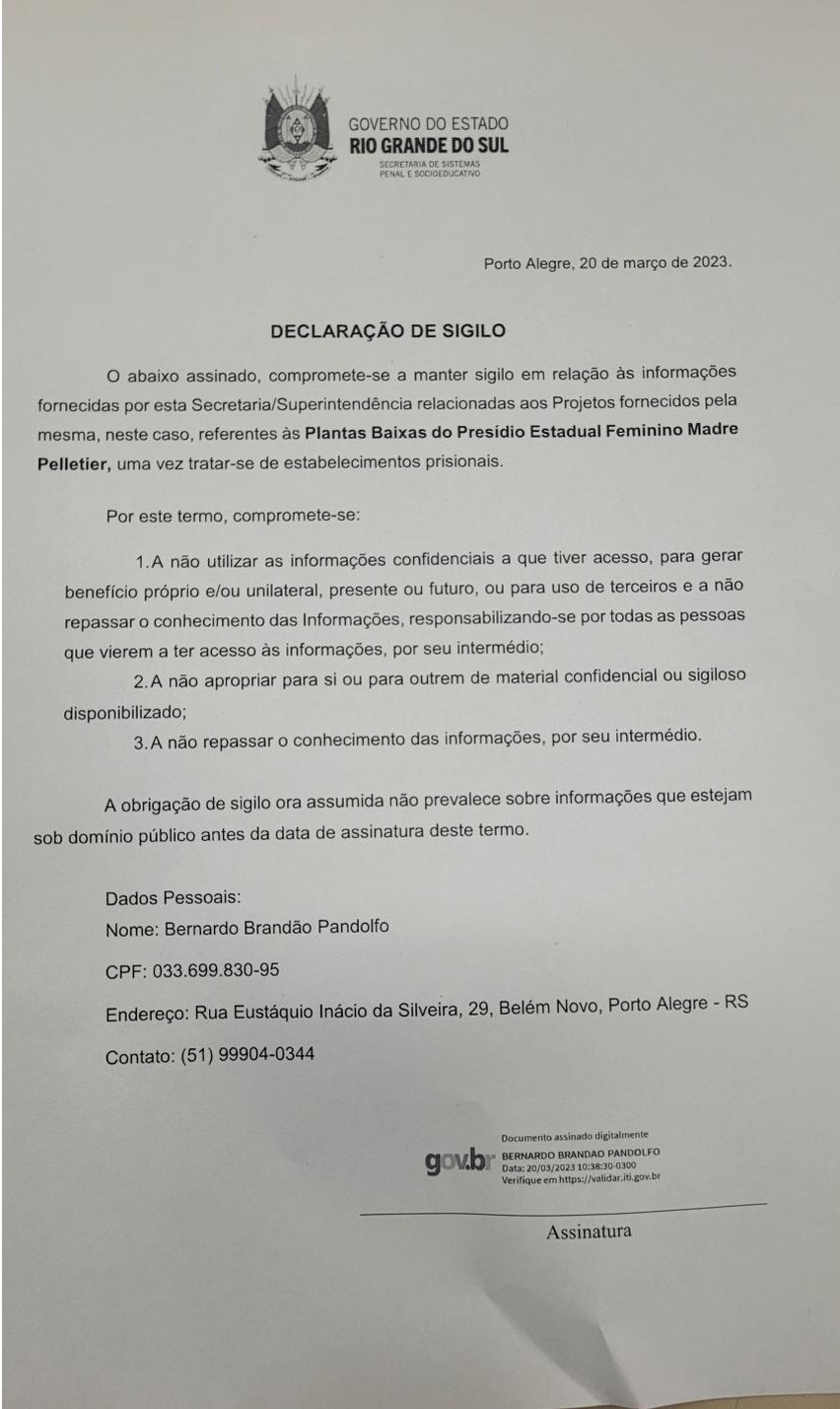
VIANA, A. N. C.; BORTONI, E. da C.; NOGUEIRA, F. J. H.; HADDAD, J.; NOGUEIRA, L. A. H.; VENTURINI, O. J.; YAMACHITA, R. A. *Eficiência Energética: Fundamentos e aplicações*. 1. ed. Campinas: ELEKTRO Eletricidade e Serviços S.A., 2012.

WEG. *Soluções em Eficiência Energética*. 2022. Acessado em: 23 de março de 2023. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h09/h7a/WEG-solucoes-em-eficiencia-energetica-50058390-brochure-portuguese-web.pdf>>.

WEG. *Manual para Correção do Fator de Potência*. 2023. Acessado em: 23 de abril de 2023. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hea/h8b/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf>>.

ANEXO A – Termo de concordância e declaração de sigilo para uso dos dados do PEF Madre Pelletier

Figura 20 – Declaração de sigilo de dados.



 GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DE SISTEMAS
PENAL E SOCIOEDUCATIVO

Porto Alegre, 20 de março de 2023.

DECLARAÇÃO DE SIGILO

O abaixo assinado, compromete-se a manter sigilo em relação às informações fornecidas por esta Secretaria/Superintendência relacionadas aos Projetos fornecidos pela mesma, neste caso, referentes às **Plantas Baixas do Presídio Estadual Feminino Madre Pelletier**, uma vez tratar-se de estabelecimentos prisionais.

