

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS**

Heitor Machado Vicari Júnior

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA EM SISTEMAS DE
REFRIGERAÇÃO COMERCIAL DE UM SUPERMERCADO
LOCALIZADO EM PORTO ALEGRE-RS**

Santana do Livramento, RS
2017

Heitor Machado Vicari Júnior

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO
COMERCIAL DE UM SUPERMERCADO LOCALIZADO EM PORTO ALEGRE-RS**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EaD), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos.**

Orientador: Prof. Dr. Cristiano José Scheuer.

Santana do Livramento, RS
2017

Heitor Machado Vicari Júnior

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO
COMERCIAL DE UM SUPERMERCADO LOCALIZADO EM PORTO ALEGRE-RS**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria, Universidade Aberta do Brasil, Polo de Santana do Livramento, RS, como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos**.

Aprovado em 28 de julho de 2017:

Ronaldo Hoffmann, Dr. (UFSM)
(Presidente/Coorientador)

Cesar Addis Valverde Salvador, Dr. (UFSM)
(Comissão Examinadora)

Flávio Dias Mayer, Dr. (UFSM)
(Comissão Examinadora)

Santana do Livramento, RS
2017

RESUMO

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO COMERCIAL DE UM SUPERMERCADO LOCALIZADO EM PORTO ALEGRE-RS

AUTOR: Heitor Machado Vicari Júnior
ORIENTADOR: Dr. Cristiano José Scheuer

O presente trabalho aborda a apresentação de propostas de soluções de fácil aplicação para a redução do consumo de energia elétrica dos sistemas de refrigeração de um supermercado com área de vendas de 1.000 m², localizado na cidade de Porto Alegre/RS. Para isso, realizou-se uma análise energética comparando-se as soluções propostas com os sistemas existentes. Foram analisadas quatro propostas de melhorias: (1) utilização de motores de baixo consumo nos expositores frigoríficos e câmaras frigoríficas; (2) utilização de lâmpadas do tipo LED nos expositores frigoríficos; (3) colocação de portas nos expositores frigoríficos verticais e (4) a aplicação em conjunto das propostas de melhoria 1 e 3. A proposta de maior eficiência foi a última (4), pois esta permitiu alcançar a maior redução de consumo de energia (superior a 28%). A utilização de portas nos expositores frigoríficos verticais (Melhoria 3) resultou na redução de 17,17% no consumo. Além disso, também foi realizada a análise de viabilidade econômica em que a Melhoria 4 apresentou um rápido retorno do investimento, com um tempo de retorno de um ano e 2 meses. Para a análise do método do valor presente líquido (VPL), a melhor opção de investimento é a Melhoria 3 com valor de R\$ 213.553,50.

Palavras-chave: Análise Energética. Eficiência. Expositores Frigoríficos. Câmaras Frigoríficas. Refrigeração.

ABSTRACT

APPLIED ENERGY EFFICIENCY IN COMMERCIAL REFRIGERATION SYSTEMS OF A SUPERMARKET LOCATED IN PORTO ALEGRE-RS

AUTHOR: Heitor Machado Vicari Júnior
ADVISOR: Dr. Cristiano José Scheuer

This work discusses the presentation of easily applicable proposals for power consumption reduction in refrigeration systems in a supermarket with 1,000 m² of sales area, in Porto Alegre/RS. For this, an energy analysis was carried out, comparing the solutions proposed with the available systems. Four proposals for improvements were analyzed: (1) usage of low power consumption engines in refrigerated cabinets and refrigeration chambers; (2) usage of LED lighting systems in the refrigerated cabinets; (3) installation of doors in vertical refrigerated cabinets; and (4) the joint application of improvement proposals 1 and 3. The most efficient proposal was the last one (4), as this allowed to achieve the greatest reduction in energy consumption (above 28%). The use of doors in the vertical refrigerated cabinets (Improvement 3) resulted in a reduction of 17.17% in power consumption. In addition, the economic viability analysis was also performed, with Improvement 4 showing a rapid return on investment, with a return time of one year and two months. For the analysis of the net present value (NPV) method, the best investment option is Improvement 3 with a value of R\$ 213,553.50 .

Keywords: Energy Analysis. Efficient. Refrigerated Cabinets. Refrigeration Chambers. Refrigeration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo frigorífico de Carnot.....	16
Figura 2 – O Ciclo padrão de refrigeração.	17
Figura 3 – Comparação entre o ciclo real e o padrão.	18
Figura 4 – Processo de transmissão de calor no evaporador.	19
Figura 5 – Processo de compressão.....	20
Figura 6 – Processo de transmissão de calor no condensador.....	22
Figura 7 – Processo de expansão isoentálpica.....	23
Figura 8 – Esquema do sistema de rack paralelo.	25
Figura 9 – Sistemas de <i>racks</i> paralelo instalados na central de refrigeração.	25
Figura 10 – Expositores verticais abertos com exposição de produtos de lácteos....	29
Figura 11 – Ilhas baixa com exposição de queijos.....	29
Figura 12 – Motores de baixo consumo conforme modelo iQ da Ebmpapst.....	35
Figura 13 – Lâmpada LED conforme modelo MASTER LEDtube da Philips.	36
Figura 14 – Portas para expositores frigoríficos verticais do fabricante Metalbo.....	37
Figura 15 – Temperatura externa da cidade de Porto Alegre/RS ao longo de um ano representativo, considerando o arquivo climático TRY.	38
Figura 16 – Consumo de energia anual das instalações de refrigeração existentes.....	43
Figura 17 – Comparação do consumo de energia anual entre as instalações existentes e as instalações com motores de baixo consumo.....	45
Figura 18 – Comparação do consumo de energia anual entre as instalações existentes e as instalações com iluminação LED.....	46
Figura 19 – Comparação do consumo de energia anual entre as instalações existentes e as instalações com as portas dos expositores verticais.....	48
Figura 20 – Comparação do consumo de energia anual entre as instalações existentes e as instalações com a melhoria 4.....	49
Figura 21 – Comparação do consumo de energia anual entre as instalações existentes e as melhorias.....	50
Figura 22 – Economia a ser gerada no período de um ano pela implantação das melhorias.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Regime de projeto do sistema de baixa e média temperatura.	26
Tabela 2 – Dados de saída do compressor Bitzer modelo 4N-12.2.	26
Tabela 3 – Capacidade do condensador FCR197E104V com ΔT diferentes.	27
Tabela 4 – Dados do condensador Refrio modelo FCR197E104V.	27
Tabela 5 – Dados de carga térmica dos expositores de média temperatura.	28
Tabela 6 – Dados de carga térmica dos expositores conectados no sistema de baixa temperatura.	30
Tabela 7 – Dados de carga elétrica dos expositores conectados no sistema de baixa temperatura.	30
Tabela 8 – Dados de carga elétrica dos expositores de média temperatura.	31
Tabela 9 – Carga térmica de projeto das áreas de preparo e câmaras frigoríficas do sistema de média temperatura.	32
Tabela 10 – Carga térmica de projeto da câmara frigorífica do sistema de baixa temperatura.	32
Tabela 11 – Carga elétrica de ventilação e resistência de degelo do evaporador da câmara frigorífica de congelados.	32
Tabela 12 – Carga elétrica de ventilação dos evaporadores das áreas de preparo e câmaras frigoríficas do sistema de média temperatura.	33
Tabela 13 – Carga térmica total do sistema de baixa e média temperatura.	33
Tabela 14 – Regimes de operação para análise do desempenho energético do <i>rack</i> de baixa temperatura.	40
Tabela 15 – Regimes de operação para análise do desempenho energético do <i>rack</i> de média temperatura.	40
Tabela 16 – Consumo de energia anual das instalações de refrigeração existentes.	42
Tabela 17 – Consumo de energia anual entre as instalações existentes e as instalações com motores de baixo consumo.	44
Tabela 18 – Consumo de energia anual entre as instalações existentes e as instalações com iluminação LED.	46
Tabela 19 – Consumo de energia anual entre as instalações existentes e as instalações com as portas dos expositores verticais.	47
Tabela 20 – Consumo de energia anual entre as instalações existentes e as instalações com a melhoria 4.	49
Tabela 21 – Custos de implantação das melhorias estudadas.	51
Tabela 22 – Apresentação dos valores de valor presente líquido (VPL) das melhorias estudadas.	53
Tabela 23 – Apresentação dos valores de payback (PBS) das melhorias estudadas.	53
Tabela 24 – Carga Térmica diurna e noturna dos expositores de média temperatura.	60
Tabela 25 – Carga Térmica diurna e noturna dos expositores de baixa temperatura.	60
Tabela 26 – Carga Térmica diurna e noturna das câmaras de média temperatura.	61
Tabela 27 – Carga Térmica diurna e noturna das câmaras de baixa temperatura.	61
Tabela 28 – Cálculo do consumo de energia dos <i>racks</i> de baixa e média temperatura considerando as instalações existentes.	62
Tabela 29 – Cálculo do consumo de energia anual de todos os componentes dos sistemas de refrigeração considerando das instalações existentes.	63

Tabela 30 – Cálculo do consumo de energia dos <i>racks</i> de baixa e média temperatura considerando a Melhoria 1.	64
Tabela 31 – Cálculo do consumo de energia anual de todos os componentes dos sistemas de refrigeração considerando a Melhoria 1.	65
Tabela 32 – Cálculo do consumo de energia dos <i>racks</i> de baixa e média temperatura considerando a Melhoria 2.	66
Tabela 33 – Cálculo do consumo de energia anual de todos os componentes dos sistemas de refrigeração considerando a Melhoria 2.	67
Tabela 34 – Cálculo do consumo de energia dos <i>racks</i> de baixa e média temperatura considerando a Melhoria 3.	68
Tabela 35 – Cálculo do consumo de energia anual de todos os componentes dos sistemas de refrigeração considerando a Melhoria 3.	69
Tabela 36 – Cálculo do consumo de energia dos <i>racks</i> de baixa e média temperatura considerando a Melhoria 4.	70
Tabela 37 – Cálculo do consumo de energia anual de todos os componentes dos sistemas de refrigeração considerando a Melhoria 4.	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAS	Associação Brasileira de Supermercados
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABESCO	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
COP _R	Coeficiente de <i>performance</i>
HCFCs	Hidroclorofluorcarbonos
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LED	<i>Light emitting diode</i>
ODP	<i>Ozone depletion potential</i>
PBS	<i>Payback</i> simples
VPL	Valor presente líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	APRESENTAÇÃO DO TEMA	11
1.2	OBJETIVOS.....	12
1.2.1	Objetivo geral	12
1.2.2	Objetivos específicos	12
1.3	JUSTIFICATIVA.....	12
1.4	ESTRUTURA DA MONOGRAFIA.....	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	CICLOS DE REFRIGERAÇÃO	15
2.1.1	Ciclo de refrigeração de Carnot	15
2.1.2	Ciclo padrão de refrigeração	16
2.1.3	Ciclo real de refrigeração	17
2.2	CÁLCULOS DOS CICLOS DE REFRIGERAÇÃO	18
2.2.1	Capacidade frigorífica teórica do sistema	19
2.2.2	Potência teórica do compressor	19
2.2.3	Eficiência volumétrica do compressor	21
2.2.4	Capacidade calorífica do condensador	21
2.2.5	Dispositivo de expansão	22
2.2.6	Coeficiente de eficácia (COP)	23
3	METODOLOGIA	24
3.1	DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO DE REFRIGERAÇÃO	24
3.1.1	Compressor	26
3.1.2	Condensador	27
3.2	DESCRIÇÃO DOS AMBIENTES REFRIGERADOS.....	28
3.2.1	Expositores	28
3.2.2	Áreas de preparo e câmaras frigoríficas	31
3.2.3	Carga térmica total	33
3.3	AÇÕES PROPOSTAS PARA A REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO	34
3.3.1	Motores de baixo consumo	34
3.3.2	Lâmpadas do tipo LED	35
3.3.3	Portas nos expositores verticais	36
3.4	CÁLCULO DE DESEMPENHO DO COMPRESSOR – SOFTWARE BITZER .	37
3.5	DADOS CLIMÁTICOS	38
3.6	REGIMES DE OPERAÇÃO	39
3.7	ANÁLISE ECÔNOMICA	41
3.7.1	Valor presente líquido (VPL)	41

3.7.2 Payback Simples (PBS)	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 ANÁLISE ENERGÉTICA	42
4.1.1 Instalações existentes	42
4.1.2 Melhoria 1: Instalação de motores de baixo consumo	43
4.1.3 Melhoria 2: Instalação da iluminação de LED	45
4.1.4 Melhoria 3: Instalação de portas expositores verticais	47
4.1.5 Melhoria 4: Instalação dos motores de baixo consumo e portas nos expositores verticais	48
4.2 ANÁLISE ECONÔMICA	50
4.2.1 Valor presente líquido (VPL)	52
4.2.2 Payback simples (PBS)	53
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
5.1 CONCLUSÕES	54
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
ANEXO A – MOTOR DE BAIXO CONSUMO MODELOS IQ3612 E IQ3620 DA EBMPAPST	58
ANEXO B – LÂMPADA MODELO MASTER LEDTUBE DO FABRICANTE PHILIPS	59
APÊNDICE A – CARGA TÉRMICA DIURNA E NOTURNA	60
APÊNDICE B – CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA ANUAL DAS INSTALAÇÕES EXISTENTES	62
APÊNDICE C – CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA ANUAL COM A MELHORIA 1	64
APÊNDICE D – CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA ANUAL COM A MELHORIA 2	66
APÊNDICE E – CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA ANUAL COM A MELHORIA 3	68
APÊNDICE F – CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA ANUAL COM A MELHORIA 4	70

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

Segundo a Associação Brasileira de Supermercados (ABRAS), o faturamento do setor de supermercados caiu 1,9% no ano de 2015 em relação a 2014, sendo o primeiro recuo anual desde 2006 (REVISTA SOLUTIONS, 2016).

Em 2015, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o custo da energia elétrica para o setor comercial ficou em torno 38% mais caro para o consumidor brasileiro, devido à seca causada pela falta de chuvas que afetou os reservatórios das hidrelétricas, sendo necessário o acionamento das usinas termoeletricas na qual a geração de energia tem um custo alto (EPE, 2016).

De acordo com os estudos da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO) constatou-se que o sistema de refrigeração é responsável por 25 a 50% do consumo de energia elétrica de um supermercado (REVISTA ABRAVA, 2016). Com o aumento dos custos, principalmente da energia elétrica, é necessário redobrar a vigilância com o controle das despesas, sendo imprescindível que os supermercados invistam em equipamentos e soluções que diminuam o consumo de energia.

Diante da atual situação da oferta de energia elétrica no país e de seu alto custo, faz-se necessária a análise e o estudo da aplicação de equipamentos mais eficientes, visando diminuir as despesas das empresas no que tange o consumo de energia, tornando-a mais competitiva frente aos seus concorrentes, fator este que poderá ser crucial para a sua manutenção no negócio.

Dentro desse contexto, o tema de estudo da presente monografia contribuirá com o referido segmento no sentido de demonstrar aos empresários que o investimento em sistemas eficientes de consumo de energia, trará em curto prazo, o retorno financeiro do investimento realizado, além dos benefícios ecológicos.

Dessa forma, o presente trabalho apresentará as diferentes aplicações dos equipamentos mais modernos, voltados, principalmente, para a redução do consumo de energia elétrica, aumento da vida útil dos equipamentos, diminuição de trabalhos de manutenção corretiva e a melhora geral dos sistemas de refrigeração usualmente utilizados em supermercados.

Para validar a proposta, estudos de casos serão realizados junto ao sistema de refrigeração do supermercado da rede Unidasul, filial 19, localizado na cidade de Porto Alegre-RS.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo realizar uma avaliação e apresentar uma proposta de um conjunto de soluções de fácil aplicação para tornar o sistema de refrigeração de um supermercado mais eficiente energeticamente.

1.2.2 Objetivos específicos

Para atender ao propósito descrito, os seguintes objetivos específicos deverão ser atingidos:

- Realizar um levantamento de dados do sistema de refrigeração utilizado no supermercado anteriormente citado;
- Propor soluções para reduzir o consumo de energia nos expositores e câmaras frigoríficas;
- Análise energética das diferentes propostas de redução de energia;
- Análise econômica através do valor presente líquido e do tempo de retorno do investimento.

1.3 JUSTIFICATIVA

Devido a atual situação da oferta de energia elétrica no país e de seu alto custo é necessária a realização de análises e estudos de equipamentos de refrigeração mais eficientes, visando alternativas para a diminuição do consumo de energia elétrica.

As ações propostas de melhorias a serem estudadas tem por justificativa apresentar a obtenção de reduções significativas do consumo de energia dos sistemas de refrigeração do supermercado avaliado, além de apresentar aos empresários que essas melhorias são economicamente viáveis.

1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

Este estudo encontra-se estruturado em cinco seções, incluindo esta primeira, que visa a introdução ao assunto que será abordado.

A seção 2 aborda sobre a fundamentação teórica necessária para o entendimento do assunto da monografia.

A seção 3 retrata a abordagem metodológica utilizada para a realização do estudo.

A seção 4 destina-se à apresentação e discussão dos resultados obtidos.

Finalizando a monografia, a seção 5, trata das considerações finais do trabalho, onde são relatadas as conclusões e algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Estudos sobre refrigeração comercial, com foco em eficiência energética em supermercados são raros. Não há muitos trabalhos acadêmicos publicados que demonstrem alternativas para que os sistemas instalados possam ser energeticamente eficientes. Dentre os poucos trabalhos existentes, merecem menção, em função do escopo deste trabalho, àqueles desenvolvidos por Branco (2010), Marchioro (2004), Panesi (2008) e Pedrotti (2015).

