

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PECE – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

ALYSSON DIAS BORGES

Projeto de Eficiência Energética em um Sistema de Refrigeração
Comercial com aplicação de Ventiladores Eletronicamente
Comutados (EC)

São Paulo
2017

ALYSSON DIAS BORGES

Projeto de Eficiência Energética em um Sistema de Refrigeração
Comercial com aplicação de Ventiladores Eletronicamente
Comutados (EC)

Trabalho de conclusão do curso de especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de concentração: Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Msc. Eduardo Seiji Yamada.

São Paulo
2017

Catálogo-na-publicação

Borges, Alysson Dias

Projeto de Eficiência Energética em um Sistema de Refrigeração Comercial com aplicação de Ventiladores Eletronicamente Comutados (EC) / A. D. Borges -- São Paulo, 2017.

91 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Eficiência Energética 2.PIMVP 3.Refrigeração Comercial 4.Frio Alimentar 5.Ventiladores EC I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

À minha esposa, com muito amor e infinita gratidão
por se tornar referência e inspiração
durante toda esta minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Msc. Eduardo Seiji Yamada, por todo o suporte e atenção despendida durante o desenvolvimento e estruturação deste trabalho.

A todos os Professores do curso de Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência energética do PECE, que se dedicaram em nos enriquecer de conhecimentos científicos, e também puderam compartilhar suas experiências profissionais e pessoais.

Aos meus amigos e colegas deste curso, que durante as inúmeras horas que estudamos juntos possibilitaram-me um grande aprofundamento em nos assuntos abordados nas disciplinas do curso ao longo destes dois anos.

RESUMO

Economizar energia nunca foi tão importante como hoje em dia. A utilização da energia de forma mais eficiente é um assunto de grande interesse nas empresas, o que pode ser justificado pelo crescente foco em Sustentabilidade, com o uso mais consciente dos recursos naturais disponíveis, e também pelos ganhos financeiros associados à questão. O uso racional da energia também é tema de inúmeros estudos acadêmicos. Dentre tais estudos, destacam-se as pesquisas voltadas para os sistemas de refrigeração, nos quais a economia de energia está intimamente relacionada à eficiência energética dos seus componentes e de seus métodos de controle operacional. A utilização dos sistemas de refrigeração é indispensável para nossa sociedade, pois está presente, por exemplo, no preparo e conservação de alimentos, climatização de ambientes para conforto térmico e para manutenção de ambientes industriais, de modo que sua abrangência compreende diversas áreas da Engenharia. Como consequência, também é indispensável o uso da energia para o acionamento de motores e outros equipamentos elétricos associados a estes sistemas, como por exemplo, os ventiladores dos condensadores, um dos principais componentes consumidores de energia elétrica dentro de um sistema de refrigeração.

Por conseguinte, há um constante interesse em tornar os sistemas de refrigeração cada vez mais eficientes, promovendo a economia de energia, pois a energia mais limpa é aquela que não precisa ser gerada. Com os avanços tecnológicos da Eletrônica Industrial, atualmente estão disponíveis no mercado os chamados ventiladores Eletronicamente Comutados (EC), os quais, segundo os seus fabricantes, trazem uma boa economia de energia elétrica quando aplicados em sistemas de refrigeração comercial, industrial e em sistemas de climatização. De forma sucinta, porém completa, este trabalho tem por objetivo apresentar os principais resultados alcançados em um projeto de eficiência energética implementado em um sistema de refrigeração comercial, com aplicação de ventiladores EC, seguindo as melhores práticas descritas no Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP).

Palavras-chave: PIMVP, Refrigeração Comercial, Frio Alimentar, Ventiladores EC.

ABSTRACT

Saving Energy has never been so important than nowadays. Using energy more efficiently is a subject of great interest in the companies, which can be justified by the growing focus on Sustainability, with more conscious using of available natural resources, and also for the financial gains associated with the issue. The energy rational using is also the subject of numerous academic studies. Among these studies, we highlight the research focused on refrigeration systems, in which energy savings are closely related to the energy efficiency of its components and its operational control methods. The use of refrigeration systems is indispensable for our society, because it is present, for example, in the preparation and preservation of food, air conditioning for thermal comfort and maintenance of industrial environments, so that its scope comprises several areas of Engineering. As a consequence, it is also indispensable to use the energy to drive motors and other electrical equipment associated with these systems, such as condenser fans, one of the main components consuming electricity within a refrigeration system. Therefore, there is a constant interest in making refrigeration systems increasingly efficient, promoting energy savings, because the cleaner energy is the one that does not need to be generated. With the Industrial Electronics technological advances, there are currently available on the market the called Electronically Commutated (EC) Fans, which, according to their manufacturers, bring good energy savings when applied in commercial and industrial refrigeration systems, and in air conditioning systems. In a succinct but complete way, this paper aims to present the main results achieved in an energy efficiency project implemented in a commercial refrigeration system, with EC fans application, following the best practices described in the International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP).

Keywords: IPMVP, Commercial Refrigeration, Cooling Food, EC Fans.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Matriz Elétrica Brasileira 2016.....	22
Figura 1.2 – Etiqueta PROCEL.....	24
Figura 2.1 – Contrato de Performance	28
Figura 2.2 – Selos da certificação ISO 50001.....	31
Figura 2.3 – Sistema de Gestão de Energia para Melhoria Contínua	32
Figura 2.4 – Capa do Volume 1 do PIMVP	33
Figura 2.5 – Processo de seleção da Opção do PIMVP	40
Figura 2.6 – Matriz de valores da função PROJ.LIN.....	45
Figura 2.7 – Fluxo de Energia Elétrica 2016	46
Figura 2.8 – Refrigeradores e freezers	50
Figura 2.9 – Câmara frigorífica.....	50
Figura 2.10 – Caminhão refrigerado	51
Figura 2.11 – Condicionamento de ar em veículos.....	51
Figura 2.12 – Refrigeradores em supermercados.....	52
Figura 2.13 – Sistema de refrigeração típico	53
Figura 2.14 – Evaporador comercial.....	53
Figura 2.15 – Compressor comercial	54
Figura 2.16 – Condensador a ar remoto	55
Figura 2.17 – Condensadores remotos	57
Figura 2.18 – Termostato, pressostato e CLP	58
Figura 2.19 – Ventiladores centrífugos.....	60
Figura 2.20 – Ventiladores axiais	60
Figura 2.21 – Condensador com ventilador convencional.....	61
Figura 2.22 – Condensador com ventilador AC	62
Figura 2.23 – Condensador com ventilador EC	62

Figura 2.24 – Ventilador EC - frente e verso	63
Figura 2.25 – Curvas da 1ª Lei dos Ventiladores	65
Figura 3.1 – Hipermercado e casa de máquinas	68
Figura 3.2 – Antes da AEE – ventiladores convencionais	70
Figura 3.3 – Antes da AEE – Painel elétrico e CLP	70
Figura 3.4 – Depois da AEE – ventiladores EC	72
Figura 3.5 – Motores dos ventiladores EC	72
Figura 3.6 – Diagrama do sistema de refrigeração	73
Figura 3.7 – Analisador de Energia	74
Figura 3.8 – Fronteira de medição	74
Figura 3.9 – Rede de automação	75
Figura 3.10 – Dados do Período da Linha de Base	77
Figura 3.11 – Modelo da Linha de Base	78
Figura 3.12 – Fluxo de caixa acumulado	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Subclasses e Consumos no Setor Comercial.....	47
Tabela 2.2 – Uso da eletricidade no Setor Comercial.....	47
Tabela 3.1 – Comparação das AEE	69
Tabela 3.2 – Características dos ventiladores convencionais	70
Tabela 3.3 – Características técnicas dos ventiladores EC	71
Tabela 3.4 – Medições do Período da Linha de Base	77
Tabela 3.5 – Valores da função PROJ.LIN.....	79
Tabela 3.6 – Medições do Período de Determinação da Economia.....	80
Tabela 3.7 – Linha de Base Ajustada.....	81
Tabela 3.8 – Economia (Consumo evitado de energia)	82
Tabela 3.9 – Consumo Anual (ano-base 2016).....	84
Tabela 3.10 – Economia Anual (ano-base 2016).....	84
Tabela 3.11 – Benefício Anual	84
Tabela 3.12 – Análise financeira.....	85
Tabela 3.13 – Fluxos de caixa.....	85
Tabela 3.14 – Participações nos Consumos	86
Tabela 3.15 – Redução nos Consumos	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABESCO	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
AEE	Ação de Eficiência Energética
BEN	Balanço Energético Nacional
BEU	Balanço de Energia Útil
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CLP	Controlador Lógico Programável
EC	Eletronicamente Comutado
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESCO	Empresa de Serviços de Conservação de Energia
EVO	Efficiency Valuation Organization
FEG	Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
IEA	International Energy Agency
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
M&V	Medição e Verificação
MME	Ministério de Minas e Energia
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PDE	Período de Determinação da Economia
PIMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
PNE	Plano Nacional de Energia
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROESCO	Programa de apoio a Projetos de Eficiência Energética
SBVC	Sociedade Brasileira de Varejo e Consumo
UNE	Una Norma Española
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UFPR	Universidade Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
1.1	A Eficiência Energética no Mundo.....	21
1.2	O Mercado de Eficiência Energética no Brasil.....	21
1.3	As Empresas de Serviços de Conservação de Energia.....	25
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1	Projetos de Eficiência Energética.....	27
2.1.1	Contratos de Performance.....	28
2.1.2	Medição & Verificação.....	29
2.1.3	ISO 50001 - Sistema de Gestão de Energia.....	31
2.2	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance.....	33
2.2.1	Concepção da M&V.....	36
2.2.2	Opções do PIMVP.....	37
2.2.3	Plano de M&V.....	41
2.2.4	Relatório de M&V.....	43
2.2.5	Cálculos e Modelos Matemáticos.....	44
2.3	Consumo de Eletricidade do Setor Comercial.....	46
2.3.1	Setor Comercial Varejista.....	48
2.4	Sistemas de Refrigeração Comercial.....	49
2.4.1	Sistema de Compressão a Vapor.....	52
2.4.2	Condensadores Resfriados a Ar.....	56
2.4.3	Controle da Pressão de Condensação.....	57
2.5	Ventiladores de Condensadores.....	59
2.5.1	Ventilado Axial Propulsor.....	61
2.5.2	Ventiladores Eletronicamente Comutados (EC).....	63
2.5.3	Leis dos Ventiladores.....	64
3	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	67
3.1	Objetivo e Escopo do Projeto.....	67
3.2	Fronteira de Medição e Opção do PIMVP.....	72
3.3	Período da Linha de Base.....	76
3.4	Modelo da Linha de Base.....	78

3.5 Período de Determinação da Economia.....	79
3.6 Cálculo das Economias	80
3.7 Análise de Viabilidade Econômica.....	83
3.8 Análise Complementar	86
3 CONCLUSÃO	87
REFERÊNCIAS.....	89

1 INTRODUÇÃO

1.1 A Eficiência Energética no Mundo

A Eficiência Energética, ou o uso racional da energia, começou a ganhar destaque no cenário mundial nos anos 70, a partir dos choques no preço do petróleo, quando as nações perceberam que o uso das reservas de combustíveis fósseis teria custos crescentes ao longo dos anos, tanto do ponto de vista econômico, como do ponto de vista ambiental.

Logo, reconheceu-se que um mesmo serviço ou produto final poderia ser obtido com um menor consumo de energia e, conseqüentemente, com um menor impacto ambiental e econômico.

Desde então, equipamentos e hábitos de consumo passaram a ser analisados em termos da conservação da energia, tendo sido demonstrado que muitas iniciativas focadas em eficiência energética podem ser viáveis economicamente, onde o investimento financeiro de sua implantação é menor do que o custo da energia cujo consumo é evitado.

Em adição à perspectiva de custos crescentes da energia proveniente de combustíveis fósseis, a preocupação com as mudanças climáticas no planeta, decorrentes do aquecimento global, tornou-se uma nova motivação para a busca pela eficiência energética.

Segundo a Agência Internacional de Energia, “International Energy Agency” (IEA), em sua publicação “World Energy Outlook 2014”, a Eficiência Energética pode ser encarada como um instrumento fundamental para aliviar a pressão no abastecimento de energia, sendo também capaz de compensar parcialmente o impacto da concorrência nas disparidades de preços entre diferentes regiões.