Por este termo, compromete-se:

1. A não utilizar as informações confidenciais a que tiver acesso, para gerar benefício próprio e/ou unilateral, presente ou futuro, ou para uso de terceiros e a não repassar o conhecimento das Informações, responsabilizando-se por todas as pessoas que vierem a ter acesso às informações, por seu intermédio;
2. A não apropriar para si ou para outrem de material confidencial ou sigiloso disponibilizado;
3. A não repassar o conhecimento das informações, por seu intermédio.

A obrigação de sigilo ora assumida não prevalece sobre informações que estejam sob domínio público antes da data de assinatura deste termo.

Dados Pessoais:
Nome: Bernardo Brandão Pandolfo
CPF: 033.699.830-95
Endereço: Rua Eustáquio Inácio da Silveira, 29, Belém Novo, Porto Alegre - RS
Contato: (51) 99904-0344

Documento assinado digitalmente
gov.br BERNARDO BRANDÃO PANDOLFO
Data: 20/03/2023 10:38:35-0300
Verifique em <https://validar.rj.gov.br>

Assinatura

Figura 21 – Termo de concordância de realização do estudo de eficiência energética no PEF Madre Pelletier.



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DE SISTEMAS
PENAL E SOCIOEDUCATIVO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E ARQUITETURA PENAL E SOCIOEDUCATIVA

Termo de Concordância com Estudo de Eficiência Energética

Com base no PROA nº 22/0600-0000280-5, visando a busca pela eficiência energética nos estabelecimentos prisionais do estado, manifesta-se a intenção de se realizar um projeto piloto de avaliação energética no Presídio Estadual Feminino Madre Pelletier, localizado na Av. Teresópolis, nº 2727, Bairro Teresópolis, Porto Alegre, RS.

Este projeto tem como objetivo determinar possíveis pontos de melhoria e propor soluções que reduzam o consumo de energia elétrica, além de se avaliar a possibilidade de implementação de micro/minigeração distribuída (sistema fotovoltaico) no local em questão. Para que o projeto transcorra sem percalços, será necessário realizar visitas técnicas para levantamento de cargas no estabelecimento prisional, bem como a análise das faturas de energia elétrica. Estas visitas serão realizadas com o acompanhamento da equipe de engenharia do Departamento de Engenharia e Arquitetura Penal e Socioeducativa (DEAPS), da SSPS, com supervisão de um representante do estabelecimento penal. Além disso, este trabalho será utilizado como Projeto de Diplomação do estagiário Bernardo Brandão Pandolfo, graduando em Engenharia Elétrica pela UFRGS, de forma que se pretende utilizar equipamentos fornecidos pela universidade para a obtenção de dados pertinentes à análise de eficiência energética, e posteriormente o mesmo será submetido à avaliação da banca examinadora para conclusão do projeto.

Os estudos servirão como base para elaborar propostas que visam reduzir os gastos com as faturas de energia elétrica, gerando benefícios tanto do ponto de vista financeiro como também socioambiental. Há também a possibilidade da metodologia utilizada neste projeto ser implementada em outras unidades prisionais do estado, podendo gerar resultados semelhantes e, assim, reduzindo ainda mais os gastos com energia elétrica em todo o sistema prisional.

De acordo,



Rafaelle T. de Assis Fernandes
Diretora PEFMP
AP-18-4440994

RAFAELLE TÁISA DE ASSIS FERNANDES
Diretora do Presídio Estadual Feminino Madre Pelletier

Avenida Borges de Medeiros 1501 - 11º Andar | Telefone: (51) 3288-9351
CEP 90119-900 - Porto Alegre, RS | www.ssp.rs.gov.br

ANEXO B – Fichas técnicas das lâmpadas utilizadas na análise da iluminação

Figura 22 – Ficha técnica da lâmpada tubular fluorescente modelo Philips TL-D 36W/54-765 1SL/25.



TL-D Standard Colours

TL-D 36W/54-765 1SL/25

As lâmpadas TL-D Standard Colors (tubo com diâmetro de 26 mm) criam atmosferas que vão da luz branca (quente) à luz do dia (fria). Lâmpadas com moderada reprodução de cor e eficiência.

Avisos e Segurança

· A lamp breaking is extremely unlikely to have any impact on your health. If a lamp breaks, ventilate the room for 30 minutes and remove the parts, preferably with gloves. Put them in a sealed plastic bag and take it to your local waste facilities for recycling. Do not use a vacuum cleaner.