Segundo Marchioro (2004), os supermercados possuem três grandes grupos consumidores de energia elétrica em sua configuração, a saber: iluminação, a climatização e o sistema de frio alimentar. Destes três elementos, a climatização pode ser considerada como variável, devido ao fato de que nem todas as lojas possuem este sistema. A iluminação e o frio alimentar são imprescindíveis, e estão em funcionamento por, praticamente, todo o dia. Para a redução do consumo de energia foi proposto pelo autor a utilização de técnicas já conhecidas: o bombeamento de líquido refrigerante e o pré-resfriamento evaporativo instalado em conjunto ao sistema de condensação. O estudo realizado em uma loja na cidade de Curitiba/PR apontou um potencial de redução de consumo de energia em torno de 16,9% e prazo de retorno de investimento inicial inferior a dois anos (MARCHIORO, 2004).

De acordo com Panesi (2008), é possível realizar operações de combate ao desperdício de energia em supermercados sem a exigência de grandes investimentos iniciais atacando os pontos que proporcionam as oportunidades de melhorias através de observações de equipamentos e maquinários da instalação. Para futuros supermercados recomenda-se um estudo de implantação de sistemas de cogeração de energia, que, sem dúvida, é uma das opções que melhor representa o uso eficiente de uma matriz energética nesses estabelecimentos. Nos sistemas fluídos mecânicos, ou seja, bombas, ventiladores e compressores, estima-se um potencial de conservação de energia que pode chegar a 11,6 TWh/ano no Brasil incluindo os setores industriais, comércio/serviços agricultura e poder/serviços públicos (PANESI, 2008).

Branco (2010) afirma que os sistemas de climatização e de refrigeração são responsáveis pela maior parte do consumo de energia do estabelecimento, independente de sua localização. Através da análise de sensibilidade do consumo de energia da edificação de referência, localizada na cidade de São Paulo, o referido autor

constatou que entre todos os parâmetros analisados, a potência dos balcões e das câmaras de refrigeração é o que mais afeta o consumo total, em aproximadamente 9,4%.

De acordo Pedrotti (2015), através da análise de energia por meio do software *Energy Plus*, de um supermercado de médio porte na cidade de Capão da Canoa/RS, o consumo de energia do frio alimentar (49%) apresentou o maior consumo energético, com a iluminação (31%) na segunda posição, seguido pelo sistema de ar condicionado (15%) e por equipamentos (5%). Foi proposta e simulada para redução do consumo de energia, a colocação de 47 janelas difusivas zenitais e iluminação controlada por luxímetro. As simulações indicaram um potencial de economia de R\$ 110 mil reais por ano, e retorno de investimento em um período de 4,5 anos.

De modo a otimizar a eficiência energética de sistemas de refrigeração comercial, é necessário possuir pleno conhecimento no que concerne aos aspectos técnicos dos ciclos de refrigeração. Neste sentido, na sequência é feita uma breve descrição dos ciclos de refrigeração por compressão a vapor, como também, são apresentados cálculos básicos para o dimensionamento dos sistemas de refrigeração.

2.1 CICLOS DE REFRIGERAÇÃO

2.1.1 Ciclo de refrigeração de Carnot

O Ciclo de refrigeração de Carnot (Figura 1) corresponde ao ciclo termodinâmico ideal, pois apresenta 100% de eficiência. Este é caracterizado por ser reversíveis, conseqüentemente, os processos 1-2 e 3-4 (vide descrição feita abaixo) indicados na Figura 1 são isentrópicos.

Segundo Stoecker; Jabardo (2002), uma das razões de estudar o Ciclo de Carnot é o fato que este representa o limite máximo de eficiência de operação de um ciclo entre dois níveis de temperatura. Assim, qualquer ciclo real operando entre os mesmos níveis, deve apresentar uma eficiência inferior àquela do Ciclo de Carnot.

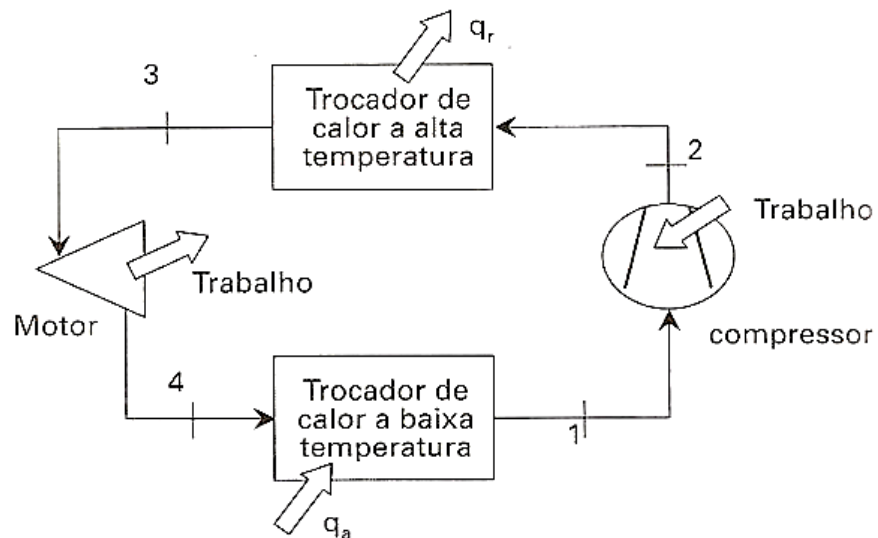
Como o ciclo opera no sentido inverso, transferindo a energia do nível mais baixo de temperatura para o mais alto, é essencial a ação de um trabalho externo. Os processos do ciclo são os seguintes:

1-2: Compressão adiabática isentrópica;

- 2-3: Rejeição isotérmica de calor;
- 3-4: Expansão adiabática isentrópica; e,
- 4-1: Ganho isotérmico de calor.

O Ciclo de Carnot é composto por quatro componentes sendo um compressor, uma turbina (motor térmico) e dois trocadores de calor. A Figura 1 apresenta esquematicamente os processos que ocorrem no ciclo.

Figura 1 – Ciclo frigorífico de Carnot.



Fonte: (STOECKER; JABARDO, 2002).

2.1.2 Ciclo padrão de refrigeração

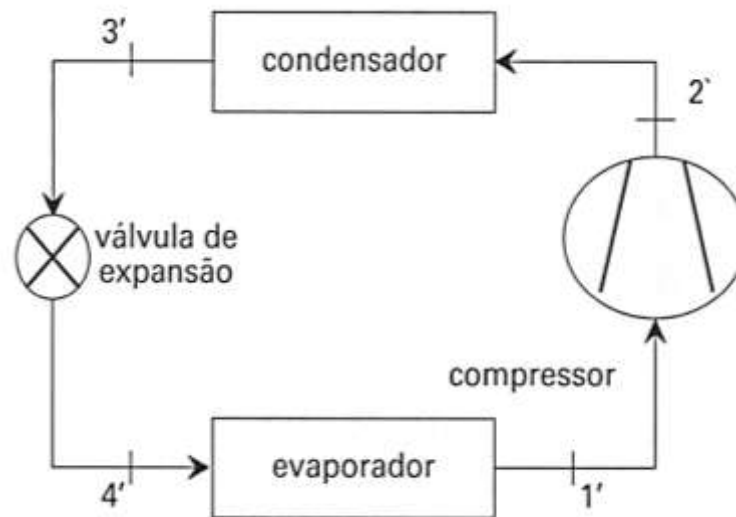
O ciclo padrão de refrigeração é uma adequação do Ciclo de Carnot, pois há a substituição da turbina por um dispositivo de expansão, além da utilização da compressão seca, conforme ilustrado na Figura 2.

Os processos que ocorrem no ciclo padrão de refrigeração são os seguintes:

- 1-2: Compressão teoricamente isentrópica até a pressão de condensação;
- 2-3: Redução da temperatura do fluido refrigerante, seguida de condensação a pressão constante;
- 3-4: Expansão isoentálpica até a pressão de evaporação na válvula de expansão; e,
- 4-1: Evaporação até o estado de vapor saturado à pressão constante.

Os processos 1-2 e 3-4 ocorrem de forma reversível e adiabática, assim, verifica-se que o ciclo é composto de dois processos isotérmicos e de dois processos isentrópicos.

Figura 2 – O Ciclo padrão de refrigeração.



Fonte: (STOECKER; JABARDO, 2002).

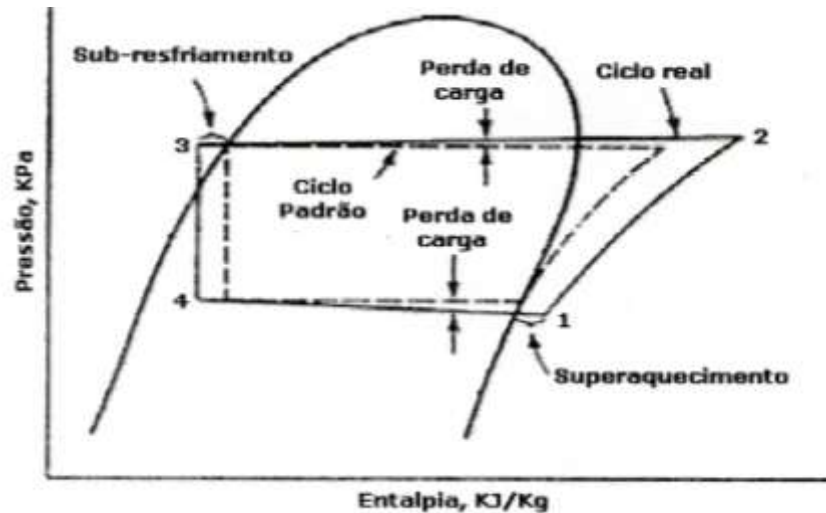
2.1.3 Ciclo real de refrigeração

O ciclo real de refrigeração difere-se do ciclo padrão devido às perdas de carga no evaporador e no condensador, isto resulta em um trabalho de compressão maior entre os estados 1 e 2. Estas perdas de carga são ocasionadas pelas perdas localizadas provenientes do atrito através de curvas, válvulas e outros trechos do sistema de refrigeração. Outras diferenças são o sub-resfriamento de líquido na saída do condensador e o superaquecimento na sucção do compressor.

Monteiro (2015) afirma que as perdas de carga deverão ser levadas em conta na seleção do compressor para um determinado circuito, principalmente a potência mecânica necessária para que o fluido refrigerante (ou, fluido refrigerante) possa vencer as dificuldades adicionais que se opõe ao seu escoamento e a respectiva vazão volumétrica. Caso o contrário, a capacidade de refrigeração será afetada. Na Figura 3, tem-se as diferenças entre um ciclo padrão e o real.

De modo a otimizar a eficiência energética de um sistema de refrigeração industrial, faz-se necessário o conhecimento das suas características. Deste modo, na seção seguinte é feito um detalhamento do equacionamento utilizado para tanto.

Figura 3 – Comparação entre o ciclo real e o padrão.



Fonte: (STOECKER; JABARDO, 1985).

2.2 CÁLCULOS DOS CICLOS DE REFRIGERAÇÃO

Para efetuar os cálculos de dimensionamento de um ciclo de refrigeração consideram-se as seguintes simplificações:

- Regime permanente;
- O volume interno do circuito é constante;
- As temperaturas de evaporação e condensação são constantes; e,
- O ciclo real possui o mesmo comportamento do ciclo teórico.

Com base nestas simplificações, pode-se estabelecer o equacionamento descrito na sequência, para a determinação da capacidade frigorífica teórica do sistema; a potência teórica do compressor, a sua eficiência volumétrica e capacidade calorífica; e o coeficiente de eficiência do ciclo de refrigeração. Neste sentido, na sequência são apresentadas as equações empregadas para esse fim.

2.2.1 Capacidade frigorífica teórica do sistema

A capacidade frigorífica (Q_o) é determinada pelo produto da vazão de refrigerante (m_f) pelo incremento de entalpia através do evaporador (diferença entre a entalpia de saída (h_C) e entrada (h_B) do evaporador), obtida pela Eq. (1):

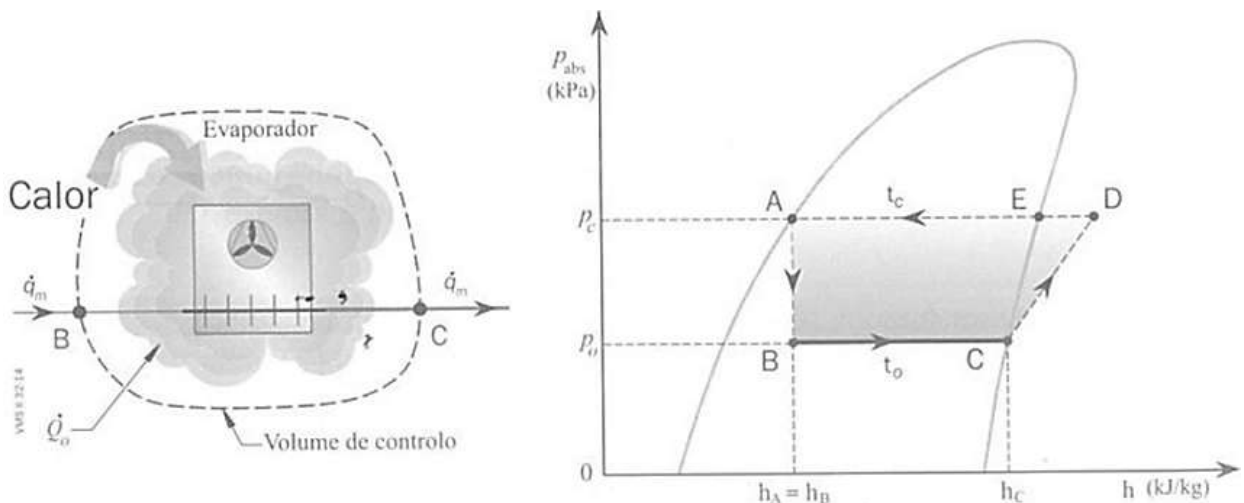
$$Q_o = m_f (h_C - h_B) \quad (1)$$

sendo: a capacidade frigorífica dada em kW, a vazão de refrigerante em kg/s, as entalpias de entrada e saída do evaporador em kJ/kg.

Segundo Monteiro (2015), durante o processo de evaporação do ponto B para o ponto C, a temperatura permanece constante e é observado o fenômeno de extração de calor do meio envolvente, que arrefece. Este fenômeno é denominado de produção de frio artificial.

A Figura 4 apresenta o diagrama pressão vs. entalpia do processo de transmissão de calor no evaporador, além do balanço energético no volume de controle.

Figura 4 – Processo de transmissão de calor no evaporador.



Fonte: (MONTEIRO, 2015).

2.2.2 Potência teórica do compressor

A potência teórica do compressor é a quantidade de energia por unidade de tempo que deve ser fornecida ao fluido refrigerante, no estado gasoso pelo com-

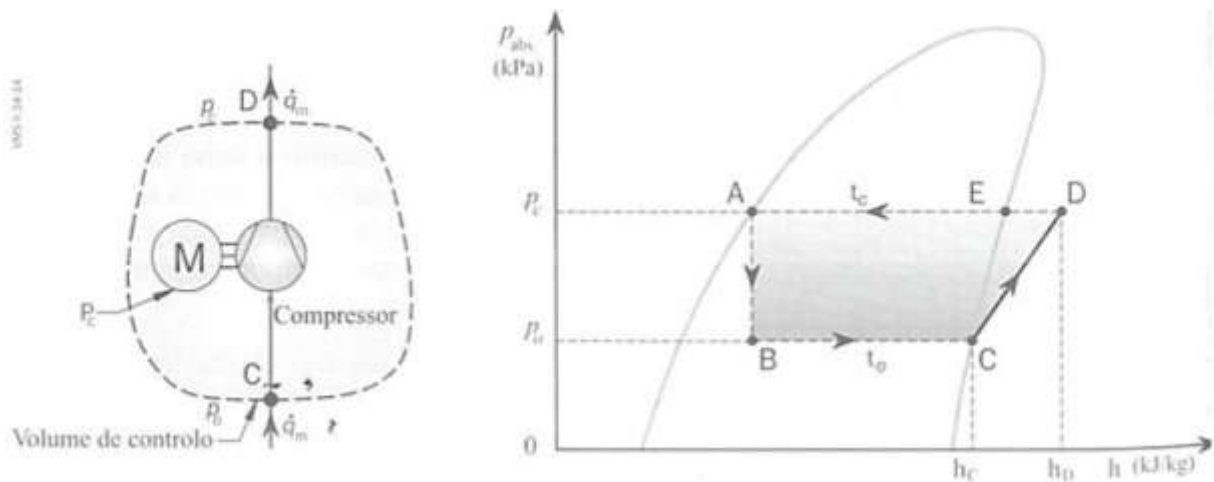
pressor, para que o mesmo passe do estado C, na sucção do compressor, para o estado D na descarga do compressor (vide Figura 5). A potência teórica do compressor é determinada pela Eq. (2):

$$W_t = m_f (h_D - h_C) \quad (2)$$

onde: W_t é a potência teórica do compressor dada em kW, h_D é a entalpia na descarga do compressor e h_C é a entalpia na sucção do compressor, ambos determinados em kJ/kg.

A Figura 5 apresenta o diagrama pressão vs. entalpia do processo de compressão adiabática reversível, sendo mostrado também o balanço energético no volume de controle.

Figura 5 – Processo de compressão.



Fonte: (MONTEIRO, 2015).

Considerando que há perdas de energia neste sistema, têm-se:

$$W_r = \frac{W_t}{\eta_c} \quad (3)$$

onde: W_r é a potência real do compressor em kW, e η_c a eficiência do compressor.