1.2 O Mercado de Eficiência Energética no Brasil

No Brasil, economizar energia elétrica é um assunto muito importante, pois gerar esta mesma energia pode ser muito custoso e danoso ao meio ambiente, principalmente das formas como é feito hoje, como por exemplo:

Geração por Usinas Termoelétricas: queimando óleo, gás, carvão, etc. Esta forma de geração de energia elétrica pode causar degradação ambiental, por exemplo, durante a

extração do combustível fóssil, e também a diminuição de áreas de plantio de alimentos, além da emissão de poluentes na atmosfera.

Geração por Usinas Hidrelétricas: alagando enormes áreas para se formar represas. Esta forma de geração pode, por exemplo, desequilibrar ecossistemas e ocupar terras que poderiam ser mais produtivas.

Geração por Usinas Nucleares: além de perigosa, em função da operação com material radioativo, por exemplo, o lixo radioativo desta forma de geração é muito difícil de ser descartado e pode causar acidentes sérios quando mal armazenado.

Apesar de existirem formas mais limpas de gerar energia elétrica, dentre elas a geração Eólica, Solar e Biomassa, estas fontes de geração ainda possuem uma participação muito pequena dentro da Matriz Energética Brasileira.

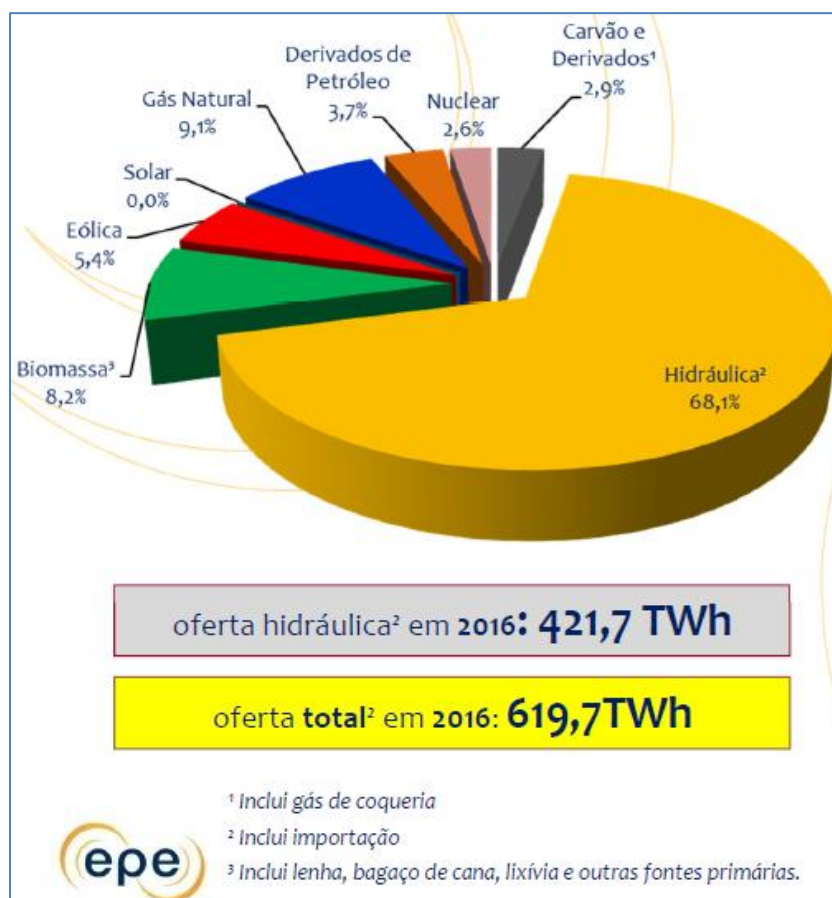


Figura 1.1 – Matriz Elétrica Brasileira 2016
Fonte: EPE, BEN 2017.

De acordo com o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (BEN) 2017 - Ano base 2016, divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a contribuição das fontes Eólica, Solar e Biomassa, somadas representam pouco mais que 13,6% da Matriz Elétrica Brasileira, conforme é mostrado na Figura 1.1.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) é uma empresa pública instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, e do Decreto nº 5.184, de 16 de agosto de 2004, vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), e tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinados a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

De acordo com a Nota Técnica DEA 12/16: “Avaliação da Eficiência Energética e Geração Distribuída para os próximos 10 anos (2015-2024)”, publicada em 2016 pela Diretoria de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais da EPE, “A eficiência no uso da energia é um importante vetor no atendimento da demanda, contribuindo para a segurança energética, para a modicidade tarifária, para a competitividade da economia e para a redução das emissões de gases de efeito estufa”.

Em seus estudos de suporte, o Plano Nacional de Energia (PNE) 2050 destaca a importância das ações de eficiência energética no longo prazo, onde esta contribuição deverá ser de aproximadamente 20%, ou cerca de 120 milhões de toneladas equivalente de petróleo em 2050.

No Brasil, diversas iniciativas sistematizadas vêm sendo empreendidas há mais de 20 anos. Destacam-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), cuja coordenação executiva está a cargo da Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS), o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), cuja coordenação executiva é de responsabilidade da Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) e o Programa de apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO), cuja coordenação executiva pertence ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

As atividades do PROCEL têm coberto os setores residencial, comercial e industrial, mais serviços públicos como iluminação e abastecimento de água, e uma gestão eficiente do consumo de eletricidade em edifícios públicos. Fazem parte do escopo do PROCEL, por exemplo, a elaboração de etiquetas de consumo de eletricidade em aparelhos eletrodomésticos e motores, diagnósticos sobre o consumo de energia elétrica em pequenos e médios

estabelecimentos industriais e comerciais, como também o financiamento de iniciativas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) direcionadas à fabricação de motores e aparelhos elétricos mais eficientes.

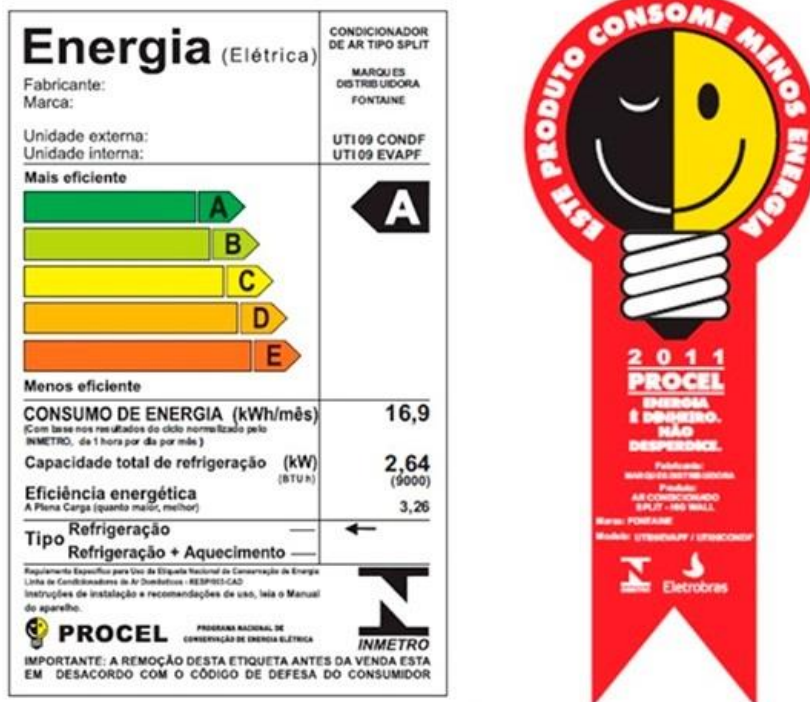


Figura 1.2 – Etiqueta PROCEL
Fonte: <http://www.procelinfo.com.br>

Segundo o relatório “Matriz Energética Brasileira 2030”, publicado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) em 2007, embora os investimentos em programas de eficiência energética no Brasil tenham sido muito pequenos quando comparados aos investimentos no aumento da oferta de energia, este cenário pode eventualmente mudar, desde que novos programas de eficiência energética sejam inseridos no planejamento energético nacional, competindo com as opções de aumento da oferta de energia.

Em suma, sob a perspectiva de um horizonte de longo prazo, a energia conservada devido a ações de eficiência energética tem papel importante no atendimento à demanda futura de energia pela sociedade brasileira.

1.3 As Empresas de Serviços de Conservação de Energia

Cada vez mais as grandes corporações recorrem a padrões sustentáveis de produção, operação e manutenção, porém muitas vezes a questão do consumo de energia é distante da atividade fim destas corporações. Como o tratamento adequado deste tema requer conhecimentos específicos, as empresas especializadas em serviços de eficiência de energia tornam-se fundamentais para os consumidores que buscam identificar e implementar medidas de eficiência, não só de energia, mas como também de água e outras utilidades. Tais empresas especializadas são conhecidas como ESCOs - Empresas de Serviços de Conservação de Energia, ou do inglês, “Energy Service Companies”.

A principal diferença entre uma ESCO e uma empresa tradicional de consultoria e/ou engenharia, é que uma ESCO possui o conhecimento e experiência em projetos de eficiência energética. Ademais, ela pode partilhar dos riscos de um projeto com o cliente, realizando o aporte dos investimentos e comprometendo sua remuneração com base nos resultados alcançados após a implementação do projeto.

Especializada em Projetos de Eficiência Energética, uma ESCO é apta a:

- ✓ Identificar oportunidades de redução do consumo de energia;
- ✓ Estudar cenários e soluções alternativas;
- ✓ Avaliar diferentes tipos de soluções técnicas, ambientais e financeiras;
- ✓ Desenvolver e gerenciar projetos;
- ✓ Realizar medições e verificações do desempenho de sistemas;
- ✓ Propor diretrizes econômicas e tarifárias.

No Brasil as ESCOs se organizam em torno da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO), sociedade voltada para difundir e defender os interesses deste grupo de empresas.

Fundada em 1997 a ABESCO é uma entidade civil sem fins lucrativos, que representa oficialmente o segmento de eficiência energética brasileiro, formado por empresas de diversas áreas. O objetivo principal da ABESCO é fomentar e promover ações e projetos para o crescimento do mercado energético, beneficiando não somente seus associados, mas também a sociedade, contribuindo para o desenvolvimento do país.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Projetos de Eficiência Energética

De acordo com a ABESCO, Eficiência Energética pode ser definida como uma atividade que busca melhorar o uso das fontes de energia, ou também como a utilização da energia de forma racional.

De maneira geral, a eficiência energética traduz-se em obter o melhor desempenho na produção de um serviço, produto ou resultado, com o menor gasto de energia.

O desenvolvimento de um Projeto de Eficiência Energética tem como ponto de partida uma Auditoria Energética, ou Diagnóstico Energético, que consiste em uma avaliação do consumo energético dos sistemas alvo do projeto, visando o detalhamento das oportunidades e ações mais atrativas e importantes para o cliente.

Após a aceitação formal do Diagnóstico Energético por parte do cliente, segue-se então para a etapa de implantação do projeto, que inclui o desenvolvimento do projeto executivo, as aquisições de equipamentos e serviços, as instalações em campo, start-up e comissionamento.

Os resultados alcançados são avaliados através de um Plano de Medição & Verificação, comprovando a redução do consumo de energia. Posteriormente inicia-se a remuneração dos investimentos, calculada sobre a economia gerada.

Em resumo, as principais etapas de um Projeto de Eficiência Energética são:

- ✓ Carta de Intenções (ou Autorização de Serviços);
- ✓ Pré-diagnóstico Energético e Viabilidade Técnico-Econômica;
- ✓ Termo de Compromisso;
- ✓ Diagnóstico Energético Detalhado;
- ✓ Viabilização do Financiamento;
- ✓ Negociação do Contrato;
- ✓ Implantação das Ações;
- ✓ Medição & Verificação dos Resultados.

2.1.1 Contratos de Performance

A contratação de uma ESCO para um projeto de eficiência energética pode ser realizada de forma específica ou abrangente, como por exemplo, na modalidade “turn key”, onde o cliente recebe o projeto após a sua conclusão, pronto e operacional. A ESCO contratada nesta modalidade é integralmente responsável por todas as etapas e ações da implantação do projeto.

Os serviços prestados pela ESCO podem ser exclusivamente técnicos ou também podem incluir a viabilização financeira do projeto, isto é, a ESCO pode assessor o cliente na captação de recursos financeiros, ou até mesmo financiar integralmente o projeto. Se for definido por um Contrato de Performance, a ESCO é responsável por todas as ações técnicas e financeiras do projeto.