Dados do produto

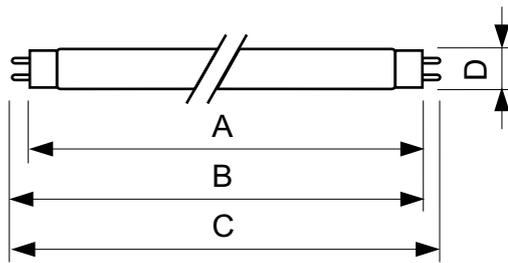
Informações gerais		Corrente de lâmpada (Nom.)	
Casquilho	G13 [Medium Bi-Pin Fluorescent]		0.440 A
Vida útil até 10% de falhas (Nom.)	10000 h	Tensão (Nom.)	103 V
Vida útil até 50% de falhas (Nom.)	13000 h	Controles e dimerização	
Dados técnicos de luz		Regulável	Sim
Código da cor	54-765	Dados mecânicos e de compartimento	
Fluxo luminoso (Nom.)	2500 lm	Forma da lâmpada	T8 [26 mm (T8)]
Designação da cor	Luz dia fria	Aprovação e aplicação	
Manutenção lumínica 10.000 h (Nom.)	75 %	Conteúdo de mercúrio (Hg) (Nom.)	5,0 mg
Manutenção lumínica 2.000 h (Nom.)	90 %	Consumo de energia kWh/1000 h	43 kWh
Manutenção lumínica 5.000 h (Nom.)	80 %	Dados do produto	
Temperatura de cor correlacionada (Nom.)	6200 K	Código do produto completo	871150028621540
Índice de restituição cromática (Nom.)	72	Nome de produto da encomenda	TL-D 36W/54-765 1SL/25
Dados elétricos e de operação		EAN/UPC – Produto	8711500286215
Power (Rated) (Nom)	36,0 W		

TL-D Standard Colours

Código de encomenda	928048505440
Código local	TLD-36W-54
Numerador – Quantidade por embalagem	1
Descrição do código do local calculado B2B	LAMPADA FLUOR TUBULAR TLD-36W-54
Numerador SAP – Embalagens por exterior	25

Nº do material (12NC)	928048505440
Copiar peso líquido (peça)	134,400 g
Código ILCOS	FD-36/62/2A-E-G13

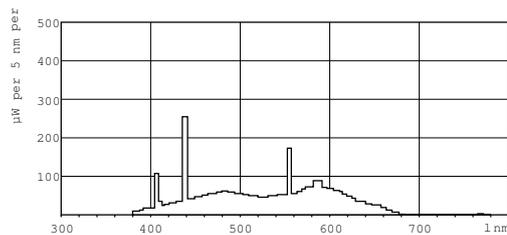
Desenho dimensional



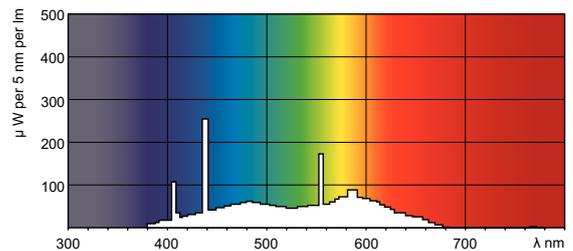
TL-D 36W/54-765 1SL/25

Product	D (max)	A (max)	B (max)	B (min)	C (max)
TL-D 36W/54-765 1SL/25	28 mm	1199,4 mm	1206,5 mm	1204,1 mm	1213,6 mm

Dados fotométricos

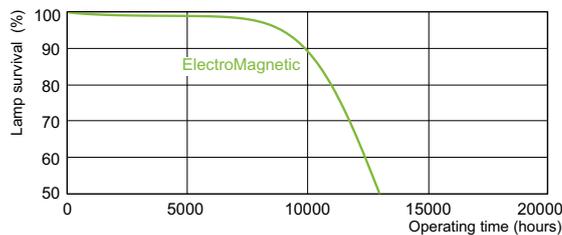


LDPB_TL-DSTD_54-765-Spectral power distribution B/W

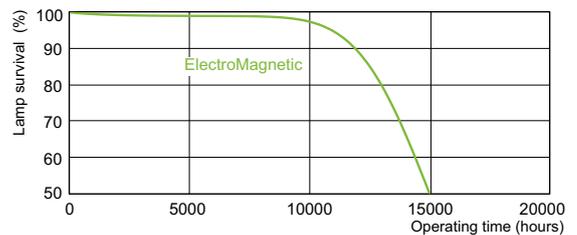


LDPO_TL-DSTD_54-765-Spectral power distribution Colour

Vida útil



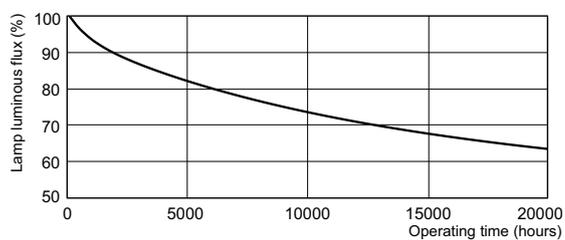
LDLE_TL-DSTD_0001-Life expectancy diagram



LDLE_TL-DSTD_0002-Life expectancy diagram

TL-D Standard Colours

Vida útil



LDLM_TL-DSTD_0001-Lumen maintenance diagram



Figura 23 – Ficha técnica da lâmpada LED modelo Philips Standard LEDBulb 9W E27 6500K W 1PF/40 BR.