2.2.3 Eficiência volumétrica do compressor

A eficiência volumétrica (η_V) é dada pela razão entre a vazão volumétrica que entra no compressor (V) pela taxa de deslocamento do compressor (D_c), de acordo com a Eq. (4), sendo V determinado através da Eq. (5) considerando a v_1 o volume específico do refrigerante na entrada do compressor e m_r é a vazão mássica de refrigerante.

$$\eta_V = \frac{V}{D_c} \quad (4)$$

$$V = m_r v_1 \quad (5)$$

onde: a vazão volumétrica de refrigerante que entra no compressor é dada em m^3/s , volume específico do refrigerante na entrada do compressor determinado em m^3/kg , o deslocamento do compressor em m^3/s , a vazão mássica de refrigerante em kg/s e a eficiência volumétrica do compressor com valor médio de 70 a 80% .

A vazão do fluido refrigerante que entra no compressor quando é conhecida a eficiência volumétrica do compressor é determinada pela Eq. (6):

$$V = D_c \eta_V \quad (6)$$

2.2.4 Capacidade calorífica do condensador

A capacidade calorífica do condensador (Q_C) é determinada pelo produto entre a vazão de refrigerante (m_f) pelo incremento de entalpia através do condensador (diferença entre a entalpia de entrada (h_D) e saída (h_A) do condensador), obtida pela Eq. (7):

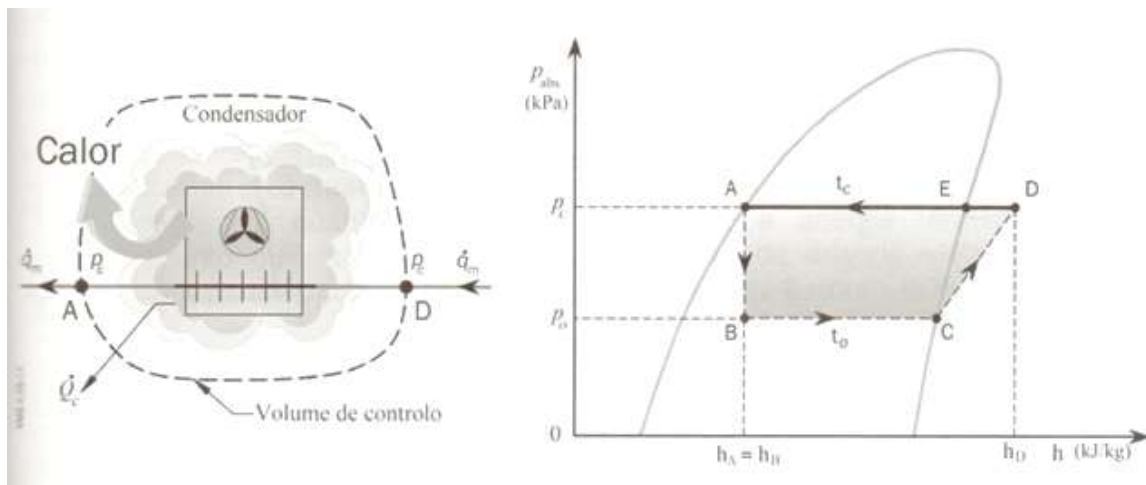
$$Q_C = m_f (h_D - h_A) \quad (7)$$

onde: a capacidade calorífica do condensador é dada em kW, a vazão de refrigerante determinada em kg/s , e as entalpias de entrada e saída do condensador dadas em kJ/kg .

A Eq. (7) representa que o condensador escolhido para o sistema de refrigeração deverá ter a capacidade de rejeitar o calor transferido para o fluido refrigerante no evaporador, o que depende da carga térmica do sistema e da potência mecânica do compressor.

A Figura 6 apresenta o diagrama pressão x entalpia do processo de transmissão de calor no condensador, além do balanço energético no volume de controle.

Figura 6 – Processo de transmissão de calor no condensador.



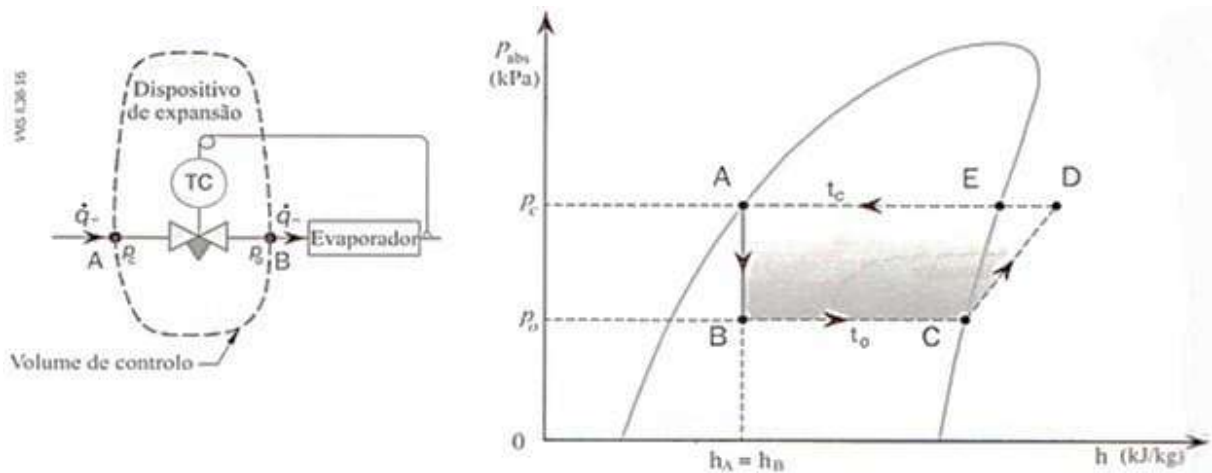
Fonte: (MONTEIRO, 2015).

2.2.5 Dispositivo de expansão

O Dispositivo de expansão é o elemento responsável pela queda de pressão de p_c para p_o , onde $p_c \gg p_o$, supondo que o processo é adiabático e isoentálpico, tem-se a que a entalpia de entrada (h_A) no dispositivo de expansão é igual a entalpia de saída (h_B), ou seja, $h_A = h_B$.

A Figura 7 apresenta o diagrama pressão vs entalpia do processo de expansão isoentálpica, além do balanço energético no volume de controle.

Figura 7 – Processo de expansão isoentálpica.



Fonte: (MONTEIRO, 2015).

2.2.6 Coeficiente de eficácia (COP)

O coeficiente de eficácia, também conhecido como coeficiente de performance (COP_R), é definido como a razão do efeito útil pelo trabalho líquido, sendo determinado pela Eq. (8). O COP depende da temperatura de evaporação, da temperatura de condensação, das propriedades do fluido refrigerante na sucção do compressor, e de todos os demais componentes do sistema.

$$COP_R = \frac{Q_o}{W_r} \quad (8)$$

onde: Q_o é a capacidade frigorífica dada em kW, W_r é a potência real do compressor determinada em kW, e o coeficiente de performance do equipamento para o ciclo de refrigeração sendo adimensional.

3 METODOLOGIA

As tarefas demandadas para a realização do trabalho aqui proposto foram segmentadas em etapas. A primeira etapa do trabalho consistiu na realização de uma avaliação geral dos sistemas de refrigeração que compõem o supermercado filial 19 da rede Unidasul (Porto Alegre/RS), sendo analisados a instalação de refrigeração e os ambientes refrigerados. Essa avaliação preliminar teve como escopo a determinação da capacidade dos compressores e condensadores que integram o sistema. Após essa avaliação, que teve como propósito levantar os pontos passíveis de melhoria no que tange a eficiência do sistema, foram propostas ações para promover a redução do consumo energético. Na sequência, foi apresentado o software para a obtenção dos dados de desempenho dos compressores que compõem o sistema de refrigeração analisado. Em seguida, foi apresentado o arquivo climático de Porto Alegre e estabelecidos os regimes de operação para a análise do consumo de energia dos sistemas de refrigeração. Por fim, foram descritos os dois métodos de análise econômica utilizados para avaliar a viabilidade de implementação das mudanças propostas.

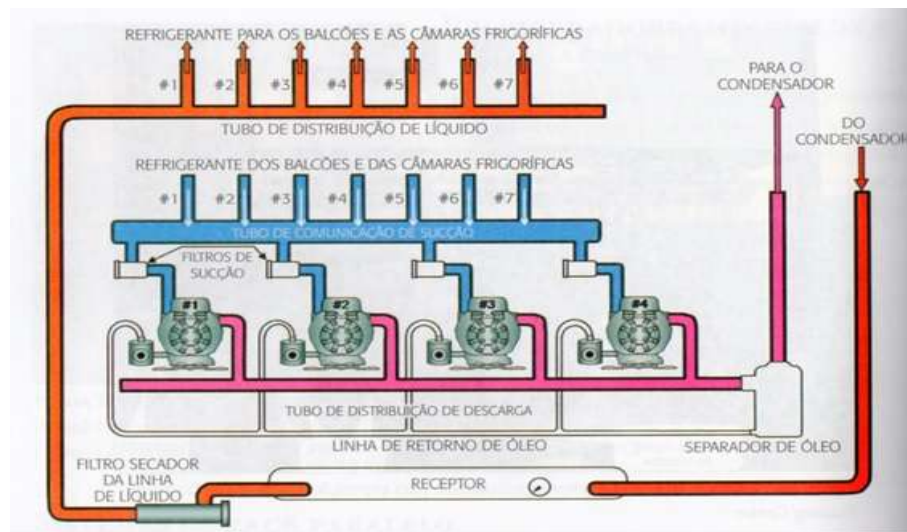
3.1 DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO DE REFRIGERAÇÃO

Os sistemas de refrigeração utilizados na instalação que será analisada são do tipo de expansão direta, com o sistema de *rack* paralelo que corresponde ao tipo de instalação comumente empregada em sistemas comerciais em todo o mundo.

O sistema de *rack* paralelo consiste de dois ou mais compressores ligados ao mesmo circuito frigorífico, os quais poderão funcionar todos concomitantemente, ou somente uma parte deles, conforme for a demanda de frio da instalação. Na Figura 8 é apresentado o sistema de *rack* paralelo em sua configuração básica.

O sistema de expansão direta da instalação com o fluido refrigerante R-22 consiste em dois sistemas de *rack* paralelo composto por compressores semi-herméticos. Existem dois sistemas projetados, um para baixa e outro para média temperatura, sendo o primeiro composto por dois compressores e o último por três compressores. Já o condensador é conectado aos dois *racks* paralelos por uma tubulação de descarga única. A Figura 9 ilustra os dois *racks* paralelos instalados na central de refrigeração.

Figura 8 – Esquema do sistema de rack paralelo.



Fonte: (WIRZ, 2011).

Figura 9 – Sistemas de *racks* paralelo instalados na central de refrigeração.



Fonte: O autor.

Este tipo de instalação opera, normalmente, com regimes de projeto de $-10/+45\text{ °C}$ para o sistema de média temperatura, e $-32/+45\text{ °C}$ para o sistema de baixa temperatura. Segundo Presotto e Süffert (2007), estes sistemas caracterizam-se pela necessidade do controle de temperatura em regimes de carga parcial, atuando sobre a alimentação de líquido nas serpentinas e provocando a redução da temperatura de evaporação. Além disso, são necessários ciclos periódicos de degelo, já que, em função das temperaturas adotadas, ocorre à formação de gelo na superfície de troca térmica dos evaporadores.

3.1.1 Compressor

Conforme dito anteriormente, o compressor utilizado na instalação é do tipo semi-hermético. Este tipo de compressor opera somente com refrigerantes halogenados, tendo uma carcaça única com cabeçote removível, tornando acessíveis as válvulas e os pistões. Os compressores usados na instalação analisada são do fabricante Bitzer. Os regimes de projeto estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Regime de projeto do sistema de baixa e média temperatura.

	Sistema de Baixa Temperatura	Sistema de Média Temperatura
Modelo	4N-12.2	4N-12.2
Quantidade (pç)	2	3
Refrigerante	R-22	R-22
Temperatura de Evaporação (°C)	-32	-10
Temperatura de condensação (°C)	45	45
Sub-resfriamento de líquido (K)	5	5
Superaquecimento do gás sucção (K)	20	10
Superaquecimento útil (K)	4	4
Regulador de capacidade	100%	100%

Fonte: (BITZER SOFTWARE, 2016).

A Tabela 2 apresenta os dados de saída gerados pelo Bitzer software v6.6.0 para o modelo 4N-12.2 operando em baixa e média temperatura:

Tabela 2 – Dados de saída do compressor Bitzer modelo 4N-12.2.

	Sistema de Baixa Temperatura	Sistema de Média Temperatura
Capacidade total (kcal)	16.340	82.560
Potência absorvida total (kW)	15,16	41,22
Calor rejeitado total (kcal/h)	30.495,60	120.228,00
COP	1,25	2,33

Fonte: (BITZER SOFTWARE, 2016).

3.1.2 Condensador

O condensador utilizado na instalação é do tipo resfriado a ar. Neste tipo de equipamento o fluido refrigerante se condensa rejeitando calor ao ambiente através de uma superfície aletada, circulado por um ventilador axial.

No sistema avaliado foi instalada uma descarga única unindo os *racks* paralelos de baixa e média temperatura. Com essa adequação, o condensador atende ao mesmo tempo os dois *racks*. O calor rejeitado de condensação de projeto é de 150.723,60 kcal/h.

O equipamento que compõem a planta avaliada é do fabricante Refrio, modelo FCR 197E104V, com quatro moto ventiladores de diâmetro de 1000 mm e motor de doze polos convencional. O condensador foi selecionado para um diferencial de temperatura de 8K sendo a capacidade para os outros diferenciais de temperatura descrita na Tabela 3.

Tabela 3 – Capacidade do condensador FCR197E104V com ΔT ¹ diferentes.

	Diferencial de temperatura					
	ΔT 5	ΔT 6	ΔT 7	ΔT 8	ΔT 9	ΔT 10
Capacidade (kcal/h)	98.500	117.964	137.762	157.600	177.477	197.000

Fonte: (CATÁLOGO REFRIIO, 2006).

Na Tabela 4, são apresentados os dados do equipamento com a capacidade indicada para operação em temperatura ambiente de 35 °C e temperatura de condensação a 45 °C.

Tabela 4 – Dados do condensador Refrio modelo FCR197E104V.

	Condensador FCR 197E104V
Capacidade total - $\Delta T=10K$ (kcal/h)	197.000
Potência absorvida total (kW)	3,56
Vazão de ar (m³/h)	110.284

Fonte: (CATÁLOGO REFRIIO, 2006).

¹ O ΔT é a diferença entre a temperatura de condensação e a temperatura ambiente.

3.2 DESCRIÇÃO DOS AMBIENTES REFRIGERADOS

3.2.1 Expositores

Os expositores de média temperatura que integram o sistema de refrigeração que será analisado neste trabalho, foram fornecidos pelas empresas Eletrofrío e Seral. Suas cargas térmicas de refrigeração, definidas pelos referidos fabricantes, considerando a classe climática 3 (temperatura de bulbo seco (TBS): 25°C; umidade relativa (UR): 60%), conforme a norma europeia EN441, são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados de carga térmica dos expositores de média temperatura.

Expositores Média Temperatura	Modelo	Fabricante	Composição (m)	Carga térmica (kcal/h)	Temperatura interna (°C)
Vitrine - Carnes	DSB-0	Eletrofrío	2 x 3,75	4.544	0
Atendimento - Carnes	EHC-0	Eletrofrío	1 x 2,5	902	0
Vertical - Laticínios	MAGNUS-L	Seral	4 x 3,75 + 1 x 2,5	19.544	4
Vertical - Hortifrúti	MAGNUS-F	Seral	1 x 3,75	3.108	8
Vertical - Laticínios	DSB-4	Eletrofrío	1 x 2,5	3.008	4
Atendimento - Padaria	BCR-1	Seral	1 x 1,25	304	4
Vertical baixo - Padaria	MARATHON-L	Seral	1 x 3,75	2.405	4
Atendimento - Ilha baixa queijos	BCR	Seral	1 x 2,5	570	4
Atendimento - Ilha baixa queijos	BCR-1 CE 45°	Seral	2 x 45° canto externo	1.084	4
Vertical baixo - Ilha baixa queijos	MARATHON-LCE 45°	Seral	4 x 45° canto externo	4.912	4
Vertical baixo - Ilha baixa queijos	MARATHON-L	Seral	1 x 1,25	802	4
Total				41.183	

Fontes: (ELETROFRIO E SERAL)

As Figura 10 e Figura 11 ilustram os expositores verticais abertos e as ilhas baixa de exposição.

Figura 10 – Expositores verticais abertos com exposição de produtos de lácteos.



Fonte: O autor.

Figura 11 – Ilhas baixa com exposição de queijos.



Fonte: O autor.

No sistema que será analisado, há cinco metros de expositores verticais de carnes da marca Eletrofrío conectados ao sistema de baixa temperatura, sendo utilizada uma válvula reguladora de pressão modelo KVP para a regulagem da temperatura do expositor. Suas cargas térmicas de refrigeração, considerando a classe climática 3, são detalhadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados de carga térmica dos expositores conectados no sistema de baixa temperatura.

Expositores Baixa Temperatura	Modelo	Fabricante	Composição (m)	Carga Térmica (kcal/h)	Temperatura interna (°C)
Vitrine - Carnes	DSB-0	Eletrofrío	2 x 2,5	3.029	0
Total				3.029	

Fonte: (ELETROFRIO).