Os Contratos de Performance, firmados entre o cliente e a ESCO, estabelecem as regras e condições para a remuneração econômica da contratada, através da partilha (por tempo determinado) do montante de economia obtida com a redução efetiva nos custos de consumo de energia na operação do cliente.

A Figura 2.1 apresenta uma visão resumida de um Contrato de Performance:

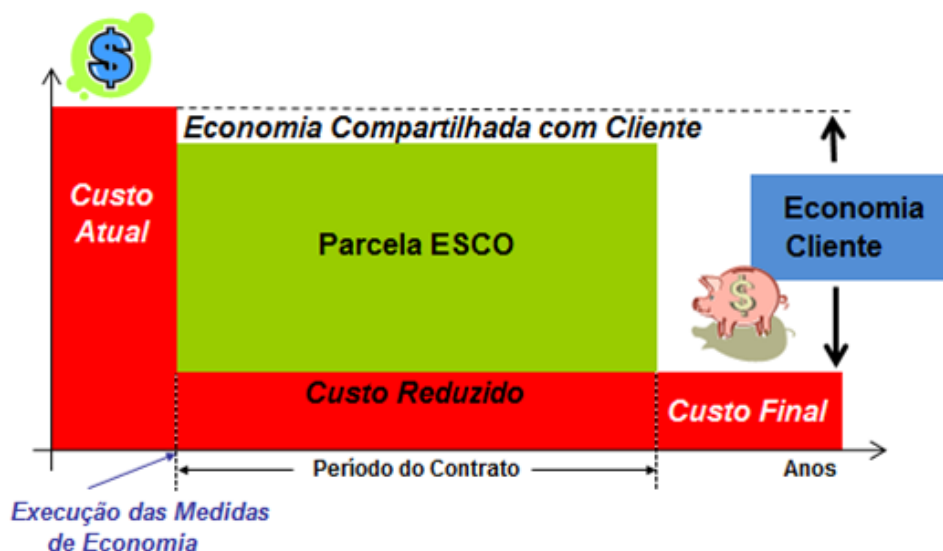


Figura 2.1 – Contrato de Performance
Fonte: <http://www.abesco.com.br>

2.1.2 Medição & Verificação

De acordo com o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP), a “Medição e Verificação (M&V) é o processo de utilização de medições para determinar, de modo seguro, a economia real criada dentro de uma instalação individual por um programa de gestão de energia.”

Como a economia não é uma grandeza física que pode ser medida diretamente por algum medidor, uma vez que representa a ausência de consumo de energia, a melhor forma de determiná-la é pela comparação do consumo medido antes e depois da implementação de um projeto, com ajustes adequados, tendo em conta alterações nas condições.

Ainda de acordo com o PIMVP (EVO, 2012), as atividades de M&V consistem em algumas ou todas as seguintes ações:

- ✓ Instalação, calibração e manutenção de medidores;
- ✓ Coleta e tratamento de dados;
- ✓ Desenvolvimento de um método de cálculo e estimativas aceitáveis;
- ✓ Cálculos com os dados medidos;
- ✓ Relatórios, garantia de qualidade e verificação de relatórios por terceiros.

Uma vez que a determinação da economia de energia deve sempre levar em conta todos os efeitos de um projeto, logo as atividades de M&V devem incluir medições para quantificar os efeitos significativos, podendo estimar os demais. Segundo o PIMVP, a determinação da economia pela M&V deve ser tão precisa quanto possa ser justificada, baseada no investimento total do projeto.

Os investidores de um projeto de eficiência energética, ou os proprietários de uma instalação, podem empregar as técnicas de M&V com as seguintes finalidades:

- ✓ Aumentar a economia de energia;
- ✓ Aumentar o financiamento para projetos de eficiência;
- ✓ Gerir orçamentos energéticos;
- ✓ Aumentar o valor dos créditos de redução de emissão;
- ✓ Apoiar a avaliação de programas de eficiência regionais.

Segundo o PIMPV, os princípios fundamentais de uma boa prática de M&V são:

Completude

Ao reportar a economia de energia devemos considerar todos os efeitos de um projeto, quantificando os efeitos significativos e estimando todos os outros;

Conservadorismo

Frente às possíveis incertezas, devemos sempre avaliar a economia por baixo;

Consistência

Um relatório de um projeto deve ser consistente entre diferentes tipos de projetos de eficiência energética, profissionais de gestão energética e períodos de tempo para o mesmo projeto;

Precisão

Os relatórios de M&V devem ser tão precisos quanto o permita o orçamento de M&V;

Relevância

A determinação da economia deve medir os parâmetros de desempenho energético mais importantes ou menos conhecidos, enquanto outros parâmetros menos críticos ou previsíveis podem ser estimados;

Transparência

Todas as atividades de M&V devem ser claras e completamente divulgadas.

Em suma, as atividades de M&V não se restringem apenas a ajudar um projeto no atendimento às exigências do PIMVP; se corretamente integradas, as atividades de M&V servirão para aumentar e reforçar a operação e a manutenção das economias na instalação.

2.1.3 ISO 50001 - Sistema de Gestão de Energia

Perante o fato de que o mundo está começando a reconhecer a eficiência energética como fundamental para um bom gerenciamento do meio ambiente, a relevância de uma documentação adequada nunca foi tão grande. Seguramente é benefício de todos que as economias previstas sejam alcançadas e apropriadamente reportadas.

De maneira geral, pode-se dizer que os potenciais compradores de produtos ou serviços energeticamente eficientes querem saber se essas potenciais compras já provaram ser eficientes, usando métodos largamente reconhecidos, ou querem determinar o real desempenho de suas compras, o que ajuda na tomada de decisões futuras.

Além disso, alguns consumidores de energia carecem de procedimentos sólidos para verificar o alcance dos objetivos da sua Política Energética, e para obter ou manter uma **Certificação ISO 50001** das práticas gerenciais adotadas.



Figura 2.2 – Selos da certificação ISO 50001
Fonte: <http://www.tce.mt.gov.br>; <http://www.abrinstal.org.br>

A ISO 50001: 2011 – Sistema de Gestão de Energia é uma Norma Internacional que estabelece um sistema para a gestão energética que pode ser usado por plantas industriais, instalações comerciais ou mesmo para empresas inteiras.

O objetivo principal desta norma é possibilitar que as organizações gerenciem os sistemas e processos necessários para melhorar o desempenho energético, incluindo a eficiência energética, uso e consumo. Ademais, a implantação da ISO 50001 visa à redução nas emissões de gases de efeito estufa e outros impactos ambientais relacionados à energia e os custos que esse sistema de gestão de energia promoverá.

Dentro deste contexto, o PIMVP fornece algumas ferramentas muito relevantes para os consumidores de energia que visam a Certificação pela ISO 50001.

No processo de melhoria contínua do desempenho energético descrito nesta norma, existe uma etapa de Verificação, onde a organização deve garantir que as características principais das suas operações que determinam o desempenho de energia sejam monitoradas, medidas e analisadas em intervalos planejados. Para esta etapa, as atividades de M&V descritas no PIMVP são perfeitamente adequadas para atender às exigências da ISO.

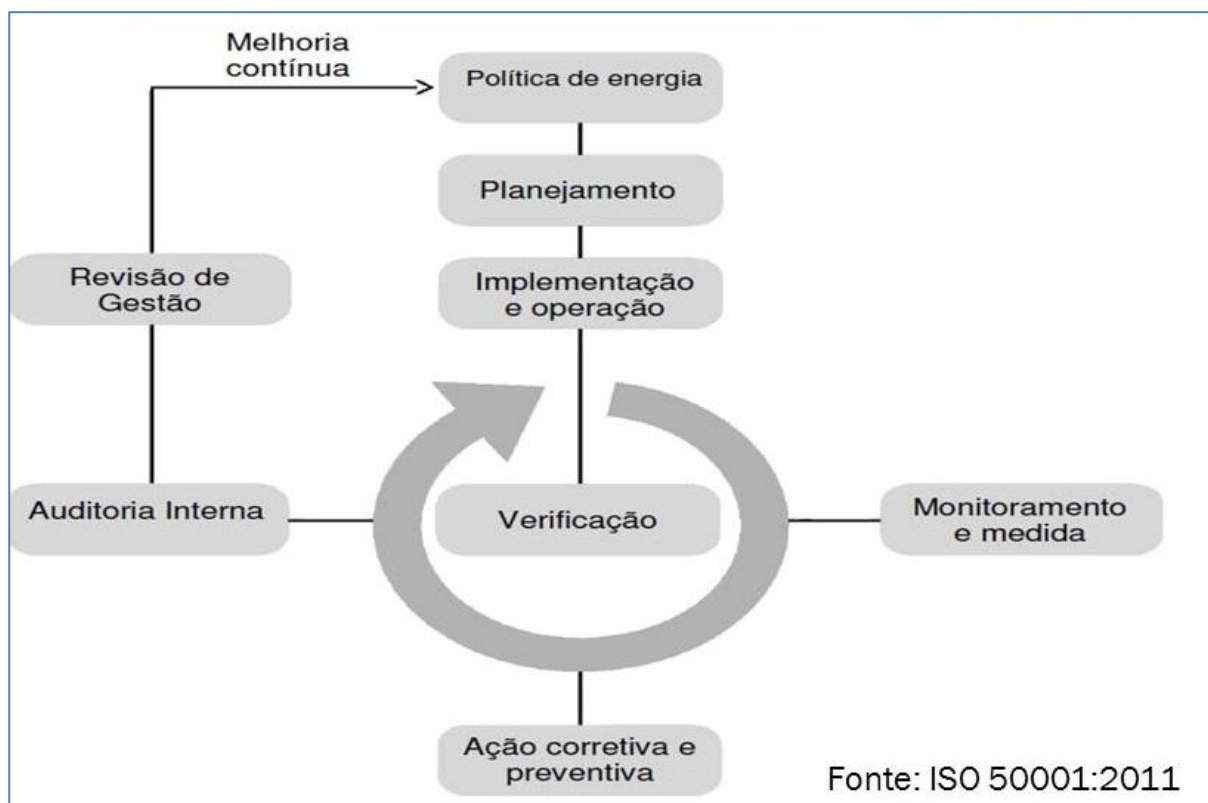


Figura 2.3 – Sistema de Gestão de Energia para Melhoria Contínua
 Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/10395140>

Portanto, o PIMVP pode ser indubitavelmente considerado uma base sólida, tanto para as organizações que buscam uma certificação ISO 50001, quanto para os consultores responsáveis pela implementação desta norma nas organizações.

2.2 Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance

O Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP) é patrocinado pela Efficiency Valuation Organization (EVO), uma sociedade privada sem fins lucrativos, cuja missão consiste em desenvolver e promover métodos normalizados para quantificar e gerir os riscos e benefícios associados a transações de negócios relacionados com eficiência energética, energias renováveis, e consumo eficiente de água.

Em suma, o PIMVP pode ser definido como um conjunto de documentos de apoio que descrevem as práticas comuns de medição, cálculo e relatório de economia, obtidas por projetos de eficiência energética ou de consumo eficiente de água nas instalações do usuário final.



Figura 2.4 – Capa do Volume 1 do PIMVP
Fonte: <https://evo-world.org>

A história do PIMVP remonta a 1995, e sua utilização internacional traz muitas vantagens aos programas que aderem às suas recomendações, como por exemplo:

- ✓ Justificação dos pagamentos para o desempenho energético;
- ✓ Redução dos custos de transação em um Contrato de Desempenho Energético;
- ✓ Credibilidade internacional para relatórios de economia de energia;
- ✓ Melhoramento da classificação segundo programas para encorajar ou etiquetar o projeto e a operação dos edifícios sustentáveis.

O PIMVP apresenta princípios e termos comuns largamente aceitos como básicos a qualquer bom processo de M&V, mas não define as atividades de M&V para todas as aplicações. Cada projeto deve ser concebido individualmente para ir ao encontro das necessidades de todos os leitores de relatórios de economia de energia ou de água.

A gama de Opções de M&V presentes no PIMVP permite aos profissionais a seleção do Plano de M&V mais adequado aos seus projetos em indústrias ou edifícios, inspirando confiança naqueles que se beneficiarão dos ganhos financeiros ou ambientais.