Standard LED bulbs

Standard LEDBulb 9W E27 6500K W 1PF/40 BR

As Standard LED bulbs são compatíveis com as instalações existentes com base E27 e foram desenvolvidas para substituição das lâmpadas halógenas incandescentes e de economia de energia. Elas oferecem uma enorme economia de energia e minimizam os custos de manutenção. A Standard LED bulb é a lâmpada perfeita para suas necessidades básicas de iluminação e oferece uma luz agradável e o desempenho que você espera de uma tecnologia LED com preço acessível.

Dados do produto

Informações gerais

Casquilho	E27 [E27]
Compatível com EU RoHS	Sim
Vida útil nominal (Nom.)	25000 h
Ciclo de comutação	50000

Dados técnicos de luz

Código da cor	865 [TCC de 6500K]
Ângulo do feixe (Nom.)	180 °
Fluxo luminoso (Nom.)	806 lm
Designação da cor	Luz dia fria
Temperatura de cor correlacionada (Nom.)	6500 K
Eficiência luminosa (nominal) (Nom.)	89,00 lm/W
Consistência da cor	<6
Índice de restituição cromática (Nom.)	80
LLMF no final da vida útil nominal (Nom.)	70 %

Dados elétricos e de operação

Frequência de entrada	50 a 60 Hz
Power (Rated) (Nom)	9 W
Corrente de lâmpada (Nom.)	77 mA

Potência equivalente	60 W
Tempo de arranque (Nom.)	0,5 s
Tempo de aquecimento até 60% de luz (Nom.)	0,5 s
Fator de potência (Nom.)	0,7
Tensão (Nom.)	100-240 V

Temperatura

Temperatura ambiente (Máx.)	45 °C
Temperatura ambiente (Mín.)	-20 °C
T-máxima na caixa (Nom)	90 °C

Controles e dimerização

Regulável	Não
-----------	-----

Dados mecânicos e de compartimento

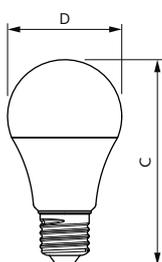
Acabamento da lâmpada	Jateado
Forma da lâmpada	A60 [A 60 mm]

Standard LED bulbs

Aprovação e aplicação	
Consumo de energia kWh/1000 h	- kWh
Dados do produto	
Código do produto completo	871869965591400
Nome de produto da encomenda	Standard LEDBulb 9W E27 6500K W
	1PF/40 BR
EAN/UPC – Produto	8718699655914
Código de encomenda	929002038012

Código local	929002038012
Numerador – Quantidade por embalagem	1
Descrição do código local	Lâmpada LED Bulbo LEDB9W806MVF-40
Numerador SAP – Embalagens por exterior	40
Nº do material (12NC)	929002038012
Copiar peso líquido (peça)	0,038 kg

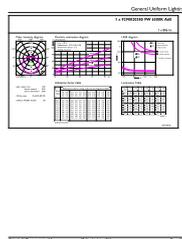
Desenho dimensional



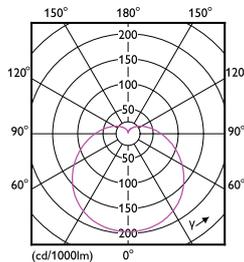
Standard LEDBulb 9W E27 6500K W 1PF/40 BR

Product	D	C
Standard LEDBulb 9W E27 6500K W 1PF/40 BR	60 mm	108 mm

Dados fotométricos



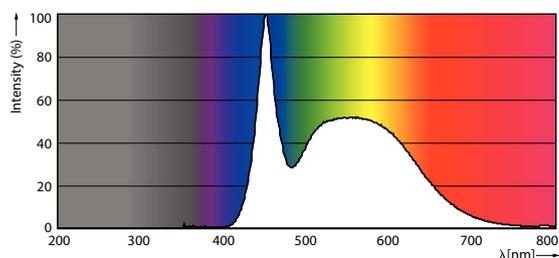
General uniform lighting



Light Distribution Diagram

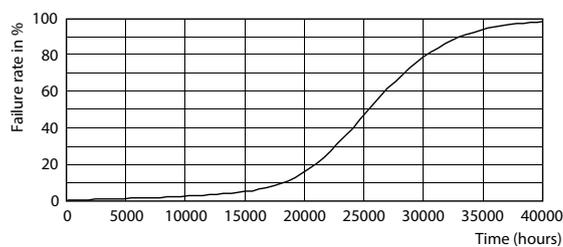
Standard LED bulbs

Dados fotométricos

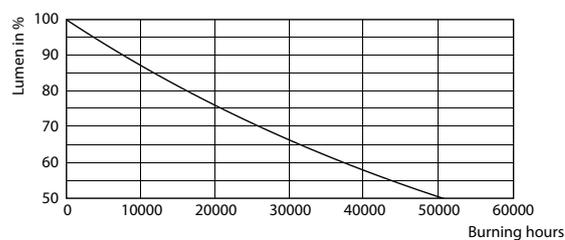


Spectral Power Distribution Colour

Vida útil



Life Expectancy Diagram



Lumen Maintenance Diagram



© 2022 Signify Holding Todos os direitos reservados. Signify não oferece qualquer representação ou garantia quanto à precisão ou à integridade das informações incluídas aqui e não se responsabiliza por qualquer ação em função disso. As informações apresentadas neste documento não se destinam a qualquer oferta comercial e não compõem parte de qualquer cotação ou contrato, a menos que seja acordado pela Signify. Philips e o Philips Shield Emblem são marcas comerciais registradas da Koninklijke Philips N.V.

www.lighting.philips.com
2022, Dezembro 8 - Dados sujeitos a alteração

Figura 24 – Ficha técnica da lâmpada LED modelo Philips LED TrueForce Core HB 24W E27 865 WV.