Os expositores possuem como principais componentes: o sistema de ventilação, o sistema de iluminação, o sistema de resistências de desembaçamento, e o sistema de resistência de degelo. As cargas elétricas dos expositores de média e baixa temperatura estão apresentadas nas Tabela 7 e Tabela 8, respectivamente.

Tabela 7 – Dados de carga elétrica dos expositores conectados no sistema de baixa temperatura.

Expositores Baixa Temperatura	Modelo	Fabricante	Componentes (m)	Ventilação (W)	Iluminação (W)	Resistência desembaçamento (W)
Vitrine - Carnes	DSB-0	Eletrofrío	2 x 2,5	40	112	156
Total				40	112	156

Fonte: (ELETROFRIO)

Tabela 8 – Dados de carga elétrica dos expositores de média temperatura.

Expositores Média Temperatura	Modelo	Fabricante	Componentes (m)	Ventilação (W)	Iluminação (W)	Resistência desembaçamento (W)
Vitrine - Carnes	DSB-0	Eletrofrio	2 x 3,75	140	168	234
Atendimento - Carnes	EHC-0	Eletrofrio	1 x 2,5 + 1 x 1,25	318	64	96
Vertical - Laticínios	MAGNUS-L	Seral	4 x 3,75 + 1 x 2,5	742	448	0
Vertical - Hortifrúti	MAGNUS-F	Seral	1 x 3,75	159	96	0
Vertical - Laticínios	DSB-4	Eletrofrio	1 x 2,5	318	64	0
Atendimento - Padaria	BCR-1	Seral	1 x 1,25	106	32	35
Vertical baixo - Padaria	MARATHON-L	Seral	1 x 3,75	159	0	105
Atendimento - Ilha baixa queijos	BCR	Seral	1 x 2,5	159	64	70
Atendimento - Ilha baixa queijos	BCR-1 CE 45°	Seral	2 x 45° canto externo	212	64	70
Vertical baixo - Ilha baixa queijos	MARATHON-LCE 45°	Seral	4 x 45° canto externo	424	0	140
Vertical baixo - Ilha baixa queijos	MARATHON-L	Seral	1 x 1,25	53	0	35
Total				2.790	1.000	785

Fontes: (ELETROFRIO E SERAL)

3.2.2 Áreas de preparo e câmaras frigoríficas

O supermercado em estudo possui quatro câmaras, duas áreas de preparo e a sala de máquinas conectadas no sistema de média temperatura. Para o sistema de baixa temperatura tem-se apenas uma câmara frigorífica. As cargas térmicas definidas no projeto do sistema de refrigeração da loja estão indicadas nas Tabela 9 e Tabela 10.

Tabela 9 – Carga térmica de projeto das áreas de preparo e câmaras frigoríficas do sistema de média temperatura.

Câmaras Média Temperatura	Área (m²)	Carga térmica (kcal/h)	Temperatura interna (°C)
Hortifruti	10	2.000	8
Preparo hortifruti	11,20	1.680	15
Laticínios	10	2.300	2
Carnes	18	4.680	0
Sala de cortes	19	3.800	12
Padaria	12	2.760	2
Sala de máquinas	18,50	3.700	25
Total		20.920	

Fonte:(SERAL)

Tabela 10 – Carga térmica de projeto da câmara frigorífica do sistema de baixa temperatura

Câmara Baixa Temperatura	Área (m²)	Carga Térmica (kcal/h)	Temperatura Interna (°C)
Congelados	15	3.600	-20
Total		3.600	

Fonte: (SERAL)

As cargas elétricas de ventilação dos evaporadores das áreas de preparo e das câmaras frigoríficas de média temperatura são apresentadas na Tabela 12. Para a câmara de congelados considera-se além da potência elétrica dos ventiladores dos evaporadores, a potência elétrica da resistência de degelo conforme indicado na Tabela 11.

Tabela 11 – Carga elétrica de ventilação e resistência de degelo do evaporador da câmara frigorífica de congelados.

Câmaras Baixa Temperatura	Área (m²)	Ventilação (W)	Resistência Degelo (W)
Congelados	15	210	3.300
Total		210	3.300

Fonte: Levantamento in loco.

Tabela 12 – Carga elétrica de ventilação dos evaporadores das áreas de preparo e câmaras frigoríficas do sistema de média temperatura.

Câmaras Média Temperatura	Área (m²)	Ventilação (W)
Hortifrúti	10	210
Preparo Hortifrúti	11,20	70
Laticínios	10	210
Carnes	18	350
Sala de Cortes	19	70
Padaria	12.37	210
Sala de Máquinas	18,50	140
Total		1.260

Fonte: Levantamento in loco.

3.2.3 Carga térmica total

A carga térmica total do sistema de baixa temperatura, que é a soma da carga térmica total dos expositores e câmaras, contabilizou o valor de 6.629 kcal/h. No sistema de média temperatura, a carga térmica que é a soma da carga térmica dos expositores, das câmaras, das áreas de preparo e da sala de máquinas apresentou valor de 62.103 kcal/h. Os dados de carga térmica totais calculadas estão indicados na Tabela 13.

Tabela 13 – Carga térmica total do sistema de baixa e média temperatura.

Carga Térmica	Expositores (kcal/h)	Áreas de preparo, Câmaras e Sala de máquinas (kcal/h)	Total (kcal/h)
Baixa Temperatura	3.029	3.600	6.629
Média Temperatura	41.183	20.920	62.103

Fonte: O autor.

3.3 AÇÕES PROPOSTAS PARA A REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

As soluções propostas para a redução do consumo de energia dos sistemas de refrigeração visam proporcionar a utilização de equipamentos mais modernos e eficientes. As soluções propostas são:

- a) Substituição de motores *standard* por motores de baixo consumo nos expositores frigoríficos, e nos evaporadores das câmaras frigoríficas e das áreas de preparo;
- b) Substituição de lâmpadas fluorescente do tipo T8 por lâmpadas do tipo LED; e,
- c) Instalação de portas nos expositores verticais;

Neste sentido, seguem descritas em maiores detalhes na sequência, as propostas de melhoria para cada uma destas ações propostas.

3.3.1 Motores de baixo consumo

Será proposta e analisada a utilização de motores de baixo consumo em substituição aos motores do tipo *standard* nos expositores frigoríficos, e dos evaporadores das áreas de preparo e câmaras frigoríficas da loja. O motor a ser utilizado no estudo é o modelo iQ da Ebmpapst que tem como principais características:

- Mesma posição de fixação de um motor de polo sombreado convencional;
- Rolamento de esferas (livre de manutenção);
- Grau de proteção IP54; e,
- Vida útil de 50.000 horas.

De acordo com a Ebmpapst (2015), os motores de baixo consumo possuem mais de 70% de eficiência energética, possibilitando elevada redução no consumo de energia e no calor gerado pelo motor dentro dos expositores frigoríficos. O motor de baixo consumo é apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Motores de baixo consumo conforme modelo iQ da Ebmpapst.



Fonte: EBMPAPST.

Dentre os modelos disponíveis e indicados pelo fabricante, o modelo escolhido é o iQ3612 que será analisado para os expositores frigoríficos com as seguintes medições: diâmetro de hélice de 200mm e ângulo de 28°; rotação 1.300 RPM e potência de entrada de 11 W. Para os evaporadores das câmaras frigoríficas, áreas de preparo e sala de máquinas será analisado o modelo iQ3620 com diâmetro de hélice de 300mm e ângulo de 22°, rotação 1.300 RPM e potência de entrada de 32 W.

3.3.2 Lâmpadas do tipo LED

A substituição das lâmpadas dos expositores frigoríficos trocando as fluorescentes do tipo T8 por lâmpadas do tipo LED é uma das alternativas para o aumento da eficiência energética do sistema de refrigeração.

Para a seleção da lâmpada LED considerou-se a indicação do fabricante através da tabela de substituição da Philips na qual é recomendado a substituição da fluorescente T8 de 32 W pelo modelo MASTER LEDtube com potência de 18 W com economia de energia de 43,75%. A Figura 13 apresenta o modelo de lâmpada LED a ser estudada. Suas principais características são:

- Vida útil de 25.000 horas;
- Fluxo luminoso de 2.100 lm; e,
- Multitensão (100 – 240V) sem o uso de reatores.

Figura 13 – Lâmpada LED conforme modelo MASTER LEDtube da Philips.



Fonte: PHILIPS.

3.3.3 Portas nos expositores verticais

A introdução de portas em expositores verticais (Figura 14) é uma excelente alternativa para a redução do consumo energético, pois a carga térmica do expositor é reduzida em cerca de 70% de acordo com o fabricante Metalbo.

De acordo com a REVISTA ABRAVA (2016), deve-se lembrar que a redução de 70% do consumo de energia é no expositor frigorífico, no *rack* de refrigeração a economia não será tão grande, pois existem outras cargas, além das câmaras frigoríficas. Dependendo do tamanho do supermercado e da quantidade de balcões, esta redução pode chegar a 50% da energia.

No presente trabalho será analisado o comportamento da instalação utilizando portas nos expositores verticais abertos, sendo analisado o modelo Ecoline plus do fabricante Metalbo. Suas principais características são:

- Vidro duplo temperado de baixa emissividade LOW-E;
- Portas e marcos em alumínio anodizado natural;
- Moldura em alumínio com aquecimento por resistência; e,
- Iluminação de LED no marco da porta.

Figura 14 – Portas para expositores frigoríficos verticais do fabricante Metalbo.



Fonte: METALBO.

3.4 CÁLCULO DE DESEMPENHO DO COMPRESSOR – *SOFTWARE BITZER*

O *software* responsável pelo cálculo da capacidade frigorífica, do COP e da potência do compressor é o *BITZER software v6.6.0*. Os dados de desempenho do compressor Bitzer são obtidos de forma empírica e tabelados em função das temperaturas de condensação e evaporação. Por meio do método de ajuste de curvas, uma equação polinomial de terceiro grau, indicada na Eq. (09), composta por dez coeficientes é empregada para correlacionar os dados tabelados, conforme norma ARI 540:2004:

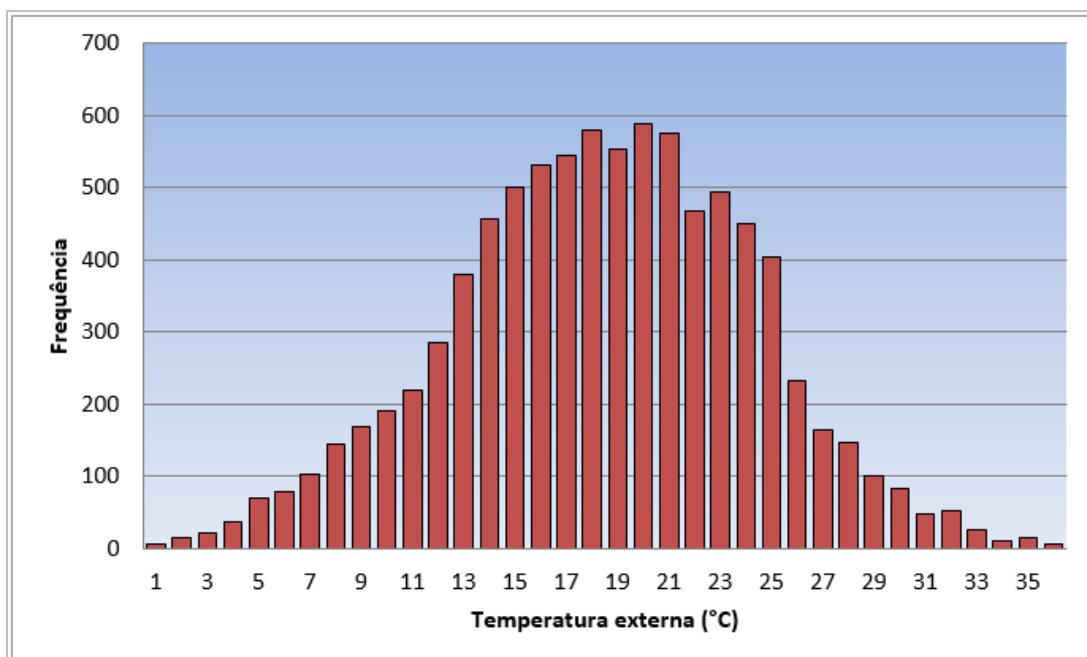
$$X = C1 + C2(T_S) + C3(T_D) + C4(T_S^2) + C5(T_S T_D) + C6(T_D^2) + C7(T_S^3) + C8(T_D T_S^2) + C9(T_D^2 T_S) + C10(T_D^3) \quad (09)$$

onde: C_i correspondem aos coeficientes da equação e representam a performance do compressor, T_S é a temperatura de saturação de sucção, T_D é a temperatura de saturação na descarga, e X pode ser qualquer uma das seguintes variáveis: potência do compressor, vazão mássica, corrente consumida ou eficiência do compressor.

3.5 DADOS CLIMÁTICOS

O consumo de energia do sistema de refrigeração do supermercado será analisado através de condições climáticas ao longo do ano, podendo-se avaliar as condições de trabalho dos componentes de refrigeração da forma mais próxima do que ocorre na realidade. Será considerado o arquivo de dados climáticos TRY da cidade de Porto Alegre/RS para a realização do estudo, dados estes obtidos por meio do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), da Universidade Federal de Santa Catarina. Esse arquivo climático representa os dados climáticos de todas as 8.760 horas de um ano representativo. A Figura 15 apresenta os 8.760 dados de temperatura de ar exterior.

Figura 15 – Temperatura externa da cidade de Porto Alegre/RS ao longo de um ano representativo, considerando o arquivo climático TRY.



Fonte: LabEEE.

Segundo Presotto e Süffert (2007), pode-se considerar que durante um período de 8h por dia o supermercado permanece fechado ao público, implicando em câmaras frigoríficas fechadas, e baixa movimentação de produtos nos expositores em geral. Isto significa que durante o horário noturno é admitido uma diminuição da carga térmica nominal. É considerado, devido à variação das condições climáticas ao longo do ano, cinco condições de operação: carga diurna com temperatura exter-

na acima de 25°C, carga diurna com temperatura externa entre 15°C e 25°C, carga diurna com temperatura externa até 15°C, carga noturna com temperatura externa entre 15°C e 25°C e carga noturna com temperatura externa até 15°C.

Para o cálculo do consumo energético dos *racks* de refrigeração considerando o arquivo climático TRY foram consideradas as seguintes condições de operação:

- 14,8% do tempo, em carga diurna e com temperatura externa acima de 25°C;
- 37,8% do tempo, em carga diurna e com temperatura externa entre 15 e 25°C;
- 14,0% do tempo, em carga diurna e com temperatura externa até 15°C;
- 21,9% do tempo, em carga noturna e com temperatura externa entre 15 e 25°C; e,
- 11,5% do tempo, em carga noturna e com temperatura externa até 15°C.

3.6 REGIMES DE OPERAÇÃO

De acordo com Presotto e Süffert (2007) é considerado que a malha de controle dos condensadores atue mantendo a temperatura de condensação estável entre 40 e 45°C. Também foi considerado que durante os períodos de regime parcial (temperatura externa <25°C) os ventiladores permanecem 30% do tempo desligados, e durante os períodos de inverno (temperatura externa <15°C) os ventiladores permanecem 50% do tempo desligados.

Para a análise do consumo de energia dos *racks* de baixa e média temperatura foram consideradas as condições de operações indicadas nas Tabela 14 e Tabela 15:

Tabela 14 – Regimes de operação para análise do desempenho energético do *rack* de baixa temperatura.

Turno	Temperatura externa °C	Temperatura evaporação °C	Temperatura condensação °C	Superaquecimento °C	Sub-resfriamento °C
diurno	>25	-32	+45	20	5
diurno	>15 e ≤ 25	-32	+40	20	5
diurno	≤15	-32	+40	20	5
noturno	>15 e ≤ 25	-33	+40	20	5
noturno	≤15	-33	+40	20	5

Fonte: (Presotto e Süffert, 2007).

Tabela 15 – Regimes de operação para análise do desempenho energético do *rack* de média temperatura.

Turno	Temperatura externa °C	Temperatura evaporação °C	Temperatura condensação °C	Superaquecimento °C	Sub-resfriamento °C
diurno	>25	-10	+45	10	5
diurno	>15 e ≤ 25	-10	+40	10	5
diurno	≤15	-11	+40	10	5
noturno	>15 e ≤ 25	-11	+40	10	5
noturno	≤15	-11	+40	10	5

Fonte: (Presotto e Süffert, 2007).

Lindberg et al (2010) considerou, através de seu estudo de comparação de desempenhos de expositores frigoríficos, com e sem portas, que no período noturno os expositores abertos tem uma diminuição da carga térmica de aproximadamente 67%. Para os equipamentos com portas tem-se uma redução de 55%.

Para o cálculo da carga térmica noturna dos expositores frigoríficos considerou-se os parâmetros de (Lindberg et al 2010). Já a carga térmica noturna das câmaras frigoríficas foi recalculada considerando a carga do ar de infiltração, a carga do produto e a carga de pessoas como nulas.

Importante ressaltar, ainda, que se observou outras considerações para o cálculo do consumo de energia dos sistemas de refrigeração, quais sejam:

- Funcionamento da iluminação dos expositores de baixa e média temperatura durante 16 horas por dia;
- Ventilação dos evaporadores das áreas de preparo, também durante 16 horas por dia;

- Considerado seis feriados por ano em que a loja não abre e,
- Consideradas duas horas para a realização de degelo da câmara de congelados, através de resistências elétricas.