Para uma melhor compreensão de toda a metodologia descrita no PIMVP, é fundamental conhecer e entender alguns dos principais termos de definições contidas neste documento, dentre os quais podemos destacar alguns, como:

Ação de Eficiência Energética (AEE)

Atividade ou conjunto de atividades concebidas para aumentar a eficiência energética de uma instalação, sistema ou equipamento. As AEEs podem também conservar energia sem mudar a eficiência;

Ajustes de rotina

Os cálculos feitos com uma fórmula mostrada no Plano de M&V para explicar as alterações nas variáveis independentes selecionadas dentro da fronteira de medição desde o período da linha de base;

Ajustes da linha de base

Ajustes que surjam de alterações durante o período de determinação da economia em qualquer fator que governe a energia da instalação dentro da fronteira de medição, exceto as denominadas variáveis independentes usadas para ajustes de rotina;

Ajustes não de rotina

Cálculos individuais de engenharia para explicar as alterações nos fatores estáticos dentro da fronteira de medição desde o período da linha de base. Quando os ajustes não de rotina são aplicados à linha de base são às vezes denominados apenas “ajustes da linha de base”;

Análise de regressão

Técnica matemática que extrai parâmetros de um conjunto de dados para descrever a correlação entre variáveis independentes medidas e variáveis dependentes;

Efeitos interativos

Efeitos na energia criados por uma AEE, mas não medidos dentro da fronteira de medição;

Fatores estáticos

Caraterísticas de uma instalação que afetam o consumo de energia, dentro da fronteira de medição escolhida, mas não usadas como base para os ajustes de rotina. Estas características incluem caraterísticas fixas, ambientais, de funcionamento e de manutenção;

Fronteira de medição

Fronteira virtual estabelecida à volta dos equipamentos e/ou sistemas para separar aqueles que são relevantes para a determinação da economia daqueles que não o são. Todos os consumos de energia do equipamento ou dos sistemas dentro da fronteira de medição devem ser medidos ou estimados;

Grau-dia

Um grau-dia é a medida da carga de aquecimento ou resfriamento numa instalação produzida pela temperatura exterior. Quando a temperatura média exterior diária está um grau acima da temperatura de referência estabelecida, como por exemplo, 18°C por um dia, é definido então que há um grau-dia de resfriamento. Qualquer temperatura pode ser definida como referência, embora o usual seja escolher aquela que reflete o limite entre o uso e o não-uso do equipamento de aquecimento ou refrigeração;

Período de determinação da economia (PDE)

Período de tempo que se segue à implementação de uma AEE com relatórios de economia aderentes ao PIMVP. Este período pode ser: tão curto quanto o tempo de uma medição instantânea de uma quantidade constante; suficientemente longo para refletir todos os modos de funcionamento normal de um sistema ou instalação com operações variáveis; a duração do período de reembolso financeiro de um investimento; a duração de um período de

medição do desempenho energético sob um contrato de desempenho energético; ou indefinido;

Período da linha de base

Período de tempo escolhido para representar o funcionamento da instalação ou sistema antes da implementação de uma AEE. Este período pode ser tão curto quanto o tempo necessário para uma medição instantânea de uma quantidade constante (ou suficientemente longo) para refletir um ciclo de funcionamento completo de um sistema ou instalação em condições variáveis;

Variável independente

Parâmetro que se espera que varie regularmente e que tenha um impacto mensurável no consumo de energia de um sistema ou instalação.

2.2.1 Concepção da M&V

Segundo o PIMVP, a concepção da M&V e o processo de relatá-la são paralelos ao processo de concepção e implementação da AEE. Por esta razão, uma boa concepção de M&V deve incluir os seguintes passos:

- a.** Considerar as necessidades do usuário dos relatórios de M&V;
- b.** Selecionar a opção do PIMVP mais consistente com o objetivo da AEE;
- c.** Definir o grau de precisão e o orçamento para a M&V;
- d.** Decidir se o ajuste de todas as quantidades de energia será feito para as condições do período de determinação da economia ou para outro conjunto de condições;
- e.** Decidir a duração do período da linha de base e do período de determinação da economia;
- f.** Reunir dados relevantes de energia e operação do período da linha de base e registrá-los de modo que possam ser consultados no futuro;
- g.** Preparar um Plano de M&V com inclusão dos resultados dos passos acima mencionados;

- h. Conceber, instalar, calibrar e pôr em funcionamento qualquer equipamento de medição especial necessário segundo o Plano de M&V, como parte da concepção final e instalação da AEE;
- i. Certificar-se, após a execução da AEE, de que esta tem potencial de produzir as economias, realizando uma verificação operacional;
- j. Reunir dados de energia e funcionamento do período de determinação da economia, como definido no Plano de M&V;
- k. Calcular a economia de energia e monetária de acordo com o Plano de M&V;
- l. Reportar as economias de acordo com o Plano de M&V.

Os passos “j” a “l” são repetidos periodicamente nos casos onde se demanda um relatório de economia periódico.

2.2.2 Opções do PIMVP

Segundo o PIMVP, as quantidades de energia podem ser medidas por uma ou mais das seguintes técnicas:

- ✓ Faturas da concessionária ou do fornecedor de combustível;
- ✓ Medidores especiais que isolam a AEE, ou parte da instalação, do restante da instalação;
- ✓ Medições separadas de parâmetros usados no cálculo do consumo de energia;
- ✓ Medição de representantes comprovados de consumo de energia;
- ✓ Simulação por computador calibrada com alguns dados de desempenho energético reais para o sistema ou a instalação a serem modelados.

O PIMVP fornece quatro opções para determinar a economia: **Opções A, B, C e D.**

A escolha entre as opções implica muitas considerações, inclusive o local da fronteira de medição. Se for decidido determinar a economia em nível da instalação, a Opção C ou a Opção D poderão ser favorecidas. No entanto, se apenas é considerado o desempenho energético da própria AEE, uma técnica de medição isolada pode ser mais adequada (Opção A, Opção B ou Opção D).

Fundamentando-se no PIMVP, as quatro opções podem ser resumidas da seguinte forma:

Opção A – Medição Isolada da AEE: Medição dos parâmetros-chave

- ✓ A economia é determinada por medições no campo dos parâmetros-chave;
- ✓ Estes parâmetros definem o uso de energia dos sistemas afetados pela AEE, e/ou o sucesso do projeto;
- ✓ A frequência da medição vai desde o curto prazo a contínua, dependendo das variações esperadas no parâmetro medido e da duração do período de determinação da economia;
- ✓ Os parâmetros não selecionados para medição no campo são estimados;
- ✓ As estimativas podem basear-se em dados históricos, especificações do fabricante, ou avaliação de engenharia;
- ✓ É necessária a documentação da fonte ou a justificação do parâmetro estimado;
- ✓ O erro de economia plausível que surge da estimativa em vez da medição é avaliado.

Opção B – Medição isolada da AEE: Medição de todos os parâmetros

- ✓ A economia é determinada pela medição no campo do consumo de energia do sistema afetado pela AEE;
- ✓ A frequência da medição vai desde o curto prazo à contínua, dependendo das variações esperadas na economia e da duração do período de determinação da economia;

Opção C – Toda a Instalação

- ✓ A economia é determinada pela medição do consumo de energia em nível de toda a instalação ou sub instalação;
- ✓ Medições contínuas do consumo de energia de toda a instalação são efetuadas durante o período de determinação da economia;

Opção D – Simulação calibrada

- ✓ A economia é determinada através da simulação do consumo de energia de toda a instalação, ou de uma sub instalação;

- ✓ Rotinas de simulação demonstram modelar adequadamente o desempenho energético real medido na instalação;
- ✓ Esta opção requer habitualmente competências consideráveis em simulação calibrada.

Em suma, a seleção de uma opção do PIMVP é uma decisão tomada pelo técnico de concepção do programa de M&V para cada projeto, embasado em todo o conjunto de condições, análises, orçamentos, e de avaliação profissional.

A Figura 2.5 descreve uma lógica comumente usada na seleção da melhor opção.

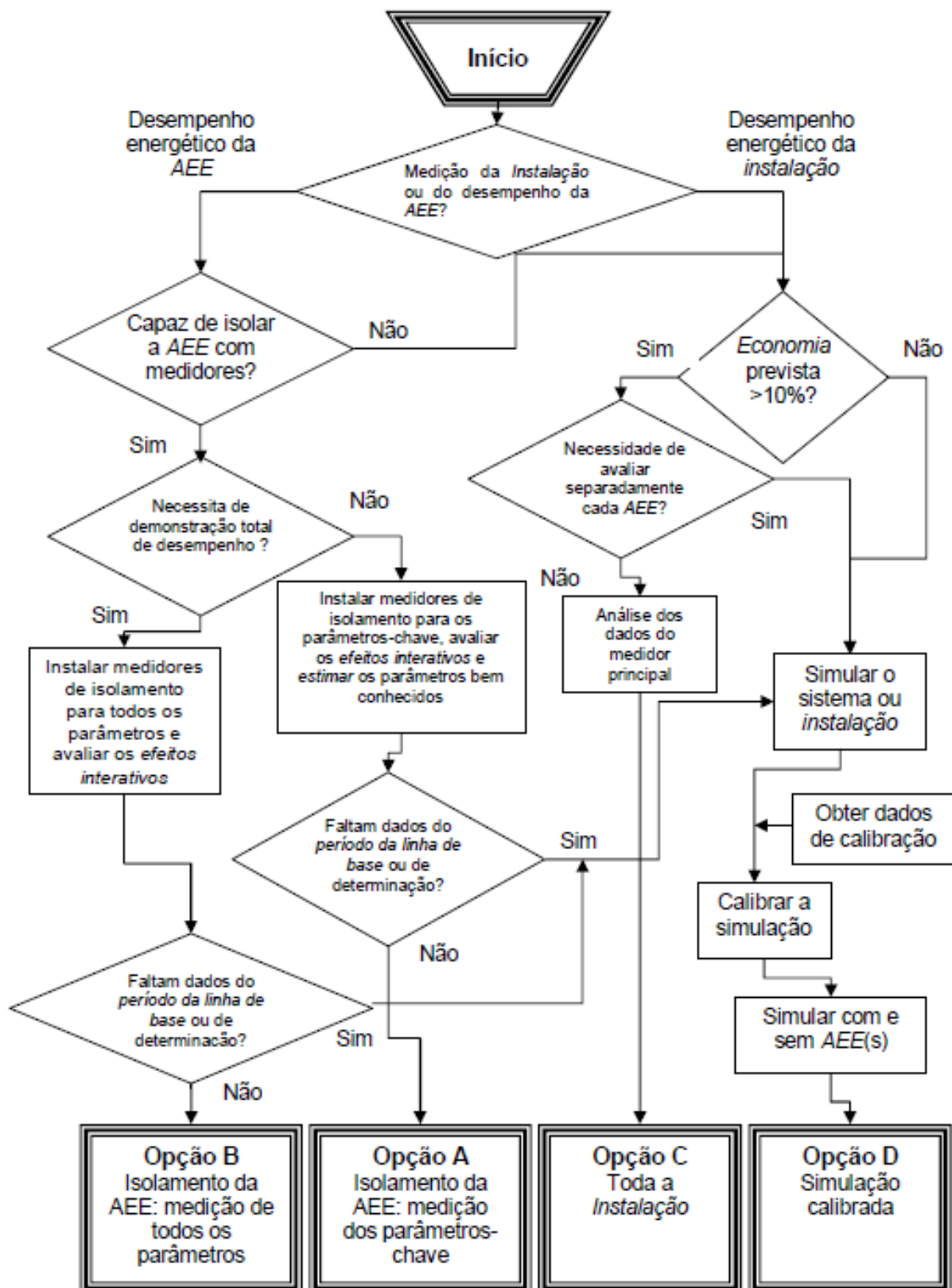


Figura 2.5 – Processo de seleção da Opção do PIMVP

Fonte: PIMVP, EVO

2.2.3 Plano de M&V

A preparação de um bom Plano de M&V é primordial para a determinação da economia. O planejamento antecipado garante que todos os dados necessários para a determinação da economia estarão disponíveis após a implementação da AEE, dentro de um orçamento aceitável.