LED TrueForce Core industrial e de varejo (Highbay – HPI/SON/HPL)

TrueForce Core HB 24W E27 865 WV

As lâmpadas de LED TrueForce Core I&R da Philips são uma solução de LED fácil com rápido retorno financeiro para substituição de lâmpadas de descarga de alta intensidade (HID). Elas oferecem a eficiência energética e os benefícios de vida útil prolongada do LED para substituição de HID, com economias imediatas e baixo investimento inicial. Com um tamanho de lâmpada correto e uma distribuição de luz adequada, você pode atualizá-las facilmente, ignorando o balastro que já existe, e melhorar a qualidade da iluminação.

Dados do produto

Informações gerais	
Casquilho	E27 [E27]
Compatível com EU RoHS	Sim
Vida útil nominal (Nom.)	25000 h
Ciclo de comutação	50000

Dados técnicos de luz

Código da cor	865 [TCC de 6500K]
Ângulo do feixe (Nom.)	180 °
Fluxo luminoso (Nom.)	2800 lm
Designação da cor	Luz dia fria
Temperatura de cor correlacionada (Nom.)	6500 K

Eficiência luminosa (nominal) (Nom.)	116,00 lm/W
Consistência da cor	<6
Índice de restituição cromática (Nom.)	80
LLMF no final da vida útil nominal (Nom.)	70 %

Dados elétricos e de operação

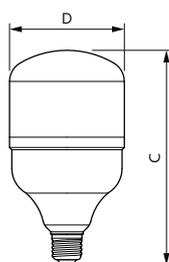
Frequência de entrada	50 a 60 Hz
Power (Rated) (Nom)	24 W
Corrente de lâmpada (Nom.)	195 mA
Potência equivalente	70 W
Tempo de arranque (Nom.)	0,5 s
Tempo de aquecimento até 60% de luz (Nom.)	0,5 s

LED TrueForce Core industrial e de varejo (Highbay – HPI/SON/HPL)

Fator de potência (Nom.)	0.7
Tensão (Nom.)	100-240 V
Temperatura	
Temperatura ambiente (Máx.)	45 °C
Temperatura ambiente (Mín.)	-20 °C
T-máxima na caixa (Nom)	58,8 °C
Controles e dimerização	
Regulável	Não
Dados mecânicos e de compartimento	
Acabamento da lâmpada	Jateado
Forma da lâmpada	Formato T

Dados do produto	
Código do produto completo	871869975019000
Nome de produto da encomenda	TrueForce Core HB 24W E27 865 WV
EAN/UPC – Produto	8718699750190
Código de encomenda	929002354012
Código local	929002354012
Numerador – Quantidade por embalagem	1
Descrição do código local	LÂMPADA LED ALTA POTÊNCIA TF24WE27
Numerador SAP – Embalagens por exterior	6
Nº do material (12NC)	929002354012
Copiar peso líquido (peça)	0,134 kg

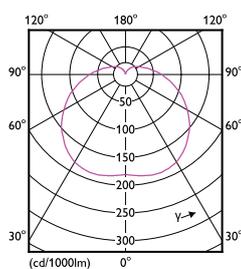
Desenho dimensional



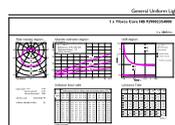
TrueForce Core HB 24W E27 865 WV

Product	D	C
TrueForce Core HB 24W E27 865 WV	105 mm	185 mm

Dados fotométricos



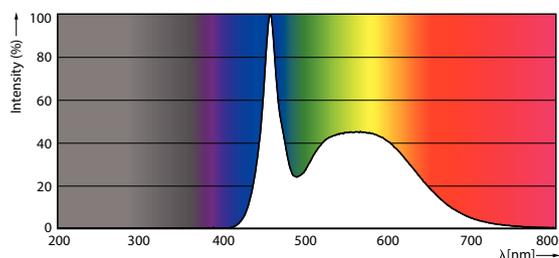
LEDTForce Core HB 24W Tshape E27 865



LEDTForce Core HB 24W Tshape E27 865

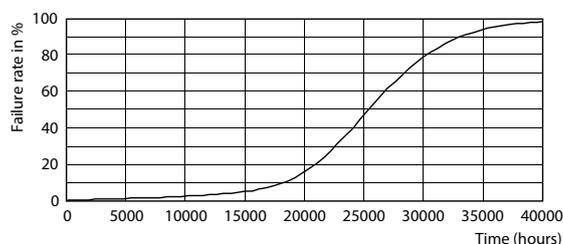
LED TrueForce Core industrial e de varejo (Highbay – HPI/SON/HPL)