3.7 ANÁLISE ECÔNOMICA

Para a avaliação das propostas de melhorias estudadas será necessário a realização de uma análise econômica. Esta análise econômica será a principal ferramenta para tomada de decisões de investimentos. Serão utilizados os métodos do Valor presente líquido (VPL), e o *Payback* simples (PBS).

3.7.1 Valor presente líquido (VPL)

O valor presente líquido é o método utilizado para calcular a atratividade de investimentos. Este consiste em trazer todos os valores futuros do fluxo de caixa para a data zero, descontadas à taxa de juros considerada, sendo determinado segundo a Eq. (10). Obtendo-se um valor de VPL positivo considera-se a proposta um investimento economicamente viável e, para o caso do VPL negativo, um investimento economicamente inviável.

$$\text{VPL} = -I + A \cdot \text{FVP}(i, n) \quad (10)$$

onde: I é o investimento inicial, em R\$, A é a parcela de retorno, em R\$, FVP(i, n) é o fator de valor obtido pela Eq. (11).

$$\text{FVP}(i, n) = \frac{P}{A} = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \quad (11)$$

onde: i é a taxa de juros adotada, em %, e n é o prazo considerado, em anos.

3.7.2 *Payback* Simples (PBS)

O *payback* simples é determinado através do quociente entre o custo do investimento inicial, I, pela receita, ou pelo benefício obtido, ou pelo custo evitado, A, (todos em R\$), conforme a Eq. (12).

$$\text{PBS} = \frac{I}{A} \quad (12)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção destina-se a apresentação e discussão dos resultados da análise energética realizada, conforme os seguintes itens:

- Consumo de energia anual das instalações de refrigeração existentes sem a implementação das melhorias;
- Consumo de energia anual das instalações de refrigeração com a implementação das melhorias estudadas e,
- Análise econômica das melhorias estudadas.

4.1 ANÁLISE ENERGÉTICA

4.1.1 Instalações existentes

Conforme esclarecido anteriormente, inicialmente foi realizado o cálculo do consumo de energia anual das instalações existentes, sem a implementação das modificações. Esse procedimento se deu em função da necessidade de serem comparados os valores de consumo com as àqueles obtidos após a implementação das propostas de melhorias aqui estudadas. O detalhamento dos cálculos do consumo de energia das instalações existentes é feito no Apêndice B.

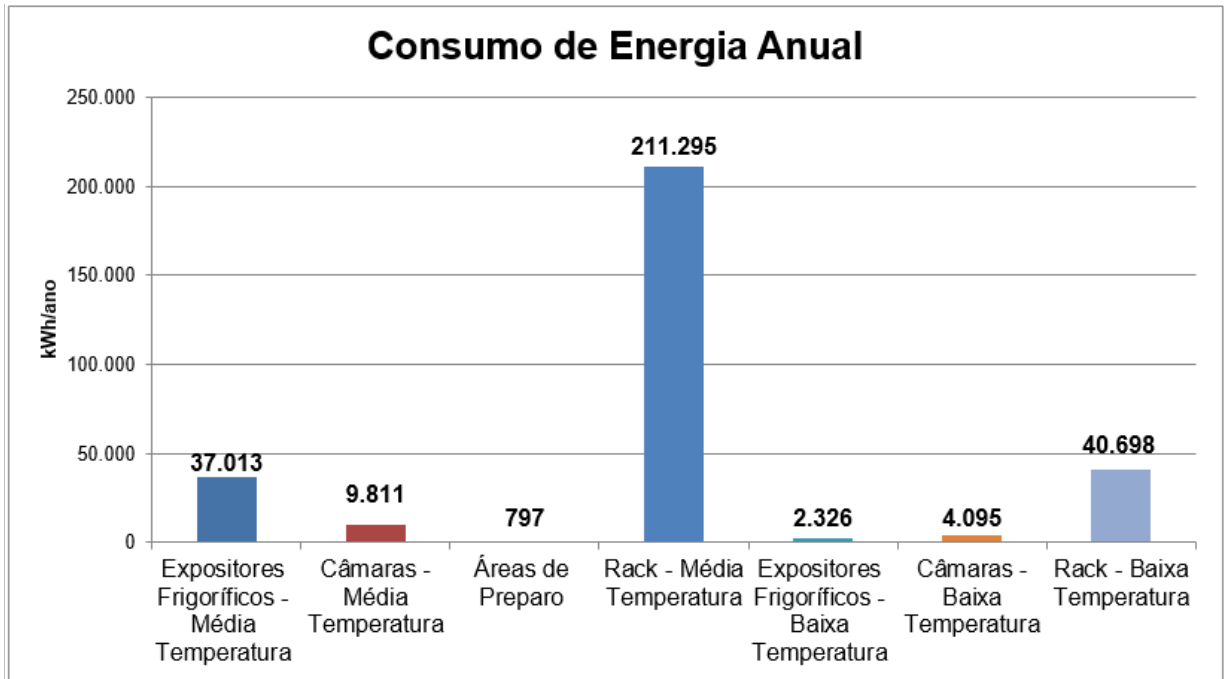
De acordo com a Tabela 16 e a Figura 16, o maior consumo de energia anual foi do *rack* de média temperatura, o qual corresponde a 69,04% do consumo total dos sistemas de refrigeração da loja.

Tabela 16 – Consumo de energia anual das instalações de refrigeração existentes.

Componentes	Consumo Energia Anual (kWh/ano)	% Total
Expositores Frigoríficos – operando em média temperatura	37.013	12,09
Câmaras – operando em média temperatura	9.811	3,21
Áreas de Preparo	797	0,26
Rack – operando em média temperatura	211.295	69,04
Expositores Frigoríficos – operando em baixa temperatura	2.326	0,76
Câmaras – operando em baixa temperatura	4.095	1,34
Rack – operando em baixa temperatura	40.698	13,30
Total	306.035	100,00

Fonte: O autor.

Figura 16 – Consumo de energia anual das instalações de refrigeração existentes.



Fonte: O autor.

Conforme pode ser constatado, a instalação de baixa temperatura é de pequena capacidade e representa 15,40% do consumo total de energia elétrica. Já o sistema de média temperatura, corresponde a 84,60% do total do consumo de energia elétrica do supermercado.

Considerando-se que nos expositores frigoríficos do sistema de baixa temperatura já estão instaladas as portas, as lâmpadas LED e os motores de baixo consumo, sua contribuição no consumo energético é irrisória, assim como nas áreas de preparo que contemplam somente o consumo de energia dos motores dos evaporadores.

4.1.2 Melhoria 1: Instalação de motores de baixo consumo

A presente proposta de melhoria consiste na substituição dos motores *standard* dos expositores frigoríficos e dos evaporadores das áreas de preparo, sala de máquinas e câmaras frigoríficas por motores de baixo consumo.

Para elaborar o cálculo de consumo de energia, analisou-se o modelo iQ3612 para os expositores frigoríficos, com potência de 11W. Para os evaporadores das câmaras frigoríficas, áreas de preparo e sala de máquinas, analisou-se o modelo iQ3620 com potência de 32W. Ambos os motores são do fabricante Ebmpapst, e os

seus dados técnicos são apresentados no Anexo A. O detalhamento dos cálculos do consumo de energia para a implementação da Melhoria 1 é feito no Apêndice C.

Essa melhoria obteve ganhos na redução de energia em todos os componentes do sistema de refrigeração, exceto nos expositores frigoríficos de baixa temperatura, pois o mesmo já contempla este tipo de motor. Não foi considerada a redução da carga térmica na câmara de congelados, pois esta é irrisória.

Os expositores frigoríficos de média temperatura foram os que tiveram a maior redução do consumo de energia que foi 18.396 kWh/ano, ou seja, redução de 49,70% do consumo de energia total do equipamento.

Um ganho a ser considerado foi a redução da carga térmica dos expositores frigoríficos de média temperatura, que ocasionou uma redução de consumo de 9.538 kWh/ano, diminuindo, assim, 4,51% do consumo de energia total do sistema de *racks* de média temperatura.

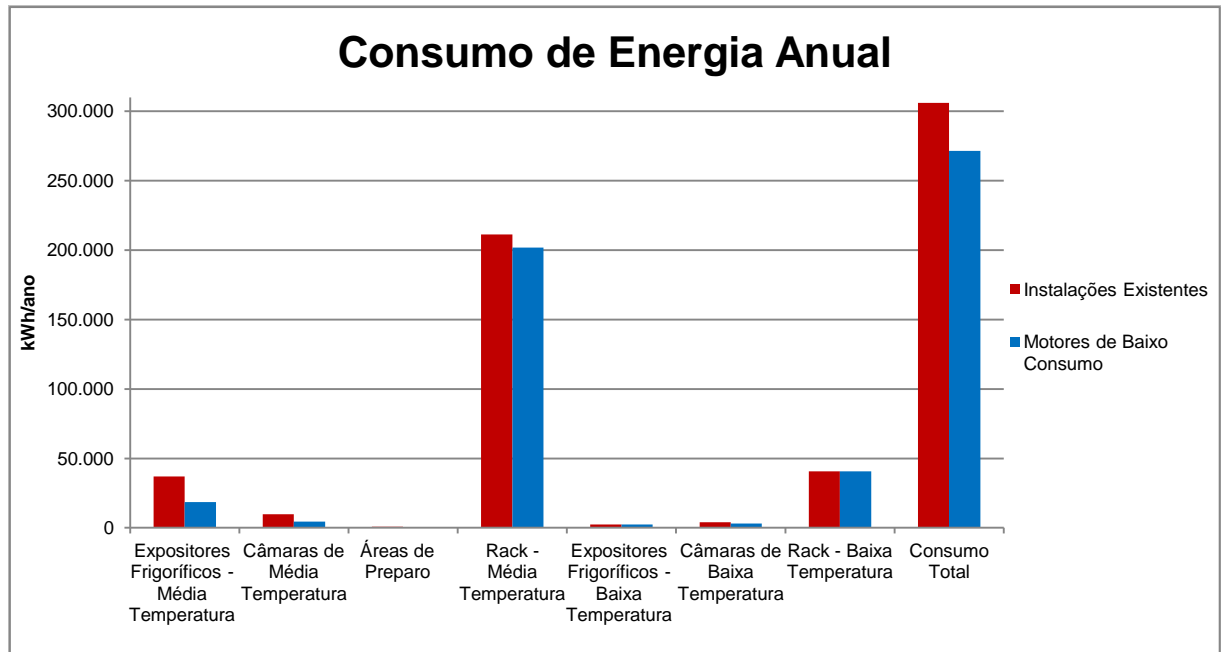
A substituição dos motores dos expositores frigoríficos e dos evaporadores das câmaras frigoríficas, das áreas de preparo e da sala de máquinas, ocasionou a redução total de 11,31% no consumo da energia anual. A Tabela 17 e a Figura 17 compilam os resultados obtidos, como também, um comparativo com os valores de consumo da instalação existente.

Tabela 17 – Consumo de energia anual entre as instalações existentes e as instalações com motores de baixo consumo.

Componentes	Instalações Existentes	Motores de Baixo Consumo	Diferença %
	Consumo Energia Anual (kWh/ano)	Consumo Energia Anual (kWh/ano)	
Expositores Frigoríficos Média Temperatura	37.013	18.617	-49,70%
Câmaras Média Temperatura	9.811	4.485	-54,29%
Áreas de Preparo	797	365	-54,29%
Rack - Média Temperatura	211.295	201.757	-4,51%
Expositores Frigoríficos Baixa Temperatura	2.326	2.326	0,00%
Câmaras Baixa Temperatura	4.095	3.180	-22,35%
Rack - Baixa Temperatura	40.698	40.698	0,00%
Total	306.035	271.427	-11,31%

Fonte: O autor.

Figura 17 – Comparação do consumo de energia anual entre as instalações existentes e as instalações com motores de baixo consumo.



Fonte: O autor.

4.1.3 Melhoria 2: Instalação da iluminação de LED

A segunda proposta para a redução do consumo de energia elétrica das instalações de refrigeração do supermercado é a substituição das lâmpadas fluorescentes T8 dos expositores frigoríficos por lâmpadas do tipo LED. Devido à pouca utilização da iluminação nas áreas de preparo, nas salas de máquinas e nas câmaras frigoríficas, o estudo não contemplou estes ambientes. Para a realização dos cálculos, foi utilizada a lâmpada LED modelo MASTER LEDtube do fabricante Philips, com potência de 18W (vide dados técnicos apresentados no Anexo B), em substituição a lâmpada fluorescente T8 de 32W. O detalhamento dos cálculos do consumo de energia para a implementação da Melhoria 2 é feito no Apêndice D.

A solução proposta reduziu o consumo de energia anual em 5,60% nos expositores frigoríficos do sistema de média temperatura. Para o sistema de baixa temperatura não ocorreu redução, pois os expositores já contêm esse tipo de lâmpada. Também ocorreu uma pequena redução do consumo de energia anual do rack de média temperatura, devido a redução da carga térmica dos expositores ocasionada pela diminuição na potência das lâmpadas.

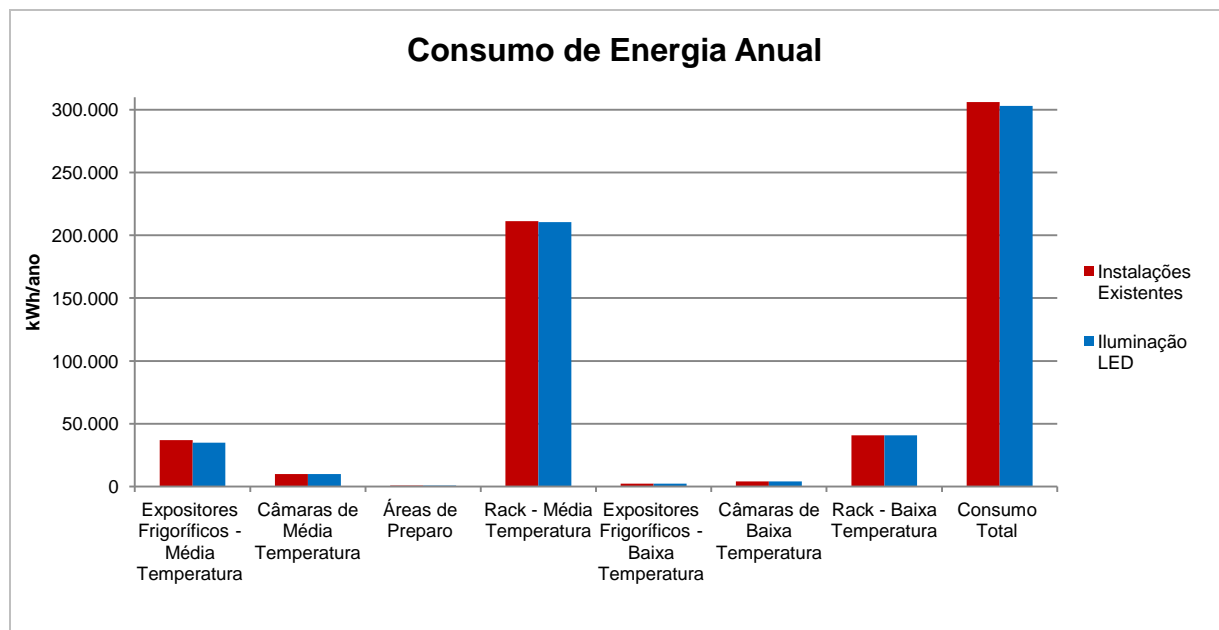
A substituição das lâmpadas ocasionou uma redução total de 0,95% no consumo da energia anual. A Tabela 18 e a Figura 18 compilam os resultados obtidos, como também, um comparativo com os valores de consumo da instalação existente.

Tabela 18 – Consumo de energia anual entre as instalações existentes e as instalações com iluminação LED.

Componentes	Instalações Existentes	Iluminação LED	Diferença %
	Consumo Energia Anual (kWh/ano)	Consumo Energia Anual (kWh/ano)	
Expositores Refrigeríficos Média Temperatura	37.013	34.940	-5,60%
Câmaras Média Temperatura	9.811	9.811	0,00%
Áreas de Preparo	797	797	0,00%
Rack - Média Temperatura	211.295	210.458	-0,40%
Expositores Refrigeríficos Baixa Temperatura	2.326	2.326	0,00%
Câmaras Baixa Temperatura	4.095	4.095	0,00%
Rack - Baixa Temperatura	40.698	40.698	0,00%
Total	306.035	303.125	-0,95%

Fonte: O autor.

Figura 18 – Comparação do consumo de energia anual entre as instalações existentes e as instalações com iluminação LED.



Fonte: O autor.

4.1.4 Melhoria 3: Instalação de portas expositoras verticais

A terceira proposta de melhoria para a redução do consumo de energia elétrica é a instalação de portas nos expositores frigoríficos verticais do sistema de média temperatura, sendo analisado o modelo Ecoline plus do fabricante Metalbo.

Para o cálculo do consumo de energia anual considerou-se a redução da carga térmica de 70% em relação ao expositor vertical sem portas, de acordo com o fabricante Metalbo. Devido a essa redução da carga térmica, o consumo de energia elétrica total dos sistemas de refrigeração diminuiu 17,17%, o que gerou uma redução de 52.534 kWh/ano. O detalhamento dos cálculos do consumo de energia para a implementação da Melhoria 3 é feito no Apêndice E.