De acordo com o PIMVP (EVO, 2012), um Plano de M&V completo deve incluir a discussão dos seguintes tópicos:

Objetivo da AEE

Descrever a AEE, o resultado pretendido, e os procedimentos da verificação operacional a serem utilizados para verificar o sucesso da implementação de cada AEE; identificar todas as alterações planejadas às condições da linha de base, tais como a regulação da temperatura de um edifício desocupado;

Opção do PIMVP selecionada e Fronteira de Medição

Especificar a opção do PIMVP que será usada para determinar a economia; identificar a fronteira de medição da determinação da economia; descrever a natureza de quaisquer efeitos interativos para além da fronteira de medição, juntamente com os seus efeitos possíveis;

Linha de base: Período, energia e condições

Documentar as condições da linha de base da instalação e os dados de energia, dentro da fronteira de medição;

Período de determinação da economia

Identificar o período de determinação da economia. Este período pode ser tão curto como uma medição instantânea durante a colocação em serviço de uma AEE, ou tão longo quanto o tempo necessário para recuperar o custo do investimento do programa da AEE;

Base para o ajuste

Declarar o conjunto de condições a qual todas as medições de energia serão ajustadas. As condições podem ser as do período de determinação da economia ou outro conjunto de condições fixas;

Procedimento de análise

Especificar os procedimentos exatos de análise de dados, algoritmos e hipóteses a serem usados em cada relatório de economia;

Preço da energia

Indicar os preços da energia que serão utilizados para avaliar a economia, e, se for o caso, como a economia será ajustada se os preços mudarem no futuro;

Especificações do medidor

Especificar os pontos de medição e períodos se a medição não for contínua. Para os medidores que não são das concessionárias, especificar: as características da medição, a leitura do medidor e o protocolo de confirmação, os procedimentos da colocação em serviço do medidor, o processo de calibração de rotina, e o método de tratamento de dados perdidos;

Responsabilidades de monitoramento

Atribuir responsabilidades de reportar e registrar dados de energia, variáveis independentes e fatores estáticos dentro da fronteira de medição, durante o período de determinação da economia;

Precisão esperada

Avaliar a precisão esperada associada à medição, à obtenção de dados, à amostragem e à análise de dados. Esta avaliação deve incluir medidas qualitativas e todas as medidas quantitativas possíveis do nível de incerteza nas medições e ajustes a usar no relatório de economia planejado;

Orçamento

Definir o orçamento e os recursos necessários para a determinação da economia, os custos iniciais estabelecidos, e os custos contínuos durante o período de determinação da economia;

Formato do relatório

Indicar a forma pela qual os resultados serão reportados e documentados;

Garantia de qualidade

Especificar os procedimentos de garantia de qualidade que serão utilizados para os relatórios de economia, e todos os passos intermediários na preparação dos relatórios.

2.2.4 Relatório de M&V

Os relatórios de M&V devem ser desenvolvidos e reportados conforme definido anteriormente no Plano de M&V, redigidos para os vários níveis de entendimento de seus leitores.

Em conformidade com o PIMVP (EVO, 2012), um relatório completo de M&V devem incluir, no mínimo, os seguintes tópicos:

- ✓ Os dados observados durante o período de determinação da economia: os momentos de início e fim do período de medição, os dados de energia e o valor das variáveis independentes;
- ✓ Descrição e justificação de quaisquer correções feitas aos dados observados;
- ✓ Para a Opção A, os valores estimados acordados;
- ✓ Tabela de preços da energia utilizada;
- ✓ Todos os pormenores de qualquer ajuste não periódico da linha de base efetuado, incluindo uma explicação da alteração das condições desde o período da linha de base, os fatos observados e suposições, além dos cálculos de engenharia que levaram ao ajuste;
- ✓ A economia calculada em unidades de energia e monetárias.

2.2.5 Cálculos e Modelos Matemáticos

Em concordância com o PIMVP, a modelagem matemática é utilizada na M&V para preparar o termo dos ajustes de rotina, o que implica encontrar uma relação matemática entre variáveis dependentes e independentes.

A variável dependente, habitualmente a energia, é modelada como sendo regida por uma ou mais variáveis independentes. Este tipo de modelagem é denominado **Análise de Regressão**. Na análise de regressão, o modelo tenta “explicar” a variação da energia como resultante das variações nas variáveis independentes individuais.

Os modelos mais comuns são regressões lineares da forma:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_pX_p + e \quad (2.1)$$

Onde:

Y : é a variável dependente, habitualmente sob a forma de uso de energia durante um período de tempo específico;

X_i ($i = 1, 2, 3, \dots, p$) : representa as ‘p’, variáveis independentes, tais como o clima, a produção, a ocupação, a duração do período de medição, etc.;

b_i ($i = 0, 1, 2, \dots, p$) : representa os coeficientes derivados para cada variável independente, e um coeficiente fixo (**b₀**) não relacionado com as variáveis independentes;

e : representa os erros residuais que permanecem inexplicados após a justificação do impacto das várias variáveis independentes.

Seguindo as boas práticas do PIMVP, para se avaliar até que ponto um modelo particular de regressão explica a relação entre o consumo de energia e as variáveis independentes, podem ser realizados alguns testes, como por exemplo, o do **Coefficiente de Determinação (R²)**, que representa a medida da extensão na qual os afastamentos da variável dependente Y do seu valor médio são explicados pelo modelo de regressão.

A grande maioria dos programas estatísticos e ferramentas de planilhas de análise de regressão como, por exemplo, o Microsoft Excel[®], calcula o valor de R².

A faixa dos valores possíveis para R² vai de 0,0 a 1,0. Um R² de 0,0 significa que nenhuma variação é explicada pelo modelo, portanto este modelo não fornece nenhuma

orientação para a compreensão das variações em Y. Em contra partida, um R^2 de 1,0 significa que o modelo explica 100% das variações em Y.

Nenhum destes valores limites de R^2 é provável com dados reais. Geralmente, quanto maior o coeficiente de determinação, mais bem o modelo descreve a relação entre as variáveis independentes e a variável dependente.

Embora não haja nenhuma norma universal para um valor mínimo R^2 aceitável, o PIMVP considera o valor de 0,75 um indicador mínimo, razoável de uma boa relação causal entre a energia e as variáveis independentes.

O programa de planilhas eletrônicas Microsoft Excel® possui a função **PROJ.LIN**, que basicamente calcula as estatísticas para uma linha usando o método dos "quadrados mínimos" para calcular uma linha reta que melhor se ajusta aos seus dados e, em seguida, retorna uma matriz que descreve essa linha. Como esta função retorna uma matriz de valores, ela deve ser inserida como uma fórmula de matriz. A Figura 2.6 mostra a ordem em que os dados estatísticos são fornecidos pela função:

	A	B	C	D	E	F
1	m_n	m_{n-1}	...	m_2	m_1	b
2	se_n	se_{n-1}	...	se_2	se_1	se_b
3	r^2	se_y				
4	F	df				
5	ss_{reg}	ss_{resid}				

Figura 2.6 – Matriz de valores da função PROJ.LIN
Fonte: MICROSOFT EXCEL®.

Onde:

$se_1, se_2, \dots, se_n$: valores de erro padrão para os coeficientes $m_1, m_2, \dots, m_n$;

se_b : valor de erro padrão para a constante b;

r^2 : coeficiente de determinação;

se_y : valor de erro para a estimativa de y;

F : estatística F;

df : graus de liberdade;

ss_{reg} : soma dos quadrados da regressão;

ss_{resid} : soma residual dos quadrados.

Maiores informações sobre a função PROJ.LIN, suas instruções de aplicação e alguns exemplos práticos são encontradas na Seção de Ajuda do programa Microsoft Excel®.

2.3 Consumo de Eletricidade do Setor Comercial

De acordo com o Balanço Energético Nacional 2017 – ano base 2016 (EPE, 2017), o consumo de energia elétrica no setor comercial corresponde a 14,4% do consumo final de eletricidade do país, conforme é mostrado na Figura 2.7.

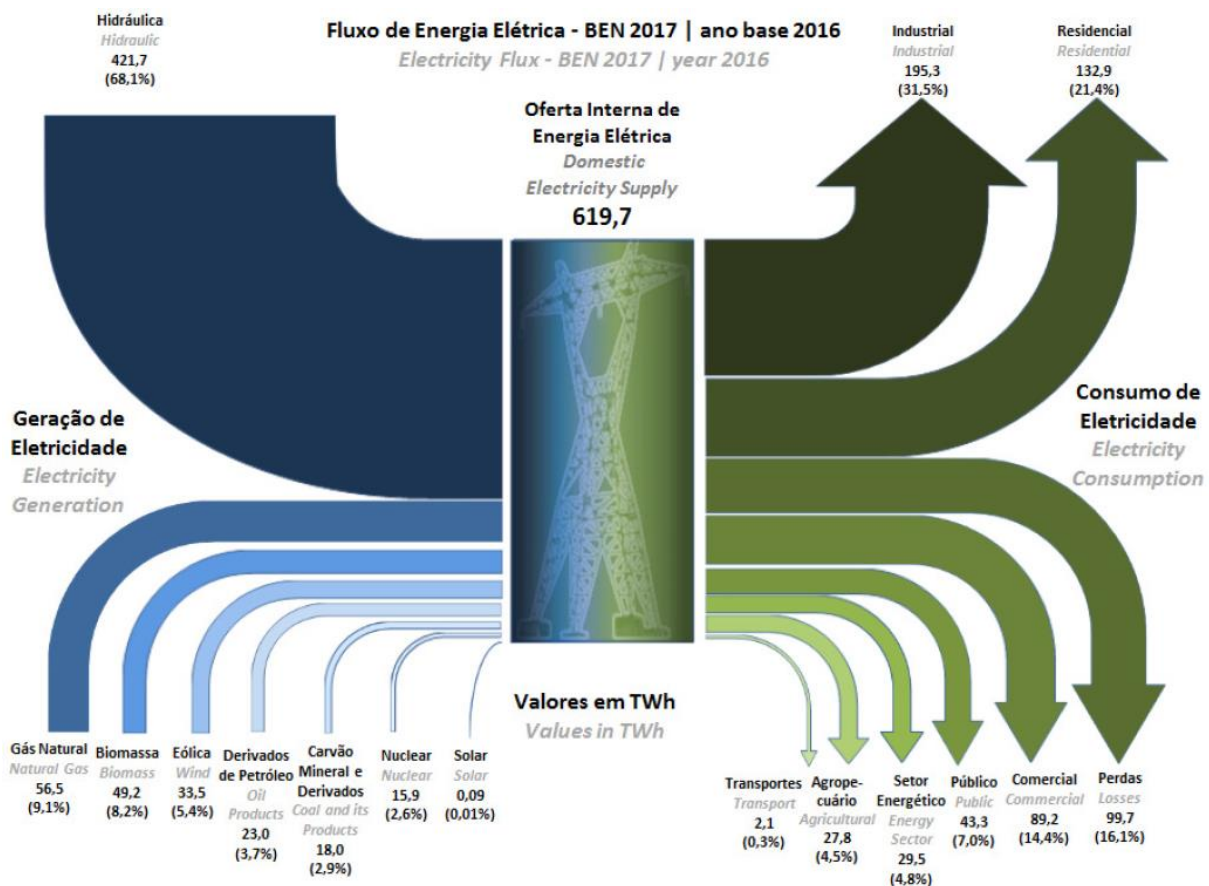


Figura 2.7 – Fluxo de Energia Elétrica 2016
 Fonte: BEN 2017 (EPE, 2017)

Compõem o Setor Comercial no Brasil:

- ✓ Shopping centers, postos de combustíveis;
- ✓ Estabelecimentos comerciais tradicionais do comércio varejista;
- ✓ Estabelecimentos do comércio atacadista;
- ✓ Hotéis, instalações de lazer e turismo, restaurantes;
- ✓ Estabelecimentos financeiros; escritórios, prédios comerciais;
- ✓ Hospitais, estabelecimentos de ensino, dentre outros.

A avaliação da eficiência energética no setor comercial requer ampla pesquisa sobre posse e utilização de equipamentos, tendo como uma de suas dificuldades o limitado conhecimento de sua estrutura, tendo em vista tratar-se de um setor bastante heterogêneo.