Dados fotométricos

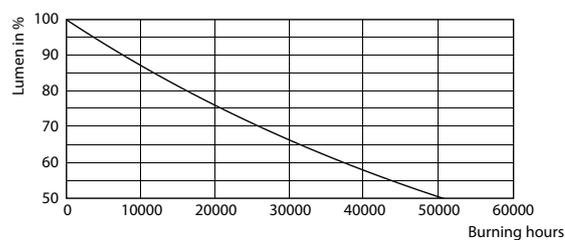


LEDTrueForce Core HB 24W Tshape E27 865

Vida útil



Life Expectancy Diagram



Lumen Maintenance Diagram



Figura 25 – Ficha técnica da lâmpada LED modelo Philips CorePro LEDtube 1200mm HO 18W865 C W G.



CorePro LEDtube EM/ Mains

CorePro LEDtube 1200mm HO 18W865 C W G

CorePro LEDtube é uma solução LED com preço acessível, adequada para substituição das lâmpadas fluorescentes T8 ou T12/T10. O produto oferece um efeito de iluminação natural para uso em aplicações de iluminação geral, bem como economia de energia instantânea – uma solução ecologicamente correta.

Avisos e Segurança

- OBSERVAÇÃO: a economia de energia geral e a distribuição de luz de qualquer instalação com o uso de lâmpadas serão determinadas pelo design da instalação.
- A instalação deve ser feita de acordo com os diagramas de instalação fornecidos com a lâmpada ou disponíveis online. A instalação deve ser feita por um profissional certificado.

Dados do produto

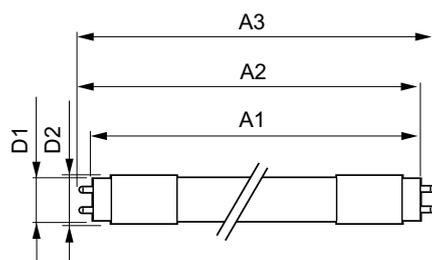
Informações gerais		LLMF no final da vida útil nominal (Nom.) 70 %	
Casquilho	G13 [Medium Bi-Pin Fluorescent]		
Compatível com EU RoHS	Sim		
Vida útil nominal (Nom.)	25000 h		
Ciclo de comutação	50000		
Dados técnicos de luz		Dados elétricos e de operação	
Código da cor	865 [TCC de 6500K]	Frequência de entrada	50 a 60 Hz
Ângulo do feixe (Nom.)	240 °	Power (Rated) (Nom)	18 W
Fluxo luminoso (Nom.)	2100 lm	Corrente de lâmpada (Máx.)	160 mA
Designação da cor	Luz dia fria	Corrente de lâmpada (Mín.)	95 mA
Temperatura de cor correlacionada (Nom.)	6500 K	Tempo de arranque (Nom.)	0,5 s
Eficiência luminosa (nominal) (Nom.)	116,00 lm/W	Tempo de aquecimento até 60% de luz (Nom.)	0,5 s
Consistência da cor	<6	Fator de potência (Nom.)	0,92
Índice de restituição cromática (Nom.)	80	Tensão (Nom.)	100-240 V
		Temperatura	
		Temperatura ambiente (Máx.)	45 °C

CorePro LEDtube EM/Mains

Temperatura ambiente (Mín.)	-20 °C
Armazenamento em T (Intervalo)	-40 °C a 65 °C
Temperatura de armazenamento (Máx.)	65 °C
Temperatura de armazenamento (Mín.)	-40 °C
T-máxima na caixa (Nom)	65 °C
Controles e dimerização	
Regulável	Não
Dados mecânicos e de compartimento	
Comprimento do produto	1200 mm
Forma da lâmpada	Tubo, de duas bases
Aprovação e aplicação	
Produto energeticamente eficiente	Yes
Marcas de aprovação	RoHS compliance
Consumo de energia kWh/1000 h	18 kWh

Dados do produto	
Código do produto completo	871869963763700
Nome de produto da encomenda	CorePro LEDtube 1200mm HO 18W865 C W G
EAN/UPC – Produto	8718699637637
Código de encomenda	929002000172
Código local	929002000172
Numerador – Quantidade por embalagem	1
Descrição do código local	Lâmpada Led Tubular CPLTUBET8-18W2100MVF
Numerador SAP – Embalagens por exterior	25
Nº do material (12NC)	929002000172
Copiar peso líquido (peça)	0,225 kg

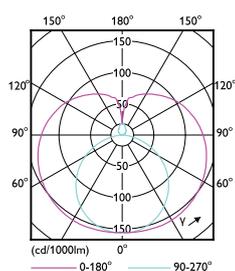
Desenho dimensional



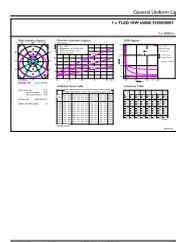
CorePro LEDtube 1200mm HO 18W865 C W G

Product	D1	D2	A1	A2	A3
CorePro LEDtube 1200mm HO 18W865 C W G	25,6 mm	27,8 mm	1199,4 mm	1205,3 mm	1213,6 mm