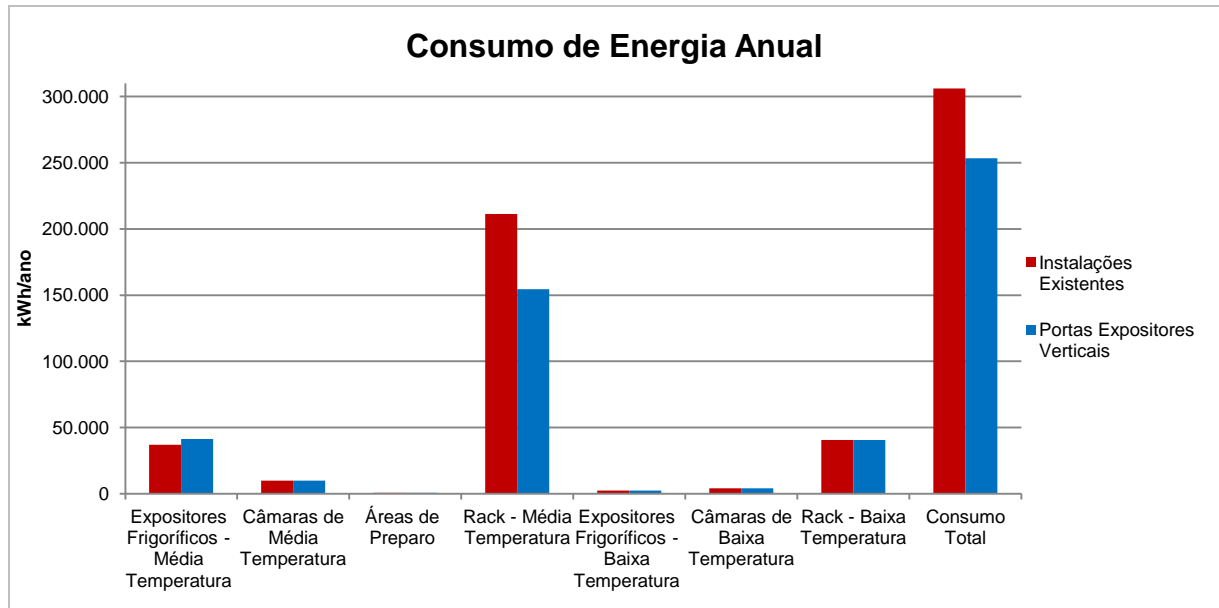
Observou-se ainda, que ocorreu um aumento no consumo de energia dos expositores frigoríficos de média temperatura, apesar de uma menor potência de iluminação instalada. Isso ocorreu devido às resistências de desembaçamento localizadas nas molduras das portas. A Tabela 19 e a Figura 19 compilam os resultados obtidos, como também, um comparativo com os valores de consumo da instalação existente.

Tabela 19 – Consumo de energia anual entre as instalações existentes e as instalações com as portas dos expositores verticais.

Componentes	Instalações Existentes	Portas Expositores Verticais	Diferença %
	Consumo Energia Anual (kWh/ano)	Consumo Energia Anual (kWh/ano)	
Expositores Frigoríficos Média Temperatura	37.013	41.259	11,47%
Câmaras Média Temperatura	9.811	9.811	0,00%
Áreas de Preparo	797	797	0,00%
Rack - Média Temperatura	211.295	154.515	-26,87%
Expositores Frigoríficos Baixa Temperatura	2.326	2.326	0,00%
Câmaras Baixa Temperatura	4.095	4.095	0,00%
Rack - Baixa Temperatura	40.698	40.698	0,00%
Total	306.035	253.501	-17,17%

Fonte: O autor.

Figura 19 – Comparação do consumo de energia anual entre as instalações existentes e as instalações com as portas dos expositores verticais.



Fonte: O autor.

4.1.5 Melhoria 4: Instalação dos motores de baixo consumo e portas nos expositores verticais

A quarta proposta de melhoria para a redução do consumo de energia elétrica engloba a aplicação em conjunto das Melhorias 1 e 3, ou seja: a instalação dos motores de baixo consumo e portas nos expositores verticais.

Esta melhoria reduziu o consumo de energia elétrica anual em 28,47% em relação as instalações existentes, sendo que os expositores frigoríficos e *rack* do sistema de baixa temperatura não contemplaram essa redução de consumo. O detalhamento dos cálculos do consumo de energia para a implementação da Melhoria 4 é feito no Apêndice F.

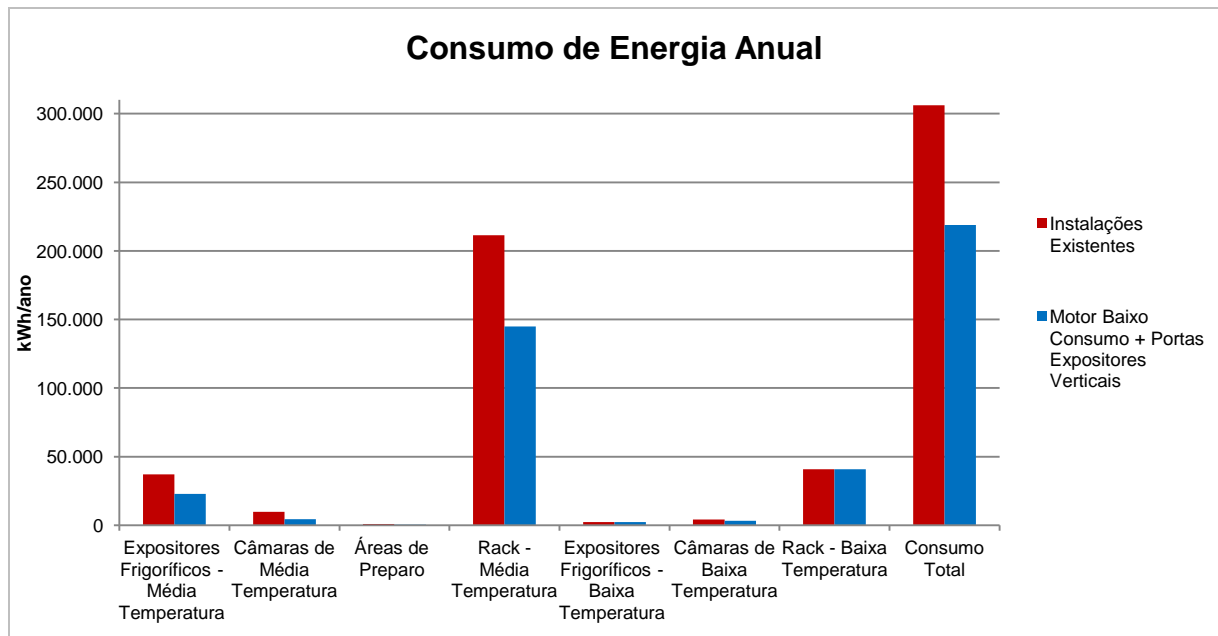
Esta proposta foi a que representou a maior economia no consumo de energia da loja, visto que, a economia anual foi de 87.143 kWh de energia. A Tabela 20 e a Figura 20 compilam os resultados obtidos, como também, um comparativo com os valores de consumo das instalações existentes.

Tabela 20 – Consumo de energia anual entre as instalações existentes e as instalações com a melhoria 4.

Componentes	Instalações Existentes	Motor Baixo Consumo + Portas Expositores Verticais	Diferença %
	Consumo Energia Anual (kWh/ano)	Consumo Energia Anual (kWh/ano)	
Expositores Refrigeríficos Média Temperatura	37.013	22.863	-38,23%
Câmaras Média Temperatura	9.811	4.485	-54,29%
Áreas de Preparo	797	365	-54,29%
Rack - Média Temperatura	211.295	144.977	-31,39%
Expositores Refrigeríficos Baixa Temperatura	2.326	2.326	0,00%
Câmaras Baixa Temperatura	4.095	3.180	-22,35%
Rack - Baixa Temperatura	40.698	40.698	0,00%
Total	306.035	218.892	-28,47%

Fonte: O autor

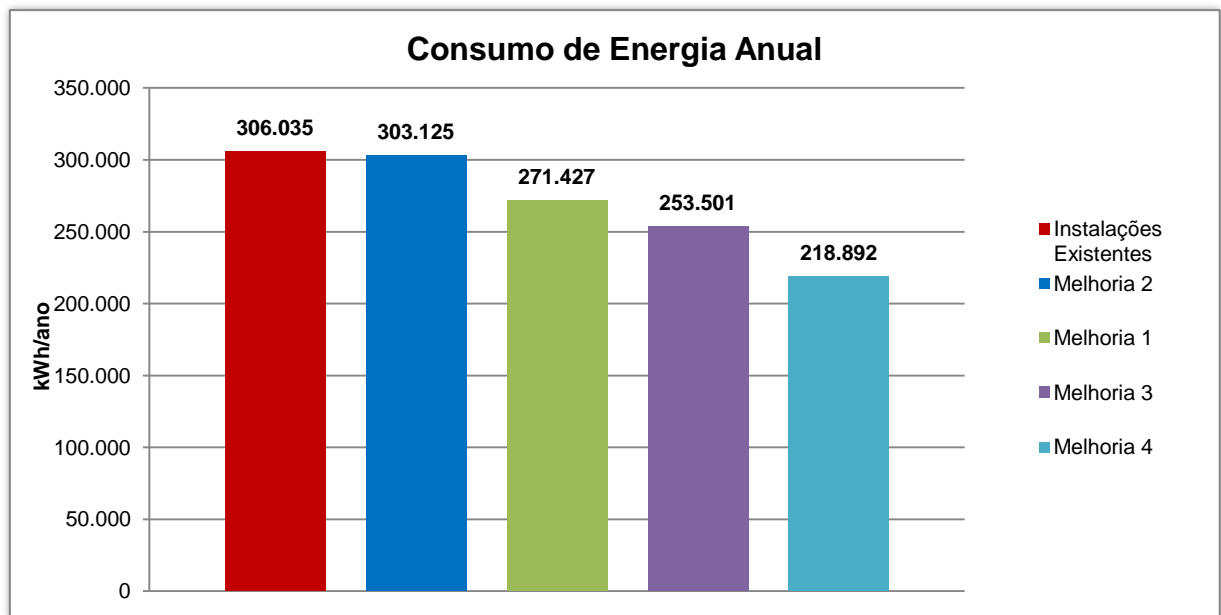
Figura 20 – Comparação do consumo de energia anual entre as instalações existentes e as instalações com a melhoria 4.



Fonte: O autor.

A Figura 21 apresenta a comparação de consumo de energia anual entre as melhorias estudadas e as instalações existentes. Observa-se que a Melhoria 4 (que integra as Melhorias 1 e 3) é a que apresentou o melhor resultado devido, principalmente, a redução do consumo de energia ocasionada pela Melhoria 3.

Figura 21 – Comparação do consumo de energia anual entre as instalações existentes e as melhorias estudadas.



Fonte: O autor.

4.2 ANÁLISE ECONÔMICA

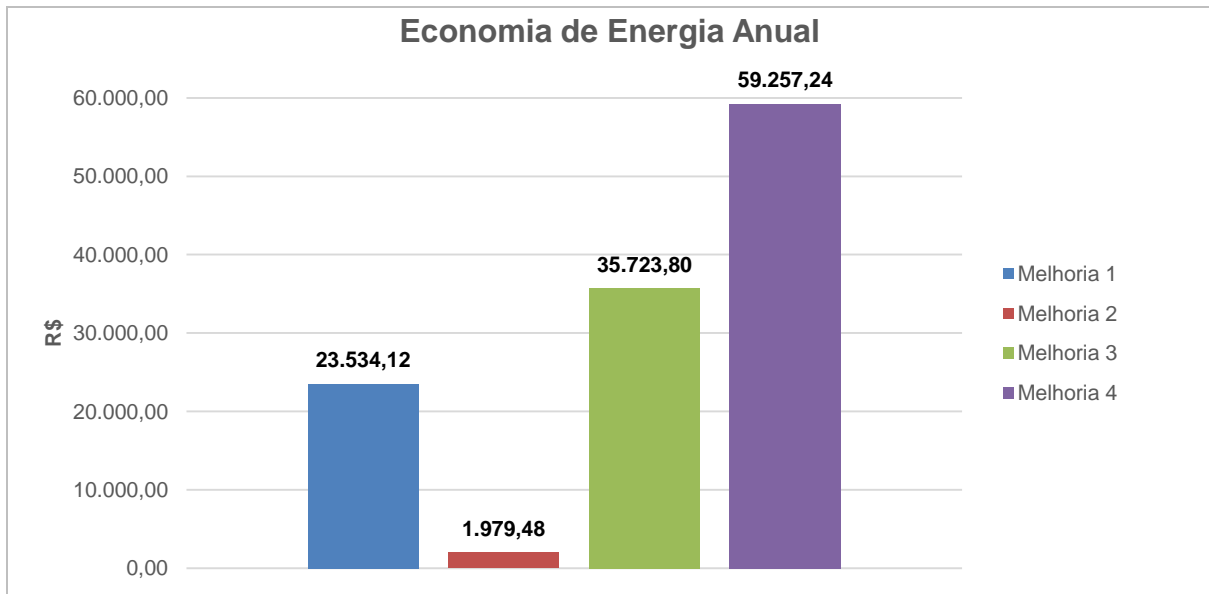
A realização da análise econômica é de suma importância, pois através dela é possível demonstrar e justificar a viabilidade econômica de implantação das melhorias sugeridas. Conforme descrito anteriormente, para realizar a análise econômica no presente estudo, empregou-se o método do valor presente líquido (VPL) e o método do *payback* simples (PBS).

A economia a ser gerada com a implantação das melhorias em relação a instalação existente é apresentada na Figura 22. Considera-se como R\$ 0,68 (sessenta e oito centavos), o valor do kWh², referente ao mês de junho de 2017.

² Disponível em: <http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/Controller.aspx?CC=1782>. Acesso em: 01 jul 2017.

Considerando o adicional de bandeira vermelha, o ICMS=30% e o PIS+COFINS= 7,0097%.

Figura 22 – Economia a ser gerada no período de um ano pela implantação das melhorias.



Fonte: O autor.

A Tabela 21 apresenta os custos de implantação para as quatro melhorias estudadas. Os custos foram obtidos através dos seguintes fornecedores: Ebmpapst (motores), Metalbo (Portas expositores), Plenobrás (lâmpadas LED) e Refriar Manutenção e Instalação (Instalação).

Tabela 21 – Custos de implantação das melhorias estudadas.

	Melhoria 1	Melhoria 2	Melhoria 3	Melhoria 4
Motor Baixo Consumo Modelo iQ3612	R\$7.881,50	R\$0,00	R\$0,00	R\$7.881,50
Motor Baixo Consumo Modelo iQ3620	R\$4.295,55	R\$0,00	R\$0,00	R\$4.295,55
Lâmpada LED MasterLEDtube 18W	R\$0,00	R\$1.066,00	R\$0,00	R\$0,00
Porta Expositor Vertical	R\$0,00	R\$0,00	R\$49.875,00	R\$49.875,00
Instalação	R\$2.760,00	R\$800,00	R\$4.500,00	R\$7.260,00
Custo Total	R\$14.937,05	R\$1.866,00	R\$54.375,00	R\$69.312,05

Fonte: Ebmpapst, Metalbo, Plenobrás e Refriar .

Para a Melhoria 1 considerou-se as seguintes situações: a substituição de cinquenta (50) motores *standard* por motores de baixo consumo (modelo iQ3612 da Ebmpapst), nos expositores frigoríficos; e a substituição de vinte e um (21) motores *standard* por motores de baixo consumo (modelo iQ3620 da Ebmpapst), nos evaporadores das câmaras frigoríficas, nas áreas de preparo e nas salas de máquinas.

Para a Melhoria 2 foi considerada a substituição de vinte e seis (26) lâmpadas fluorescentes do tipo T8 com potência de 32W por lâmpadas do tipo LED (modelo MASTER LEDtube), com potência de 18 W, nos expositores frigoríficos.

Já a Melhoria 3, considerou-se a instalação de 23,75 m de portas nos expositores frigoríficos verticais de média temperatura. A Melhoria 4 englobou todos os equipamentos e acessórios das Melhorias 1 e 3.

4.2.1 Valor presente líquido (VPL)

O cálculo do valor presente líquido foi realizado levando-se em consideração a taxa de juros de 10,25%, conforme referência da taxa Selic de junho de 2017.

No caso da Melhoria 1, os motores de baixo consumo possuem vida útil de 50.000 h, conforme os dados do fabricante, sendo que esse equipamento ficará em funcionamento durante 8.760 h por ano, o valor de “n” será de 5,71 anos. Não será avaliado os motores de baixo consumo dos evaporadores das áreas de preparo, pois ficam em funcionamento durante 5.696h por ano.

Para a Melhoria 2, as lâmpadas do tipo LED, segundo o fabricante, possuem vida útil de 25.000h, sendo que ficarão em funcionamento durante 5.696 h por ano, o valor de “n” será de 4,39 anos.

Na Melhoria 3, as portas dos expositores verticais, segundo o fabricante Metalbo, possuem vida útil de 15 anos. Para a Melhoria 4, que engloba as melhorias 1 e 3, considerar-se-á o valor da vida útil dos motores de baixo consumo que é a menor.

A Tabela 22 apresenta o custo de implantação, a economia de energia elétrica anual, a vida útil, a taxa de juros, o fator de valor presente e o valor presente líquido de cada uma das melhorias estudadas.

É importante mencionar ainda, que em todas as melhorias estudadas, o valor presente líquido (VPL) apresentou valores positivos, o que significa que todas as alternativas de investimento são economicamente interessantes à taxa de juros con-

siderada. A Melhoria 3 é a alternativa com maior atratividade, pois foi o maior resultado obtido.

Tabela 22 – Apresentação dos valores de valor presente líquido (VPL) das melhorias estudadas.