De acordo com os estudos que compõem o Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007), o setor comercial pode ser dividido em subclasses, cujas respectivas participações no consumo de eletricidade podem ser representadas conforme Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Subclasses e Consumos no Setor Comercial

Subclasses do Setor Comercial	Participação no Consumo de Eletricidade
Varejo	22,4%
Hotéis e Restaurantes	13,4%
Prédios Comerciais	12,4%
Entidades Financeiras	12,2%
Comunicações	5,6%
Comércio Atacadista	4,0%
Transportes	3,6%
Outros (Portos, Hospitais, etc.)	26,4%
Total - Setor Comercial	100%

Fonte: PNE 2030 (EPE, 2007)

A variedade de consumidores é muito grande, o que se reflete no maior percentual de “Outros”. Na subclasse de “Varejo”, destacam-se os shoppings e supermercados.

Sob outra ótica, segundo o PNE 2030 (EPE, 2007), a caracterização do consumo de energia elétrica no Setor Comercial Brasileiro, analisado a partir da conjugação dos dados do Balanço Energético Nacional (BEN) 2005 (EPE, 2005) e do Balanço de Energia Útil (BEU) 2005 (MME, 2005), pode ser representada pelas porcentagens correspondentes aos usos finais, conforme representado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Uso da eletricidade no Setor Comercial

	Iluminação	Refrigeração	Força Motriz	Aquecimento Direto	Calor de Processo	Outros	Total
Setor Comercial	41,7%	33,7%	14,4%	8,0%	0,6%	1,6%	100,0%

Fonte: PNE 2030 (EPE, 2007)

Nota-se com a Tabela 2.2 que a Iluminação representa a maior parcela do consumo total de eletricidade no setor, enquanto a Refrigeração responde por quase um terço.

2.3.1 Setor Comercial Varejista

O Varejo, ou comércio varejista, são expressões equivalentes para se referir a setores do comércio que tem por objetivo vender diretamente para os consumidores finais. Suas atividades são de suma importância para o Brasil como também para outros países em desenvolvimento, por ser uma importante fonte provedora de empregos.

Segundo a Sociedade Brasileira de Varejo e Consumo (SBVC), qualquer empresa que venda para consumidores finais está envolvida em varejo, independente da forma como os bens ou serviços são vendidos (pessoalmente, pela internet, etc.) ou onde eles são vendidos (loja física, virtual, etc.).

A maioria das empresas dedicadas ao comércio varejista corresponde ao chamado setor terciário da economia de um país. No Brasil, os principais setores varejistas são:

- ✓ Supermercados e Hipermercados;
- ✓ Farmácias;
- ✓ Concessionárias de veículos;
- ✓ Lojas de vestuários e perfumarias;
- ✓ Lojas de materiais de construção;
- ✓ Lojas de móveis e decoração;
- ✓ Postos de gasolina;
- ✓ Lojas de eletroeletrônicos;
- ✓ Livrarias, dentre outros.

Nos últimos anos o varejo brasileiro vem sendo protagonista do crescimento da economia e da geração de empregos. De acordo com a SBVC, este “protagonismo” vem trazendo muitos desafios para o setor. Mais conhecimento, mais números e estatísticas, uma maior representatividade política, além de uma busca constante pela produtividade tem sido fatores essenciais para o desenvolvimento do varejo nacional.

Na busca por melhores resultados no setor, a avaliação das oportunidades de redução de custos operacionais se torna vital; dentre tais custos, destacam-se os custos com eletricidade, o que, segundo a SBVC, representa a segunda maior despesa para muitas redes de supermercados, ficando atrás apenas da folha de pagamentos.

2.4 Sistemas de Refrigeração Comercial

Refrigeração é a ação de resfriar determinado ambiente de forma controlada, seja com o objetivo de processar ou conservar produtos, ou para a climatização de conforto térmico.

Na refrigeração, para se diminuir a temperatura de um ambiente é necessário retirar energia térmica do mesmo através de um ciclo termodinâmico, onde calor é absorvido do ambiente a ser refrigerado e então rejeitado para o ambiente externo.

Teoricamente, qualquer fenômeno físico ou químico de natureza endotérmica pode ser aproveitado para a produção do frio. Na prática, os processos endotérmicos mais utilizados na refrigeração são:

- ✓ Expansão de um gás com a produção de trabalho;
- ✓ Fenômenos de adsorção;
- ✓ Fenômenos termoelétricos.

Estes processos podem ser associados aos seus inversos, de modo a permitir a produção contínua do frio. A expansão de um gás associada à sua compressão é adotada nas máquinas frigoríficas a ar e na indústria da liquefação dos gases. Os fenômenos de adsorção são aplicados nas máquinas de Sílica-gel, cujo funcionamento se assemelha ao das máquinas de absorção. Os fenômenos termoelétricos, por sua vez, são atualmente aplicados na técnica do frio apenas em pequena escala (pequenos refrigeradores domésticos e de laboratórios).

Para conveniência de estudos, as diversas aplicações da refrigeração podem ser classificadas dentro das seguintes categorias:

Refrigeração doméstica

- ✓ Abrange principalmente a fabricação de refrigeradores de uso doméstico e de freezers;

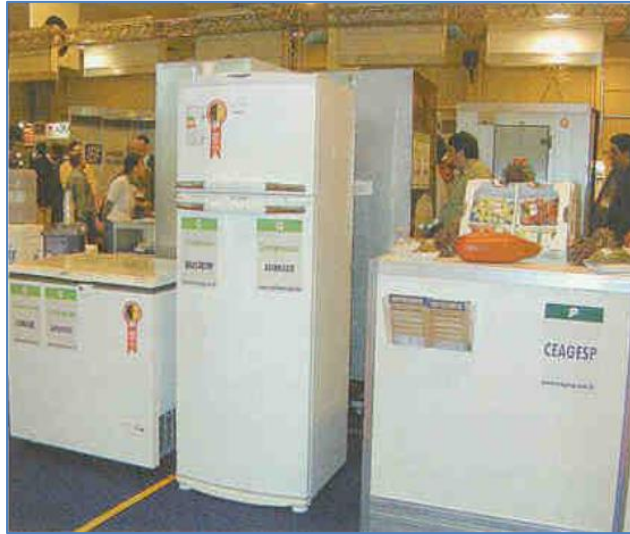


Figura 2.8 – Refrigeradores e freezers

Fonte: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM250/Refrigeracao>

Refrigeração industrial

- ✓ Contempla as fábricas de gelo, grandes instalações de empacotamento de gêneros alimentícios (carnes, peixes, aves, etc.), cervejarias, fábricas de laticínios, de processamento de bebidas concentradas e outras;



Figura 2.9 – Câmara frigorífica

Fonte: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM250/Refrigeracao>

Refrigeração para transporte

- ✓ Relaciona-se, por exemplo, com equipamentos de refrigeração em caminhões e vagões ferroviários refrigerados;



Figura 2.10 – Caminhão refrigerado

Fonte: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM250/Refrigeracao>

Refrigeração para condicionamento de ar

- ✓ Tem por objetivo controlar a temperatura, umidade, pureza e distribuição no sentido de proporcionar conforto aos ocupantes do recinto condicionado;
- ✓ Inclui processos, tais como, aquecimento, radiação térmica e regulação da velocidade e qualidade do ar, incluído a remoção de partículas e vapores;

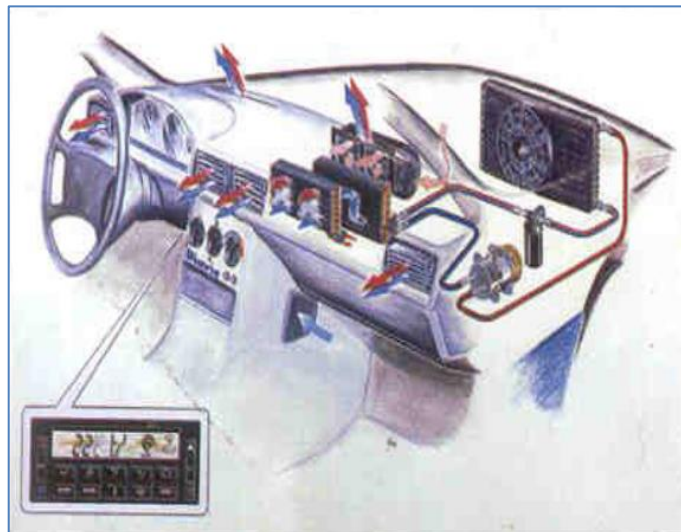


Figura 2.11 – Condicionamento de ar em veículos

Fonte: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM250/Refrigeracao>

Refrigeração comercial

- ✓ Inclui todos os sistemas de grande porte ou refrigeradores especiais utilizados em supermercados, restaurantes, sorveterias, bares, laboratórios, hotéis, e outros locais de armazenamento, exposição, beneficiamento e distribuição de mercadorias perecíveis de todos os tipos.



Figura 2.12 – Refrigeradores em supermercados
Fonte: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM250/Refrigeracao>

2.4.1 Sistema de Compressão a Vapor

Os sistemas de refrigeração comercial típicos empregam vários processos individuais para produzir um ciclo de refrigeração contínuo capaz de manter a temperatura de um espaço em condições precisas. O ciclo mais empregado neste caso é o **Ciclo de Compressão a Vapor**, onde o vapor é comprimido, condensado, tendo posteriormente sua pressão diminuída de modo que o fluido possa evaporar a baixa pressão.

A Figura 2.13 ilustra um sistema de refrigeração comercial típico com o emprego do ciclo de compressão a vapor.

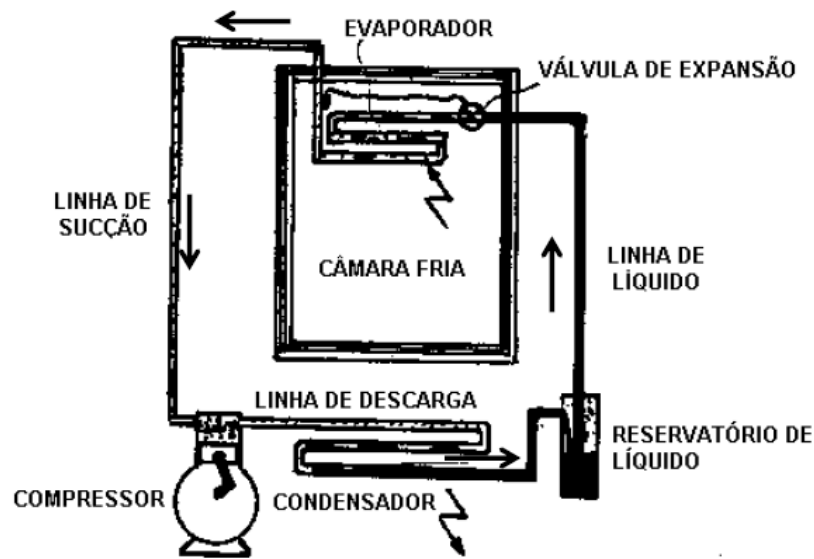


Figura 2.13 – Sistema de refrigeração típico
 Fonte: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM250/Refrigeracao>

De forma sucinta, os principais componentes deste sistema de refrigeração são:

Evaporador

- ✓ É um trocador de calor que recebe o fluido refrigerante a baixa pressão;
- ✓ Ao longo da tubulação do evaporador o fluido refrigerante vaporiza, absorvendo calor do ambiente a ser refrigerado;
- ✓ O fluido refrigerante quando deixa o evaporador se encontra (totalmente ou quase totalmente) na forma de vapor;



Figura 2.14 – Evaporador comercial
 Fonte: <http://www.refrio.com>

Linha de sucção

- ✓ É a tubulação frigorífica usada para transportar o fluido refrigerante (vapor frio), ligando o evaporador ao compressor;
- ✓ Apesar de possuir um isolamento térmico, o vapor frio que passa pela tubulação da linha de sucção também absorve calor do espaço externo;

Compressor

- ✓ Trata-se de um dispositivo eletromecânico que é usado para desenvolver e manter o fluxo do fluido refrigerante através do sistema de refrigeração;
- ✓ O vapor frio flui do evaporador para o compressor onde a pressão é elevada por uma transferência de energia cinética;
- ✓ Este processo eleva a temperatura de saturação do vapor para um nível que permite o vapor condensar a temperaturas ambientes normais;



Figura 2.15 – Compressor comercial
Fonte: <https://www.bitzer.de/br/pt>

Linha de descarga

- ✓ É a tubulação frigorífica usada para transportar o vapor superaquecido a alta pressão, ligando o compressor ao condensador;

Condensador

- ✓ É um trocador de calor que recebe o vapor a alta pressão e temperatura e provoca a sua condensação retirando calor do mesmo através de um meio condensante, em geral, água ou ar;



Figura 2.16 – Condensador a ar remoto
Fonte: <http://www.refrio.com>

Reservatório de líquido

- ✓ Trata-se de um tanque que recebe o refrigerante líquido do condensador e o armazena, criando um selo de líquido entre o condensador e o dispositivo medidor, impedindo assim a passagem de vapor para o dispositivo medidor e permitindo uma provisão constante de refrigerante líquido para o dispositivo medidor sob todas as condições de variação da carga;

Linha de líquido

- ✓ É a tubulação frigorífica usada para transportar o líquido quente a alta pressão, ligando o reservatório de líquido à válvula de expansão;

Válvula de expansão

- ✓ Tem por função reduzir a pressão do líquido na entrada do evaporador, sendo o elemento que controla o fluxo de refrigerante através do evaporador baseado na demanda de carga térmica.