Dados fotométricos



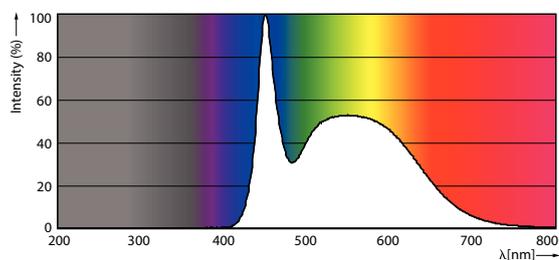
LEDtube 18W G13 2100lm



LEDtube 18W G13 2100lm 865

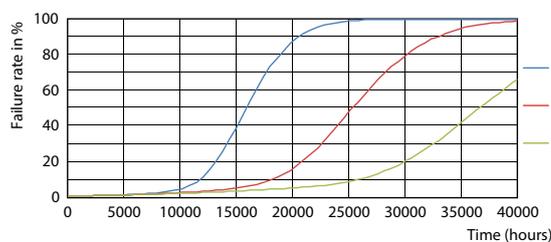
CorePro LEDtube EM/Mains

Dados fotométricos

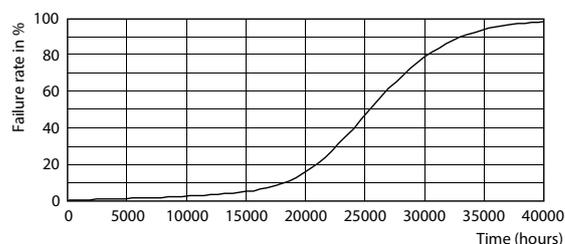


LEDtube 18W G13 865

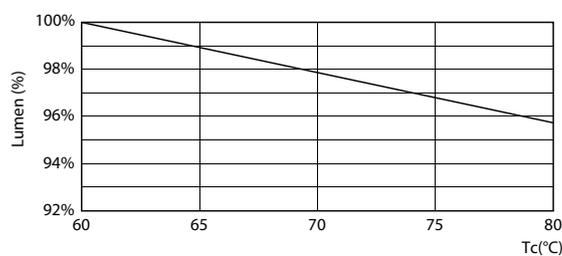
Vida útil



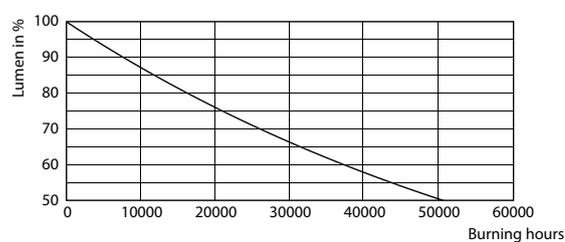
LEDtube 25K FailureRate



LEDtube 25K



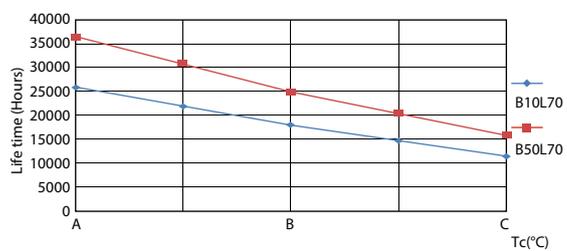
LEDtube 25K 1 LumenVsTc



LEDtube 25K

CorePro LEDtube EM/Mains

Vida útil



LEDtube 25K LifetimeVsTc



© 2023 Signify Holding Todos os direitos reservados. Signify não oferece qualquer representação ou garantia quanto à precisão ou à integridade das informações incluídas aqui e não se responsabiliza por qualquer ação em função disso. As informações apresentadas neste documento não se destinam a qualquer oferta comercial e não compõem parte de qualquer cotação ou contrato, a menos que seja acordado pela Signify. Philips e o Philips Shield Emblem são marcas comerciais registradas da Koninklijke Philips N.V.

www.lighting.philips.com
2023, Abril 7 - Dados sujeitos a alteração

Figura 26 – Ficha técnica da lâmpada LED modelo Philips LED TrueForce Core HB 40W E27 865 WV.



LED TrueForce Core industrial e de varejo (Highbay – HPI/SON/HPL)

TrueForce Core HB 40W E27 865 WV

As lâmpadas de LED TrueForce Core I&R da Philips são uma solução de LED fácil com rápido retorno financeiro para substituição de lâmpadas de descarga de alta intensidade (HID). Elas oferecem a eficiência energética e os benefícios de vida útil prolongada do LED para substituição de HID, com economias imediatas e baixo investimento inicial. Com um tamanho de lâmpada correto e uma distribuição de luz adequada, você pode atualizá-las facilmente, ignorando o balastro que já existe, e melhorar a qualidade da iluminação.