	Economia de Energia Anual (R\$)	Custo de Implantação (R\$)	Vida Útil (anos)	Taxa de juros (%)	FVP (i,n)	VPL (R\$)
Melhoria 1	23.240,36	14.407,95	5,71	10,25	4,17	82.504,35
Melhoria 2	1.979,48	1.866,00	4,39	10,25	3,40	4.864,23
Melhoria 3	35.723,80	54.375,00	15	10,25	7,50	213.553,50
Melhoria 4	59.257,24	69.312,05	5,71	10,25	4,17	177.790,64

Fonte: O autor.

4.2.2 Payback simples (PBS)

A análise da viabilidade econômica das quatro melhorias, através do método do retorno do investimento, foi realizada pelo critério do *payback* simples (PBS). A Tabela 23 apresenta o custo de implantação, a economia de energia elétrica anual e o retorno do investimento de cada uma das melhorias estudadas.

Tabela 23 – Apresentação dos valores de payback (PBS) das melhorias estudadas.

	Economia de Energia Anual (R\$)	Custo de Implantação (R\$)	Tempo de Retorno do Investimento (Anos)
Melhoria 1	23.534,12	14.937,05	0,63
Melhoria 2	1.979,48	1.866,00	0,94
Melhoria 3	35.723,80	54.375,00	1,52
Melhoria 4	59.257,24	69.312,05	1,17

Fonte: O autor.

Analisando-se os valores do *payback* (PBS), observa-se que todas as melhorias são viáveis e com período de retorno inferior a um ano e sete meses. O maior destaque é a Melhoria 1 a qual permite o retorno do investimento em um período inferior a oito meses.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

A presente monografia teve como objetivo realizar uma avaliação e apresentar uma proposta de um conjunto de soluções de fácil aplicação para tornar o sistema de refrigeração de um supermercado mais eficiente energeticamente. Após realizar uma análise do consumo energético do sistema de refrigeração, foram propostas quatro melhorias:

1ª Melhoria: Instalação de motores de baixo consumo energético nos expositores frigoríficos e nos evaporadores das áreas de preparo, sala de máquinas e câmaras frigoríficas por motores de baixo consumo;

2ª Melhoria: Substituição das lâmpadas fluorescentes dos expositores frigoríficos por lâmpadas do tipo LED;

3ª Melhoria: Instalação de portas nos expositores frigoríficos verticais do sistema de média temperatura; e,

4ª Melhoria: Integração das Melhorias 1 e 3.

Os resultados obtidos após a análise energética demonstraram que todas as melhorias propostas obtiveram resultados satisfatórios. No entanto, a Melhoria 4 reduziu o consumo total de energia anual em 28,47% em relação as instalações existentes, sendo a proposta de maior redução. Além disso, esta apresentou no estudo de viabilidade econômica um rápido retorno do investimento, com um tempo de retorno de um ano e 2 meses.

De acordo com a análise econômica realizada empregando-se o método do valor presente líquido (VPL), a melhor opção de investimento entre as melhorias propostas é a instalação de portas nos expositores verticais (Melhoria 3) devido principalmente a sua vida útil de 15 anos. Esta melhoria reduziu o consumo total de energia dos sistemas de refrigeração em torno de 17,17%. Observou-se, também, que a utilização de portas nos expositores promoveu uma considerável redução de carga térmica, o que proporciona, para as novas instalações, menores custos de instalação dos sistemas de refrigeração, pois seus principais equipamentos (compressores e condensadores) serão de menores capacidades.

A Melhoria 1 também demonstrou-se interessante, pois além de reduzir o consumo elétrico dos motores contribui para a redução da carga térmica, o que gera uma queda do consumo total de energia de 11,31%.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como uma sugestão para trabalhos futuros tem-se a realização da análise de outros sistemas de refrigeração estudando a viabilidade de substituição do fluido refrigerante utilizado nos sistemas de refrigeração da loja (atualmente utiliza-se o R-22), devido ao *phase out*³ que está gerando uma alta no seu custo. Além disso, este tipo de fluido possui ODP≠0, que é prejudicial a camada de ozônio.

Igualmente, seria importante estudar a viabilidade de substituição de outros equipamentos e acessórios de refrigeração por sistemas mais eficientes, tais como válvulas de expansão eletrônicas, ventiladores eletronicamente comutáveis para condensadores, ilhas de congelados do tipo *self*, sistemas de degelo mais eficientes, etc.

³ Phase out significa o fim da comercialização do fluido refrigerante R-22 e demais HCFCs. Devido a suas características danosas, foi decidido durante o protocolo de Montreal que o Brasil e demais países em desenvolvimento (países do artigo 5) irão eliminar o consumo em 100% no ano de 2040.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEYER, P.O., 2006a, “**Climatização**”, Apostila de graduação para o curso de Engenharia Mecânica - UFRGS, Porto Alegre, RS.
- BRANCO, N.N. **Avaliação de índices de consumo de energia para supermercados**. 2010. 71 p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- CEEE. **Custos e tarifas**.
Disponível em:
<<http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/Controller.aspx?CC=1782>>
Acesso em: 1 julho 2017.
- EBMPAPST. **Energy-saving fans with ESM and iQ-motor**, 2009.
- EBMPAPST. **Motores NiQ e iQ**.
Disponível em: <http://www.ebmpapst.com.br/pt_br/products/iq_motor/motoriq.php> -
Acesso em: 8 maio 2017.
- ELETROFRIO. **Expositores verticais**. Disponível em:<http://eletrofrío.com.br/categoria_produto/laticínios/> - Acesso em: 1 abril 2017.
- EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2016: ano base 2015**, Brasília, 2016.
- LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos climáticos de cidades brasileiras**. Disponível em:
< <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>> - Acesso em: 8 maio 2017.
- LINDBERG, U.; AXELL, M.; FAHLÉN, P. **Vertical display cabinets without and with doors – a comparison of measurements in a laboratory and in a supermarket**. IIR, Cambridge, 2010.
- MARCHIORO, F.S. **Análise de técnicas de redução de consumo de energia em sistemas de refrigeração para supermercados**. 2004. 144 p. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2004.
- METALBO. **Cerramientos EcoLine Plus**.
Disponível em:<<http://metalbo.com.ar/website/cerramiento-ecoline-plus/>> - Acesso em: 8 maio 2017.
- MONTEIRO, V. **Refrigeração I: Técnicas e competências ambientais**. 1.ed. Lisboa: ETEP, 2015.
- PANESI, A. R. Q. **Eficiência energética em supermercados**. 2º Encontro de Engenharia e tecnologia dos Campos Gerais, 14 e 15 de agosto de 2008.

PEDROTTI, R.F. **Simulação termo energética de um supermercado**. 2015. 42 p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

PHILIPS. **Lâmpadas LED Philips: Tabela de substituição**, 2014.

PHILIPS. **MASTER LEDtube GA - A nova geração de iluminação tubular econômica**.

Disponível em: <<http://www.lighting.philips.com.br/prof/sistema-de-iluminacao-led/led-tubulares/master-ledtube-ga>> - Acesso em: 8 maio 2017.

PRESOTTO, A.J.; SÜFFERT, C.G. **Estudo comparativo para instalações de frio alimentar em supermercados**, SPM Engenharia, 2007.

PROTOCOLO DE MONTREAL. **Um novo desafio: o Programa Brasileiro para Eliminação dos HCFCs – PBH**. Disponível em:

<<http://www.protocolodemontreal.org.br/eficiente/sites/protocolodemontreal.org.br/pt-br/site.php?secao=noticias&pub=150>> - Acesso em: 1 julho 2017.

STOECKER, F. W.; JONES, W. J. **Refrigeração e ar condicionado**. 1.ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985

STOECKER, F. W.; JABARDO, M. J. **Refrigeração industrial**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

REFRIO. **Catálogo de condensadores remoto a ar**, Hortolândia: 2006

REVISTA ABRAVA. São Paulo: Nova técnica, edição 24, ano 2, março 2016. 68 p.

REVISTA SOLUTIONS. São Paulo: Danfoss, edição 28, ano 8, 2016. 20 p.

SERAL. **Boletim técnico**, Vinhedo: 2003.

SOFTWARE BITZER v6.6.0 – Disponível em: <<http://www.bitzer.com.br>> - Acesso em: 1 abril 2017.

WIRZ, D. **Refrigeração comercial para técnicos em ar condicionado**. 2.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

ANEXO A – MOTOR DE BAIXO CONSUMO MODELOS IQ3612 E IQ3620 DA EBMPAPST

iQ-motor – combination with axial impellers

Power input and air flow



- Power ratings (220 - 240 V design): Power input and air flow at 230 V / 50 Hz and a constant speed of 1300 min⁻¹.

Motor	Axial impeller diameter	Axial impeller blade angle	Curves	Max. power input	Power input running at free air	Air flow running at free air at n=1300 rpm
iq 3608	mm	°		W	W	m ³ /h
	154	22	A	2,8	2,5	150
	154	28		3,2	3	190
	154	34		3,7	3,5	210
	172	22	B	5,3	3	240
	172	28		6,7	4,1	270
	172	34		7,5	5,5	300
	200	22	C	7,5	5	350
	200	28		7,5	6	400
iq 3612	mm	°		W	W	m ³ /h
	200	22	D	9,5	4,4	350
	200	28		11	5,3	400
	200	34		15	7,8	460
	230	22	E	23	9,5	520
	230	28		21,5	15,5	720
	230	34		23	19,5	750
	254	22	F	23	15	700
	254 *	28		23	23	950
iq 3620	mm	°		W	W	m ³ /h
	254	22	G	26	11,8	700
	254	28		30	18,3	950
	254	34		31	26,8	1000
	300	22	H	32	27,5	1400

subject to alterations

* Depending on back pressure, full nominal speed of 1300 min⁻¹ is not reached to some part. Depending on mounting situation, a speed of approx. 1200 min⁻¹ (+/- 100 min⁻¹) is reached. Due to the intelligent electronics, however, safe (permanent) operation is still guaranteed.

ANEXO B – LÂMPADA MODELO MASTER LEDTUBE DO FABRICANTE PHILIPS

Approval and Application	
Etiqueta de Eficiência Energética (EEL)	A+
Controls and Dimming	
Regulável	Não
Operating and Electrical	
Frequência de entrada	50-60 Hz
Tempo de arranque (Nom.)	0.5 s
General Information	
Ciclo de comutação	50000X
Light Technical	
Ângulo do feixe (Nom.)	160 °
Limf no final da vida útil nominal (Nom.)	70 %
Ângulo do feixe nominal	160 °
Temperature	
Temperatura ambiente (Máx.)	45 °C
Temperatura ambiente (Mín.)	-20 °C
Temperatura de armazenamento (Máx.)	65 °C
Temperatura de armazenamento (Mín.)	-40 °C

Approval and Application

Order Code	Full Product Name	Consumo de energia kWh/1000 h
929001131110	MASTER LEDtube 1200mm 13W840 G5 I	15 kWh
929001131210	MASTER LEDtube 1200mm 13W865 G5 I	15 kWh
929001154910	MASTER LEDtube 600mm 7.5W840 G5 I	9 kWh
929001155010	MASTER LEDtube 600mm 7.5W865 G5 I	9 kWh
929001187772	Master LEDTube 1200 mm 18W 840 T8 I W	18 kWh
929001187872	Master LEDTube 1200 mm 18W 865 T8 I W	18 kWh
929001187912	Master LEDTube 600 mm 10W 840 T8 I W	10 kWh
929001187972	Master LEDTube 600 mm 10W 840 T8 I W	10 kWh
929001188072	Master LEDTube 600 mm 10W 865 T8 I W	10 kWh

Operating and Electrical

Order Code	Full Product Name	Tensão (Nom.)	Potência (Nominal) (Nom.)
929001131110	MASTER LEDtube 1200mm 13W840 G5 I	33 V	13 W
929001131210	MASTER LEDtube 1200mm 13W865 G5 I	33 V	13 W
929001154910	MASTER LEDtube 600mm 7.5W840 G5 I	19 V	7.5 W
929001155010	MASTER LEDtube 600mm 7.5W865 G5 I	19 V	7.5 W
929001187772	Master LEDTube 1200 mm 18W 840 T8 I W	100-240 V	18 W

Order Code	Full Product Name	Tensão (Nom.)	Potência (Nominal) (Nom.)
929001187872	Master LEDTube 1200 mm 18W 865 T8 I W	100-240 V	18 W
929001187912	Master LEDTube 600 mm 10W 840 T8 I W	100-240 V	10 W
929001187972	Master LEDTube 600 mm 10W 840 T8 I W	100-240 V	10 W
929001188072	Master LEDTube 600 mm 10W 865 T8 I W	100-240 V	10 W

General Information

Order Code	Full Product Name	Casquilho	Vida útil nominal (Nom.)	Vida útil nominal (horas)
929001131110	MASTER LEDtube 1200mm 13W840 G5 I	G5	40000 h	40000 h
929001131210	MASTER LEDtube 1200mm 13W865 G5 I	G5	40000 h	40000 h
929001154910	MASTER LEDtube 600mm 7.5W840 G5 I	G5	40000 h	40000 h
929001155010	MASTER LEDtube 600mm 7.5W865 G5 I	G5	40000 h	40000 h
929001187772	Master LEDTube 1200 mm 18W 840 T8 I W	G13	25000 h	25000 h

Order Code	Full Product Name	Casquilho	Vida útil nominal (Nom.)	Vida útil nominal (horas)
929001187872	Master LEDTube 1200 mm 18W 865 T8 I W	G13	25000 h	25000 h
929001187912	Master LEDTube 600 mm 10W 840 T8 I W	G13	40000 h	40000 h
929001187972	Master LEDTube 600 mm 10W 840 T8 I W	G13	25000 h	25000 h
929001188072	Master LEDTube 600 mm 10W 865 T8 I W	G13	25000 h	25000 h

APÊNDICE A – CARGA TÉRMICA DIURNA E NOTURNA

Tabela 24 – Carga Térmica diurna e noturna dos expositores de média temperatura.

Expositores Média Temperatura	Composição (m)	Carga Térmica Diurna (kcal/h)	Carga Térmica Noturna (kcal/h)	Carga Térmica Diurna com portas expositores verticais (kcal/h)	Carga Térmica Noturna com portas expositores verticais (kcal/h)
Vitrine - Carnes	2 x 3,75	4.544,0	2.044,8	4.544,0	2.044,8
Atendimento - Carnes	1 x 2,5 + 1 x 1,25	902,0	405,9	902,0	405,9
Vertical - Laticínios	4 x 3,75 + 1 x 2,5	19.544,0	6.449,5	5.863,2	2.638,4
Vertical - Hortifruti	1 x 3,75	3.108,0	1.025,6	932,4	419,6
Vertical - Laticínios	1 x 2,5	3.008,0	992,6	902,4	406,1
Atendimento - Padaria	1 x 1,25	304,0	136,8	304,0	136,8
Vertical baixo - Padaria	1 x 3,75	2.405,0	793,7	2.405,0	793,7
Atendimento - Ilha baixa Queijos	1 x 2,5	570,0	256,5	570,0	256,5
Atendimento - Ilha baixa Queijos	2 x 45° canto externo	1.084,0	487,8	1.084,0	487,8
Vertical baixo - Ilha baixa Queijos	4 x 45° canto externo	4.912,0	1.621,0	4.912,0	1.621,0
Vertical baixo - Ilha baixa Queijos	1 x 1,25	802,0	264,7	802,0	264,7
Total		41.183,0	14.478,9	23.221,0	9.475,2

Fonte: O autor.

Tabela 25 – Carga Térmica diurna e noturna dos expositores de baixa temperatura.

Expositores Baixa Temperatura	Composição (m)	Carga Térmica Diurna (kcal/h)	Carga Térmica Noturna (kcal/h)	Carga Térmica Diurna com portas expositores verticais (kcal/h)	Carga Térmica Noturna com portas expositores verticais (kcal/h)
Vitrine - Carnes	2 x 2,5	3.029,0	1.363,1	3.029,0	1.363,1
Total		3.029,0	1.363,1	3.029,0	1.363,1

Fonte: O autor.

Tabela 26 – Carga Térmica diurna e noturna das câmaras de média temperatura.

Câmaras Média Temperatura	Carga Térmica Diurna (kcal/h)	Carga Térmica Noturna (kcal/h)
Hortifruti	2.000	900
Preparo Hortifruti	1.680	0
Laticínios	2.300	1.035
Carnes	4.680	2.106
Sala de Cortes	3.800	0
Padaria	2.760	1.242
Sala de Máquinas	3.700	1.665
Total	20.920	6.948

Fonte: O autor.

Tabela 27 – Carga Térmica diurna e noturna das câmaras de baixa temperatura.

Câmara Baixa Temperatura	Carga Térmica (kcal/h)	Carga Térmica Noturna (kcal/h)
Congelados	3.600	1.620
Total	3.600	1.620

Fonte: O autor.

APÊNDICE B – CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA ANUAL DAS INSTALAÇÕES EXISTENTES

Tabela 28 – Cálculo do consumo de energia dos *racks* de baixa e média temperatura considerando as instalações existentes.