Em suma, um sistema de refrigeração comercial típico trabalha com o ciclo de compressão a vapor, um processo termodinâmico em que um fluido refrigerante é vaporizado, comprimido e condensado através de um ciclo contínuo para permitir refrigerar um determinado ambiente.

O ciclo saturado simples é formado por quatro processos fundamentais: expansão, vaporização, compressão e condensação. Nestes processos, o refrigerante passa por mudanças em sua pressão, temperatura e/ou fase.

2.4.2 Condensadores Resfriados a Ar

O condensador é muito importante em um sistema de refrigeração, pois, como já definido anteriormente, tem como função rejeitar para o ambiente externo o calor absorvido no evaporador e também o gerado pelo processo de compressão.

Basicamente, um condensador rejeita o calor de três formas:

- ✓ Resfriamento sensível do gás superaquecido;
- ✓ Transferência de calor latente na fase de condensação; e
- ✓ Sub-resfriamento do condensado.

Durante a concepção de um sistema de refrigeração comercial, é muito importante a escolha adequada do condensador, pois quando inadequada acaba por gerar consequências negativas para todo o sistema de refrigeração e compressor. Por exemplo, quando o condensador for subdimensionado, ocorrerá perda da capacidade de refrigeração e o sistema acabará não atingindo as temperaturas desejadas, uma vez que o trocador de calor não é capaz de rejeitar todo o calor necessário.

A condensação, segundo a Apostila de Refrigeração (Disciplina TM182) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), é sem dúvida o processo dominante em aplicações comuns de refrigeração, respondendo por 83% da rejeição de calor.

Os meios de condensação mais comuns são o Ar e Água, podendo haver também meios especiais. Segundo o meio condensante os condensadores podem ser classificados em:

- ✓ Condensadores resfriados a água;
- ✓ Condensadores resfriados a ar;
- ✓ Condensadores evaporativos.

Os Condensadores Resfriados a Ar empregam o ar como meio de resfriamento, para absorver calor do refrigerante de forma que possa mudar o seu estado para líquido. Em sistemas de refrigeração comercial, os condensadores a ar são com ventilação forçada de ar.



Figura 2.17 – Condensadores remotos
Fonte: <http://www.heatcraft.com.br>

As serpentinas de um condensador a ar são comumente construídas de cobre, alumínio ou tubos de aço. O cobre é fácil de usar e fabricar, e não requer nenhuma proteção contra corrosão; o alumínio requer métodos exatos de fabricação e proteção especial (quando houver articulações de alumínio para cobre); os tubos de aço requerem proteção contra o tempo.

As aletas de um condensador melhoram a transferência de calor do lado do ar; a maioria das aletas é feita de alumínio, mas o cobre e o aço também são usados.

2.4.3 Controle da Pressão de Condensação

O controle da pressão de condensação é um processo vital para os sistemas de refrigeração que funcionam continuamente (24 horas por dia), principalmente em regiões o ar exterior, que troca calor com o condensador, pode atingir temperaturas muito baixas. Nestes casos, pode-se chegar a um ponto onde deixa de existir uma pressão suficiente exercida no líquido condensado para que a válvula de expansão funcione corretamente.

Para controlar de forma correta o funcionamento do sistema, devem-se utilizar alguns meios para reduzir a capacidade de condensação, para que a capacidade total do sistema reduza em função da redução da temperatura exterior e da carga do sistema.

Os métodos de controle da pressão de condensação mais utilizados em sistema com condensadores resfriados a ar são:

- ✓ Controle por operador de pressão (registro);
- ✓ Controle por alagamento;
- ✓ Controle cíclico do ventilador.

Cada um dos métodos citados acima produz uma capacidade variável do condensador, baseado nas condições operacionais variáveis. Desta forma, a pressão de condensação não é uma constante, mas sim uma variável, controlada dentro de limites toleráveis de performance e segurança do sistema.

Em condensadores a ar com ventilação forçada, o comando da operação dos ventiladores fornece um controle de modulação da capacidade de condensação. Nestes casos, os ventiladores são comumente controlados por:

- ✓ Termostatos sensíveis à temperatura do ar exterior;
- ✓ Pressostatos acoplados nas linhas de descarga ou de líquido;
- ✓ Controladores Lógicos Programáveis (CLP).



Figura 2.18 – Termostato, pressostato e CLP
Fonte: <http://www.danfoss.com.br>

2.5 Ventiladores de Condensadores

Ventiladores são máquinas de fluxo motoras que transferem energia a gases através da ação de um rotor. Sistemas de ventilação aplicados no condicionamento de ar (refrigeração, aquecimento, exaustão, filtragem, renovação, diluição de poluentes, etc.) em ambientes residenciais, comerciais e industriais constituem uma grande parcela das unidades em uso.

Usualmente, baseado nas disciplinas teóricas de Máquinas de Fluidos, os ventiladores podem ser classificados em dois tipos básicos: **Radial** ou **Axial**.

Radial (ou Centrífugo): quando o ventilador consiste de um rotor que gira em alta rotação no interior de uma carcaça em formato espiral. O ar entra no ventilador na direção axial ao eixo de rotação e, então é movido do centro para a periferia do rotor por ação da força centrífuga, saindo perpendicular ao mesmo eixo.

Este tipo de ventilador ainda pode ser subdividido em três tipos:

- ✓ Ventilador centrífugo de pás radiais retas: aplicados em sistema de exaustão de detritos de máquinas, exaustão de pó, gases, fumaças, vapores, odores industriais, etc. São barulhentos, com características de baixa eficiência e de rotação, com alta pressão;
- ✓ Ventilador centrífugo de pás curvadas para frente: aplicados em sistemas de ar condicionado, condensadores evaporativos, coifas e torres de resfriamento. Possui operação silenciosa em instalações de ventilação e exaustão, e limitada à movimentação de ar ausente de impurezas;
- ✓ Ventilador centrífugo de pás curvadas para trás: aplicados em situações onde há grandes variações de fluxo de ar, como em sistemas de aeração. Apresentam baixo nível de ruído, com movimentações de médio a elevados volumes de ar, com pressões de média a elevada, e com alta eficiência energética.



Figura 2.19 – Ventiladores centrífugos
Fonte: <http://www2.feg.unesp.br>

Axial: Quando o ar entra e sai paralelamente ao eixo do rotor. Este pode ainda ser subdividido em três tipos:

- ✓ Ventilador axial propulsor: o ventilador mais utilizado, sendo usada na circulação de ar ambiente, movendo grandes volumes de ar à baixa pressão estática;
- ✓ Ventilador tubo-axial: tem como características mover médios volumes de ar a baixa pressão estática. O rotor do ventilador é colocado no interior de um tubo, permitindo a conexão direta com o duto de aeração. O motor elétrico pode ser instalado diretamente ao eixo do rotor ou instalado sobre o tubo;
- ✓ Ventilador vanaxial: empregado em situações que requerem pressões mais elevadas, com alta vazão de ar. Difere do ventilador tubo-axial pela presença de um aerofólio instalado após o rotor, com lâminas guias que retificam o fluxo de ar, reduzindo as turbulências e as perdas de energia.

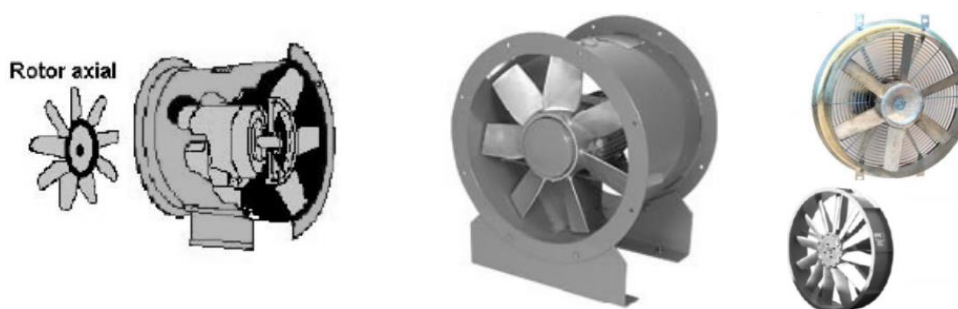


Figura 2.20 – Ventiladores axiais
Fonte: <http://www2.feg.unesp.br>

Sob outro aspecto, os ventiladores também podem comumente categorizados quanto ao nível energético de pressão (Sistemas Fluidomecânicos, FEG/UNESP):

- ✓ Baixa pressão: até 0,02 kgf/cm²;
- ✓ Média pressão: de 0,02 a 0,08 kgf/cm²;
- ✓ Alta pressão: entre 0,08 a 0,25 kgf/cm²;
- ✓ Turbo compressores: acima de 0,25 kgf/cm².

2.5.1 Ventilado Axial Propulsor

Em sistemas de refrigeração comercial típicos, mais especificamente nos condensadores remotos resfriados a ar, o tipo de ventilador mais encontrado é o **Ventilador Axial Propulsor**. Este tipo de ventilador é comercialmente encontrado nos condensadores em três modelos diferentes:

Ventilador Convencional: possui um motor de corrente alternada, assíncrono e de rotor interno (gaiola de esquilo) acoplado ao eixo do propulsor (hélices); este motor é alimentado em corrente alternada (tensão de rede trifásica).

Este tipo de ventilador vindo sendo gradativamente substituído (na fabricação dos condensadores remotos a ar) pelo Ventilador AC, devido principalmente aos ganhos em eficiência energética alcançados com esta substituição.



Figura 2.21 – Condensador com ventilador convencional
Fonte: <http://www.refrio.com>

Ventilador AC: possui um motor de corrente alternada (AC), assíncrono e de rotor externo, ao qual se acoplam as hélices do propulsor. Este tipo de motor é compacto e demanda pouco espaço de instalação nos condensadores; este motor é alimentado em corrente alternada (tensão de rede trifásica), assim como o ventilador convencional.

Este é, atualmente, o modelo mais encontrado na fabricação dos condensadores remotos a ar, devido ao seu baixo custo de produção e alta eficiência energética, quando comparado ao ventilador convencional.



Figura 2.22 – Condensador com ventilador AC
Fonte: <http://www.refrio.com>

Ventilador EC: possui um motor de rotor externo com comutação eletrônica (EC), ao qual se acoplam as hélices do propulsor. Assim como o ventilador AC, este tipo de motor é compacto e demanda pouco espaço de instalação nos condensadores; este ventilador é alimentado em corrente alternada, porém converte internamente esta energia em corrente contínua para controlar o acionamento e rotação do motor.

Este modelo possui maior eficiência energética em relação ao Ventilador AC, além de menores custos operacionais e redução de ruídos, graças à tecnologia EC.



Figura 2.23 – Condensador com ventilador EC
Fonte: <http://www.refrio.com>

2.5.2 Ventiladores Eletronicamente Comutados (EC)

Os ventiladores com Tecnologia EC, ou simplesmente Ventiladores EC, são ventiladores com motores de corrente contínua, de rotor externo, equipados com ímã permanente.

O termo “Tecnologia EC” possui diferentes significados. Atualmente este termo é amplamente utilizado para se referir a diferentes conceitos de acionamento, tais como:

- ✓ EC (Electronically Commutated): motor de comutação eletrônica;
- ✓ PM (Permanent Magnet): motor de ímã permanente; e
- ✓ BLDC (Brushless Direct Current): motor de corrente contínua sem escovas.

Neste tipo de ventilador, o motor em si não é alimentado diretamente pela rede; ele possui um sistema eletrônico integrado que recebe a tensão da rede (corrente alternada), faz a comutação (converte em corrente contínua) e depois alimenta o motor.