Dados do produto

Informações gerais	
Casquilho	E27 [E27]
Compatível com EU RoHS	Sim
Vida útil nominal (Nom.)	25000 h
Ciclo de comutação	50000

Dados técnicos de luz	
Código da cor	865 [TCC de 6500K]
Ângulo do feixe (Nom.)	180 °
Fluxo luminoso (Nom.)	4800 lm
Designação da cor	Luz dia fria
Temperatura de cor correlacionada (Nom.)	6500 K

Eficiência luminosa (nominal) (Nom.)	120,00 lm/W
Consistência da cor	<6
Índice de restituição cromática (Nom.)	80
LLMF no final da vida útil nominal (Nom.)	70 %

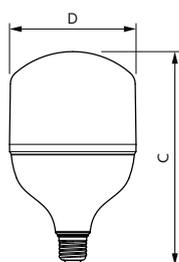
Dados elétricos e de operação	
Frequência de entrada	50 a 60 Hz
Power (Rated) (Nom)	40 W
Corrente de lâmpada (Nom.)	375 mA
Potência equivalente	100 W
Tempo de arranque (Nom.)	0,5 s
Tempo de aquecimento até 60% de luz (Nom.)	0,5 s

LED TrueForce Core industrial e de varejo (Highbay – HPI/SON/HPL)

Fator de potência (Nom.)	0.92
Tensão (Nom.)	100-240 V
Temperatura	
Temperatura ambiente (Máx.)	45 °C
Temperatura ambiente (Mín.)	-20 °C
T-máxima na caixa (Nom)	68,7 °C
Controles e dimerização	
Regulável	Não
Dados mecânicos e de compartimento	
Acabamento da lâmpada	Jateado
Forma da lâmpada	Formato T

Dados do produto	
Código do produto completo	871869975023700
Nome de produto da encomenda	TrueForce Core HB 40W E27 865 WW
EAN/UPC – Produto	8718699750237
Código de encomenda	929002354212
Código local	929002354212
Numerador – Quantidade por embalagem	1
Descrição do código local	LÂMPADA LED ALTA POTÊNCIA TF40WE27
Numerador SAP – Embalagens por exterior	6
Nº do material (12NC)	929002354212
Copiar peso líquido (peça)	0,204 kg

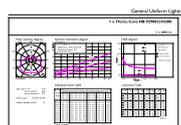
Desenho dimensional



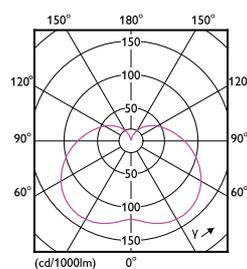
TrueForce Core HB 40W E27 865 WW

Product	D	C
TrueForce Core HB 40W E27 865 WW	125 mm	215 mm

Dados fotométricos



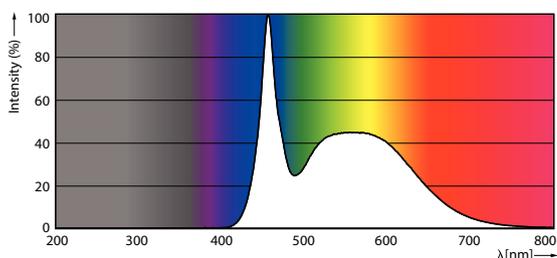
LEDTForce Core HB 40W Tshape E27 865 1



LEDTForce Core HB 40W Tshape E27 865 1

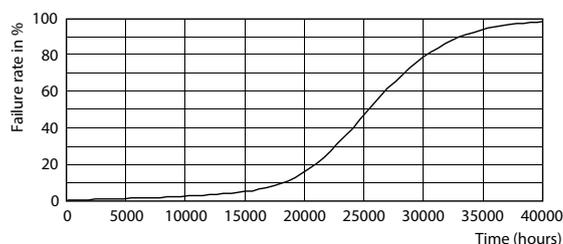
LED TrueForce Core industrial e de varejo (Highbay – HPI/SON/HPL)

Dados fotométricos

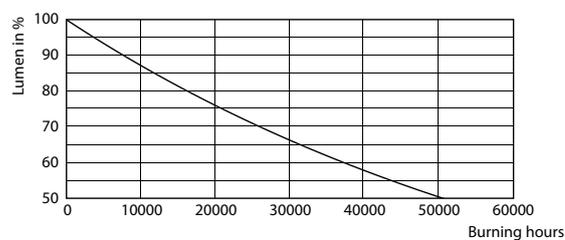


LEDTrueForce Core HB 40W Tshape E27 865 1

Vida útil



Life Expectancy Diagram



Lumen Maintenance Diagram



© 2023 Signify Holding Todos os direitos reservados. Signify não oferece qualquer representação ou garantia quanto à precisão ou à integridade das informações incluídas aqui e não se responsabiliza por qualquer ação em função disso. As informações apresentadas neste documento não se destinam a qualquer oferta comercial e não compõem parte de qualquer cotação ou contrato, a menos que seja acordado pela Signify. Philips e o Philips Shield Emblem são marcas comerciais registradas da Koninklijke Philips N.V.

www.lighting.philips.com
2023, Fevereiro 18 - Dados sujeitos a alteração