Rissul - Filial 19 Carga térmica			Comercial (acima 25°C)		Comercial (entre 15 e 25°C)		Comercial (até 15°C)		Noturno (entre 15 e 25°C)		Noturno (até 15°C)	
			BT	MT	BT	MT	BT	MT	BT	MT	BT	MT
Baixa temperatura	6.629	kcal/h	6.629		6.629		6.629		2.983		2.983	
Média temperatura	62.103	kcal/h		62.103		62.103		62.103		21.427		21.427
Carga térmica total	kcal/h		6.629	62.103	6.629	62.103	6.629	62.103	2.983	21.427	2.983	21.427
Regime de operação			-32/+45/5/20	-10/+45/5/10	-32/+40/5/20	-10/+40/5/10	-32/+40/5/20	-11/+40/5/10	-33/+40/5/20	-11/+40/5/10	-33/+40/5/20	-11/+40/5/10
Cop			1,25	2,33	1,41	2,62	1,41	2,55	1,36	2,55	1,36	2,55
Potência absorvida		kW	6,2	31,0	5,5	27,6	5,5	28,3	2,6	9,8	2,6	9,8
Condensador		kW		3,2		2,5		2,5		1,8		1,8
Potência absorvida total		kW	6,8	33,6	6,0	29,6	6,0	30,3	2,9	11,2	2,9	11,2
horas de operação		h/ano	1.188,0	1.296,0	3.036,0	3.312,0	1.124,0	1.226,0	1.758,0	1.918,0	924,0	1.008,0
consumo de energia		kWh/ano	8.087,1	43.488,3	18.110,2	97.888,6	6.704,8	37.162,9	5.109,7	21.471,2	2.685,7	11.284,1
total		MWh/ano	252,0									

Fonte: O autor.

Média Temperatura

Compressores 194.759,7 **kWh/ano**

Condensador 16.535,5 **kWh/ano**

Baixa Temperatura

Compressores 36.908,2 **kWh/ano**

Condensador 3.789,4 **kWh/ano**

Tabela 29 – Cálculo do consumo de energia anual de todos os componentes dos sistemas de refrigeração considerando das instalações existentes.

Componentes	Potência W	Ho- ras/dia	Horas/ Ano	Consumo Parcial KWh/ano	% parcial	Consumo Total kWh/ano	% Total
Expositores - Média Temperatura							
Iluminação	1.000	16	5.696	5.696	1,86	37.013	12,09
Ventilação	2.790	24	8.760	24.440	7,99		
Resistência desem- baçamento	785	24	8.760	6.877	2,25		
Câmaras - Média Temperatura							
Ventilação	1.120	24	8.760	9.811	3,21	9.811	3,21
Áreas de preparo							
Ventilação	140	16	5.696	797	0,26	797	0,26
Rack - Média Temperatura							
Compressores	41.220	24	8.760	194.760	63,64	211.295	69,04
Condensadores	2.563	24	8.760	16.535	5,40		
Expositores - Baixa Temperatura							
Iluminação	112	16	5.696	638	0,21	2.326	0,76
Ventilação	40	22	8.030	321	0,10		
Resistência desem- baçamento	156	24	8.760	1.367	0,45		
Resistência de degelo	0	2	730	0	0,00		
Câmaras - Baixa Temperatura							
Ventilação	210	22	8.030	1.686	0,55	4.095	1,34
Resistência de degelo	3.300	2	730	2.409	0,79		
Rack - Baixa Temperatura							
Compressores	15.160	22	8.030	36.908	12,06	40.698	13,30
Condensadores	641	22	8.030	3.789	1,24		
TOTAL	69.237					306.035	

Fonte: O autor.

APÊNDICE C – CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA ANUAL COM A MELHORIA 1

Tabela 30 – Cálculo do consumo de energia dos *racks* de baixa e média temperatura considerando a Melhoria 1.

Rissul - Filial 19	Comercial (acima 25°C)		Comercial (entre 15 e 25°C)		Comercial (até 15°C)		Noturno (entre 15 e 25°C)		Noturno (até 15°C)		
	BT	MT	BT	MT	BT	MT	BT	MT	BT	MT	
Carga térmica											
Baixa temperatura	6.629	kcal/h	6.629		6.629		6.629		2.983		
Média temperatura	59.703	kcal/h		59.703		59.703		19.091		19.091	
Carga térmica total	kcal/h	6.629	59.703	6.629	59.703	6.629	59.703	2.983	19.091	2.983	19.091
Regime de operação		-32/+45/5/20	-10/+45/5/10	-32/+40/5/20	-10/+40/5/10	-32/+40/5/20	-11/+40/5/10	-33/+40/5/20	-11/+40/5/10	-33/+40/5/20	-11/+40/5/10
Cop		1,25	2,33	1,41	2,62	1,41	2,55	1,36	2,55	1,36	2,55
Potência absorvida	kW	6,2	29,8	5,5	26,5	5,5	27,2	2,6	8,7	2,6	8,7
Condensador	kW		3,2		2,5		2,5		1,8		1,8
Potência absorvida total	kW	6,8	32,4	6,0	28,5	6,0	29,2	2,9	10,1	2,9	10,1
horas de operação	h/ano	1.188,0	1.296,0	3.036,0	3.312,0	1.124,0	1.226,0	1.758,0	1.918,0	924,0	1.008,0
consumo de energia	kWh/ano	8.087,1	41.936,1	18.110,2	94.360,8	6.704,8	35.821,2	5.109,7	19.428,2	2.685,7	10.210,4
total	MWh/ano	242,5									

Fonte: O autor.

Média Temperatura

Compressores 185.221,2 **kWh/ano**

Condensador 16.535,5 **kWh/ano**

Baixa Temperatura

Compressores 36.908,2 **kWh/ano**

Condensador 3.789,4 **kWh/ano**

Tabela 31 – Cálculo do consumo de energia anual de todos os componentes dos sistemas de refrigeração considerando a Melhoria 1.

Componentes	Potência W	Ho- ras/dia	Horas/ Ano	Consumo Parcial KWh/ano	% parcial	Consumo Total kWh/ano	% Total
Expositores - Média Temperatura							
Iluminação	1.000	16	5.696	5.696	2,10	18.617	6,86
Ventilação	690	24	8.760	6.044	2,23		
Resistência de- semaçamento	785	24	8.760	6.877	2,53		
Câmaras - Média Temperatura							
Ventilação	512	24	8.760	4.485	1,65	4.485	1,65
Áreas de preparo							
Ventilação	64	16	5.696	365	0,13	365	0,13
Rack - Média Temperatura							
Compressores	41.220	24	8.760	185.221	68,24	201.757	74,33
Condensadores	2.563	24	8.760	16.535	6,09		
Expositores - Baixa Temperatura							
Iluminação	112	16	5.696	638	0,24	2.326	0,86
Ventilação	40	22	8.030	321	0,12		
Resistência de- semaçamento	156	24	8.760	1.367	0,50		
Resistência de degelo	0	2	730	0	0,00		
Câmaras - Baixa Temperatura							
Ventilação	96	22	8.030	771	0,28	3.180	1,17
Resistência de degelo	3.300	2	730	2.409	0,89		
Rack - Baixa Temperatura							
Compressores	15.160	22	8.030	36.908	13,60	40.698	14,99
Condensadores	641	22	8.030	3.789	1,40		
TOTAL	66.339					271.427	

Fonte: O autor.

APÊNDICE D – CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA ANUAL COM A MELHORIA 2

Tabela 32 – Cálculo do consumo de energia dos *racks* de baixa e média temperatura considerando a Melhoria 2.

Rissul - Filial 19	Comercial (acima 25°C)		Comercial (entre 15 e 25°C)		Comercial (até 15°C)		Noturno (entre 15 e 25°C)		Noturno (até 15°C)		
	BT	MT	BT	MT	BT	MT	BT	MT	BT	MT	
Carga térmica											
Baixa temperatura	6.629	kcal/h	6.629		6.629		6.629		2.983		
Média temperatura	61.790	kcal/h		61.790		61.790		21.427		21.427	
Carga térmica total	kcal/h	6.629	61.790	6.629	61.790	6.629	61.790	2.983	21.427	2.983	21.427
Regime de operação	-32/+45/5/20	-10/+45/5/10	-32/+40/5/20	-10/+40/5/10	-32/+40/5/20	-11/+40/5/10	-33/+40/5/20	-11/+40/5/10	-33/+40/5/20	-11/+40/5/10	
Cop	1,25	2,33	1,41	2,62	1,41	2,55	1,36	2,55	1,36	2,55	
Potência absorvida	kW	6,2	30,8	5,5	27,4	5,5	28,2	2,6	9,8	2,6	9,8
Condensador	kW		3,2		2,5		2,5		1,8		1,8
Potência absorvida total	kW	6,8	33,4	6,0	29,4	6,0	30,2	2,9	11,2	2,9	11,2
horas de operação	h/ano	1.188,0	1.296,0	3.036,0	3.312,0	1.124,0	1.226,0	1.758,0	1.918,0	924,0	1.008,0
consumo de energia	kWh/ano	8.087,1	43.285,9	18.110,2	97.428,5	6.704,8	36.987,9	5.109,7	21.471,2	2.685,7	11.284,1
total	MWh/ano	251,2									

Fonte: O autor.

Média Temperatura

Compressores 193.922,2 **kWh/ano**

Condensador 16.535,5 **kWh/ano**

Baixa Temperatura

Compressores 36.908,2 **kWh/ano**

Condensador 3.789,4 **kWh/ano**

Tabela 33 – Cálculo do consumo de energia anual de todos os componentes dos sistemas de refrigeração considerando a Melhoria 2.

Componentes	Potência W	Horas/ dia	Ho- ras/ Ano	Consumo Parcial KWh/ano	% parcial	Consumo Total kWh/ano	% Total
Expositores - Média Temperatura							
Iluminação	636	16	5.696	3.623	1,20	34.940	11,53
Ventilação	2.790	24	8.760	24.440	8,06		
Resistência de- sebaçamento	785	24	8.760	6.877	2,27		
Câmaras - Média Temperatura							
Ventilação	1.120	24	8.760	9.811	3,24	9.811	3,24
Áreas de preparo							
Ventilação	140	16	5.696	797	0,26	797	0,26
Rack - Média Temperatura							
Compressores	41.220	24	8.760	193.922	63,97	210.458	69,43
Condensadores	2.563	24	8.760	16.535	5,46		
Expositores - Baixa Temperatura							
Iluminação	112	16	5.696	638	0,21	2.326	0,77
Ventilação	40	22	8.030	321	0,11		
Resistência de- sebaçamento	156	24	8.760	1.367	0,45		
Resistência de degelo	0	2	730	0	0,00		
Câmaras - Baixa Temperatura							
Ventilação	210	22	8.030	1.686	0,56	4.095	1,35
Resistência de degelo	3.300	2	730	2.409	0,79		
Rack - Baixa Temperatura							
Compressores	15.160	22	8.030	36.908	12,18	40.698	13,43
Condensadores	641	22	8.030	3.789	1,25		
TOTAL	68.873					303.125	

Fonte: O autor.

APÊNDICE E – CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA ANUAL COM A MELHORIA 3

Tabela 34 – Cálculo do consumo de energia dos racks de baixa e média temperatura considerando a Melhoria 3.

Rissul - Filial 19	Comercial (acima 25°C)		Comercial (entre 15 e 25°C)		Comercial (até 15°C)		Noturno (entre 15 e 25°C)		Noturno (até 15°C)		
	BT	MT	BT	MT	BT	MT	BT	MT	BT	MT	
Carga térmica											
Baixa temperatura	6.629	kcal/h	6.629		6.629		6.629		2.983		
Média temperatura	44.141	kcal/h		44.141		44.141		16.423		16.423	
Carga térmica total	kcal/h	6.629	44.141	6.629	44.141	6.629	44.141	2.983	16.423	2.983	16.423
Regime de operação	-32/+45/5/20	-10/+45/5/10	-32/+40/5/20	-10/+40/5/10	-32/+40/5/20	-11/+40/5/10	-33/+40/5/20	-11/+40/5/10	-33/+40/5/20	-11/+40/5/10	
Cop	1,25	2,33	1,41	2,62	1,41	2,55	1,36	2,55	1,36	2,55	
Potência absorvida	kW	6,2	22,0	5,5	19,6	5,5	20,1	2,6	7,5	2,6	7,5
Condensador	kW		2,8		2,1		2,1		1,8		1,8
Potência absorvida total	kW	6,7	24,3	5,9	21,3	5,9	21,8	2,9	8,9	2,9	8,9
horas de operação	h/ano	1.188,0	1.296,0	3.036,0	3.312,0	1.124,0	1.226,0	1.758,0	1.918,0	924,0	1.008,0
consumo de energia	kWh/ano	8.002,5	31.501,9	17.894,1	70.542,8	6.624,8	26.772,1	5.109,7	17.095,0	2.685,7	8.984,2
total	MWh/ano	195,2									

Fonte: O autor.

Média Temperatura

Compressores 140.022,1 kWh/ano

Condensador 14.493,1 kWh/ano

Baixa Temperatura

Compressores 36.908,2 kWh/ano

Condensador 3.789,4 kWh/ano

Tabela 35 – Cálculo do consumo de energia anual de todos os componentes dos sistemas de refrigeração considerando a Melhoria 3.

Componentes	Potência W	Horas/ dia	Horas/ Ano	Consumo Parcial KWh/ano	% parcial	Consumo Total kWh/ano	% Total
Expositores - Média Temperatura							
Iluminação	606	16	5.696	3.450	1,36	41.259	16,28
Ventilação	2.790	24	8.760	24.440	9,64		
Resistência desembaçamento	1.526	24	8.760	13.368	5,27		
Câmaras - Média Temperatura							
Ventilação	1.120	24	8.760	9.811	3,87	9.811	3,87
Áreas de preparo							
Ventilação	140	16	5.696	797	0,31	797	0,31
Rack - Média Temperatura							
Compressores	41.220	24	8.760	140.022	55,24	154.515	60,95
Condensadores	2.563	24	8.760	14.493	5,72		
Expositores - Baixa Temperatura							
Iluminação	112	16	5.696	638	0,25	2.326	0,92
Ventilação	40	22	8.030	321	0,13		
Resistência desembaçamento	156	24	8.760	1.367	0,54		
Resistência de degelo	0	2	730	0	0,00		
Câmaras - Baixa Temperatura							
Ventilação	210	22	8.030	1.686	0,67	4.095	1,62
Resistência de degelo	3.300	2	730	2.409	0,95		
Rack - Baixa Temperatura							
Compressores	15.160	22	8.030	36.908	14,56	40.698	16,05
Condensadores	641	22	8.030	3.789	1,49		
TOTAL	69.584					253.501	

Fonte: O autor.

APÊNDICE F – CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA ANUAL COM A MELHORIA 4

Tabela 36 – Cálculo do consumo de energia dos racks de baixa e média temperatura considerando a Melhoria 4.

Rissul - Filial 19	Comercial (acima 25°C)		Comercial (entre 15 e 25°C)		Comercial (até 15°C)		Noturno (entre 15 e 25°C)		Noturno (até 15°C)		
	BT	MT	BT	MT	BT	MT	BT	MT	BT	MT	
Carga térmica											
Baixa temperatura	6.629	kcal/h	6.629		6.629		6.629		2.983		
Média temperatura	41.741	kcal/h		41.741		41.741		41.741		14.087	
Carga térmica total	kcal/h	6.629	41.741	6.629	41.741	6.629	41.741	2.983	14.087	2.983	14.087
Regime de operação		-32/+45/5/20	-10/+45/5/10	-32/+40/5/20	-10/+40/5/10	-32/+40/5/20	-11/+40/5/10	-33/+40/5/20	-11/+40/5/10	-33/+40/5/20	-11/+40/5/10
Cop		1,25	2,33	1,41	2,62	1,41	2,55	1,36	2,55	1,36	2,55
Potência absorvida	kW	6,2	20,8	5,5	18,5	5,5	19,0	2,6	6,4	2,6	6,4
Condensador	kW		2,8		2,1		2,1		1,8		1,8
Potência absorvida total	kW	6,7	23,1	5,9	20,2	5,9	20,7	2,9	7,8	2,9	7,8
horas de operação	h/ano	1.188,0	1.296,0	3.036,0	3.312,0	1.124,0	1.226,0	1.758,0	1.918,0	924,0	1.008,0
consumo de energia	kWh/ano	8.002,5	29.949,7	17.894,1	67.015,0	6.624,8	25.430,4	5.109,7	15.051,9	2.685,7	7.910,5
total	MWh/ano	185,7									

Fonte: O autor.

Média Temperatura

Compressores 130.483,5 kWh/ano

Condensador 14.493,1 kWh/ano

Baixa Temperatura

Compressores 36.908,2 kWh/ano

Condensador 3.789,4 kWh/ano

Tabela 37 – Cálculo do consumo de energia anual de todos os componentes dos sistemas de refrigeração considerando a Melhoria 4.

Componentes	Potência W	Ho- ras/ dia	Ho- ras/ Ano	Consumo Parcial KWh/ano	% parcial	Consumo Total kWh/ano	% Total
Expositores - Média Temperatura							
Iluminação	606	16	5.696	3.450	1,58	22.863	10,44
Ventilação	690	24	8.760	6.044	2,76		
Resistência de- semaçamento	1.526	24	8.760	13.368	6,11		
Câmaras - Média Temperatura							
Ventilação	512	24	8.760	4.485	2,05	4.485	2,05
Áreas de preparo							
Ventilação	64	16	5.696	365	0,17	365	0,17
Rack - Média Temperatura							
Compressores	41.220	24	8.760	130.484	59,61	144.977	66,23
Condensadores	2.563	24	8.760	14.493	6,62		
Expositores - Baixa Temperatura							
Iluminação	112	16	5.696	638	0,29	2.326	1,06
Ventilação	40	22	8.030	321	0,15		
Resistência de- semaçamento	156	24	8.760	1.367	0,62		
Resistência de degelo	0	2	730	0	0,00		
Câmaras - Baixa Temperatura							
Ventilação	96	22	8.030	771	0,35	3.180	1,45
Resistência de degelo	3.300	2	730	2.409	1,10		
Rack - Baixa Temperatura							
Compressores	15.160	22	8.030	36.908	16,86	40.698	18,59
Condensadores	641	22	8.030	3.789	1,73		
TOTAL	66.686					218.892	

Fonte: O autor.