Este tipo de ventilador (e motor) pode ser utilizado em vários tipos de aplicação, como por exemplo: refrigeração comercial, refrigeração industrial, ar condicionado, etc.



Figura 2.24 – Ventilador EC - frente e verso
Fonte: <https://www.ziehl-abegg.com>

Segundo os seus fabricantes, uma das vantagens mais significativas dos ventiladores que empregam a tecnologia EC é que o seu alto nível de eficiência, que é substancialmente maior do que os ventiladores convencionais. Além do melhor aproveitamento da energia

elétrica, ele também traz uma redução de perdas de calor quando comparado aos modelos convencionais, garantindo ao equipamento uma vida útil mais longa.

Além da vantagem do rotor externo, que torna o motor do ventilador EC mais compacto, outras vantagens podem ser destacadas, como por exemplo:

- ✓ A proteção já integrada do motor e do sistema eletrônico de potência;
- ✓ O fator de potência praticamente unitário em uma ampla faixa de operação;
- ✓ Os filtros integrados para EMC (Compatibilidade Eletromagnética);
- ✓ A redução das emissões de ruído. Em velocidades mais baixas, os ventiladores EC são ainda mais silenciosos.

Os benefícios em termos de eficiência energética são ainda mais evidentes na operação de cargas parciais, pois a eletrônica integrada dos ventiladores EC permite o controle variável de rotação. Desta forma, a velocidade de rotação pode ser sempre adaptada às necessidades do sistema, o que traz ganhos significativos com a redução do consumo de energia elétrica, conforme será explicado no capítulo das **Leis dos Ventiladores**.

2.5.3 Leis dos Ventiladores

De acordo com a Norma Espanhola UNE 100-230-95 (Recomendaciones para el acoplamiento al sistema de distribución), “Se um ventilador deve funcionar em condições diferentes das testadas, não é prático nem econômico efetuar novos testes para determinar as suas características. Mediante o uso de um conjunto de equações designado com o nome de Leis dos Ventiladores é possível determinar, com boa precisão, as novas características a partir dos testes efetuados em condições normalizadas”.

As Leis dos Ventiladores (ou Relações de Similaridade Aplicadas a Ventiladores) são decorrentes da aplicação da teoria da similaridade às máquinas de fluxo e a sua exatidão é suficiente para a maioria das aplicações.

Com a utilização das Leis dos Ventiladores, é possível, por exemplo, prever de maneira satisfatória o desempenho de um ventilador em outras velocidades diferentes daquelas do teste do desempenho original.

As Leis dos Ventiladores podem ser resumidas da seguinte forma:

1ª Lei dos Ventiladores: para um ventilador trabalhando com ar, com massa específica constante e rotações diferentes;

2ª Lei dos Ventiladores: para um ventilador trabalhando com mesma rotação, mas com massas específicas diferentes para o ar;

3ª Lei dos Ventiladores: para ventiladores geometricamente semelhantes, trabalhando com mesma rotação e com massas específicas iguais.

Estas leis devem ser aplicadas com cautela, pois para grandes variações de vazão ou para rotores de tamanhos muito diferentes, a similaridade deixa de existir.

As equações da 1ª Lei dos Ventiladores tem por objetivo a determinação da nova curva característica do ventilador quando a rotação do ventilador varia, mas o peso específico padrão se mantém. Assim, se a rotação varia, variarão a vazão, a pressão total e a potência.

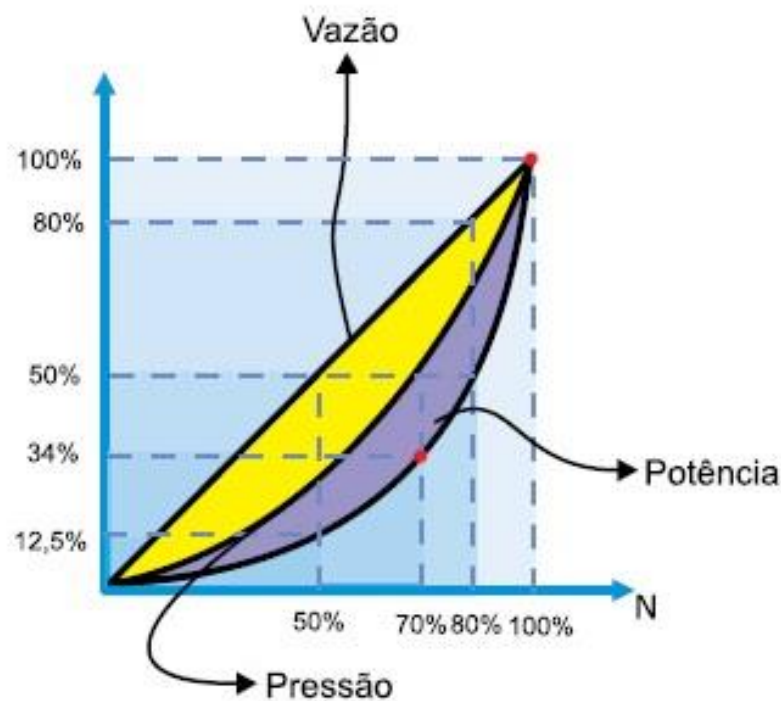


Figura 2.25 – Curvas da 1ª Lei dos Ventiladores
Fonte: <http://www.frioplus.com.br>

Equações da **1ª Lei dos Ventiladores**:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right) \quad (2.2)$$

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \quad (2.3)$$

$$W_2 = W_1 \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 \quad (2.4)$$

Onde:

Q : vazão

P : pressão (estática, dinâmica, ou total)

W : potência do ventilador

N : rotação do ventilador

Desta formulação tem-se que, para um ventilador trabalhando com ar, com massa específica constante e rotações diferentes:

- ✓ A vazão varia proporcionalmente com a sua rotação;
- ✓ A pressão desenvolvida varia com o quadrado da sua rotação; e
- ✓ A potência absorvida varia com o cubo da sua rotação.

Com base nas disciplinas acadêmicas de Máquinas Elétricas, sabe-se que a Energia Elétrica consumida por um motor é igual ao produto de sua Potência Elétrica absorvida pelo tempo de trabalho:

$$E = W \cdot t \quad (2.5)$$

Onde:

E : Energia Elétrica (ativa, reativa, ou aparente)

W : Potência Elétrica (ativa, reativa, ou aparente)

t : período de tempo (geralmente indicado em horas)

Por conseguinte, com a variação da velocidade de rotação de um ventilador ao longo do tempo, a Energia Elétrica absorvida por este irá variar na mesma proporção que a sua Potência Elétrica absorvida.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A principal motivação para a realização deste projeto, tratado pela ESCO executora como um projeto piloto, surgiu da necessidade de ampliação seu portfólio de soluções técnicas para os clientes varejistas, com o foco específico em sistemas de refrigeração. Neste contexto, a aplicação e avaliação dos ventiladores EC apresentou-se como uma ótima oportunidade.

Por tratar-se de um projeto real, desenvolvido por esta ESCO no ano de 2016, e por questões de confidencialidade, este capítulo está focado apenas nos ganhos energéticos e na viabilidade técnica-econômica da ação de eficiência energética implementada; não será abordado neste trabalho o detalhamento dos custos envolvidos no projeto, nem os termos contratuais e benefícios financeiros que permitiram a realização do mesmo.

3.1 Objetivo e Escopo do Projeto

Este projeto de eficiência energética teve como objetivo principal a redução do consumo de energia elétrica dos condensadores do sistema de refrigeração (frio alimentar) de um cliente varejista, cujo estabelecimento comercial (um Hipermercado) está localizado na cidade de Cotia, São Paulo.

A escolha deste estabelecimento para o projeto piloto, em comum acordo com o cliente, levou em consideração alguns critérios importantes, a citar:

- ✓ Ser um estabelecimento de grande porte, com alto consumo de energia elétrica;
- ✓ Estar localizado na região de São Paulo;
- ✓ Possuir ventiladores convencionais nos condensadores;
- ✓ Haver a possibilidade de realizar medições elétricas individualizadas, ou seja, apenas das cargas de interesse.



Figura 3.1 – Hipermercado e casa de máquinas
Fonte: Autoria da ESCO

Concomitantemente, em uma análise preliminar, foram consideradas algumas alternativas de Ações de Eficiência Energética que poderiam reduzir o consumo de energia do sistema, como por exemplo:

- ✓ **Opção I:** Instalação de conversores de frequência (variadores de velocidade) para acionamento e controle dos ventiladores existentes;
- ✓ **Opção II:** Substituição dos ventiladores existentes por ventiladores do tipo AC (mais eficientes), com a instalação de conversores de frequência (variadores de velocidade) para acionamento e controle;
- ✓ **Opção III:** Substituição dos ventiladores existentes por ventiladores EC, com o controle de velocidade;
- ✓ **Opção IV:** Substituição dos condensadores existentes por condensadores novos, já com ventiladores EC e controle de velocidade.

Dentre todas as AEE avaliadas, a ESCO optou por implementar aquela com a melhor relação custo x benefício, orientada pelas seguintes premissas:

- ✓ Potencial de redução do consumo de energia elétrica;
- ✓ Tempo de execução das obras;
- ✓ Riscos durante a execução das obras;
- ✓ Custo de investimento total;
- ✓ Tempo de retorno do investimento.

A Tabela 3.1 destaca os principais parâmetros de comparação entre as soluções preliminarmente avaliadas, bem como a classificação por ordem de preferência da ESCO.

Todos os valores de economia e custos foram estimados com base no Diagnóstico Energético realizado nesta loja, o qual levou em consideração tanto o histórico de funcionamento do sistema, como os dados de placa dos equipamentos.

Tabela 3.1 – Comparação das AEE

AEE	Opção I	Opção II	Opção III	Opção IV
Risco associado	Baixo	Médio	Baixo	Alto
Prazo de Execução	3 meses	4 meses	4 meses	5 meses
Custo Total	R\$ 15.287,50	R\$ 41.488,93	R\$ 55.287,50	R\$ 96.753,13
Economia Prevista	21.678 kWh	41.929 kWh	62.211 kWh	65.322 kWh
Redução do Consumo	24%	46%	68%	71%
Benefício Total	R\$ 7.622,10	R\$ 14.736,98	R\$ 21.862,73	R\$ 22.995,87
Payback Simples	2,0 anos	2,8 anos	2,5 anos	4,2 anos
Ordem de Preferência	2º	3º	1º	4º

Fonte: Autoria da ESCO

Portanto, a AEE escolhida pela ESCO foi a **Opção III**, cujo escopo resumido consistiu na substituição dos 12 ventiladores convencionais das 02 unidades condensadoras por 12 ventiladores EC.

Os resultados da AEE foram encontrados a partir da comparação entre dois cenários:

- ✓ Antes da AEE: ventiladores convencionais, com acionamento por estágios;
- ✓ Depois da AEE: ventiladores EC com o controle de velocidade de rotação.

Antes da AEE

No cenário de referência, ou seja, antes da implementação da AEE, os condensadores do sistema de refrigeração (frio alimentar) possuíam 12 ventiladores convencionais.

Um CLP era utilizado para controlar os ventiladores, com o acionamento por estágios, de modo a atender a demanda de fluxo de ar do condensador. Cada estágio de acionamento era composto por um par de ventiladores, que operavam sempre em rotação nominal.



Figura 3.2 – Antes da AEE – ventiladores convencionais
Fonte: Autoria da ESCO

Tabela 3.2 – Características dos ventiladores convencionais

Condensador 1	REFRIO RC 5800 800
Capacidade Térmica	125.000 kcal/h
Fabricante dos Motores	EBERLE
Modelo dos Motores	S90 L8-E1484
Rotação Nominal	1.150 rpm
Alimentação Elétrica	3~ 200/380V 50/60Hz
Potência Elétrica Nominal	6 x 1,14 kW
Condensador 2	REFRIO FCR 188 AC 803V
Capacidade Térmica	376.000 kcal/h
Fabricante dos Motores	EBMPAPST
Modelo dos Motores	W6D800-GE05-03
Rotação Nominal	1.080 rpm
Alimentação Elétrica	3~ 230/480V 50/60Hz
Potência Elétrica Nominal	6 x 2,18 kW
Capacidade Térmica Total	501.000 kcal/h
Potência Elétrica Total	19,8 kW

Fonte: Autoria da ESCO

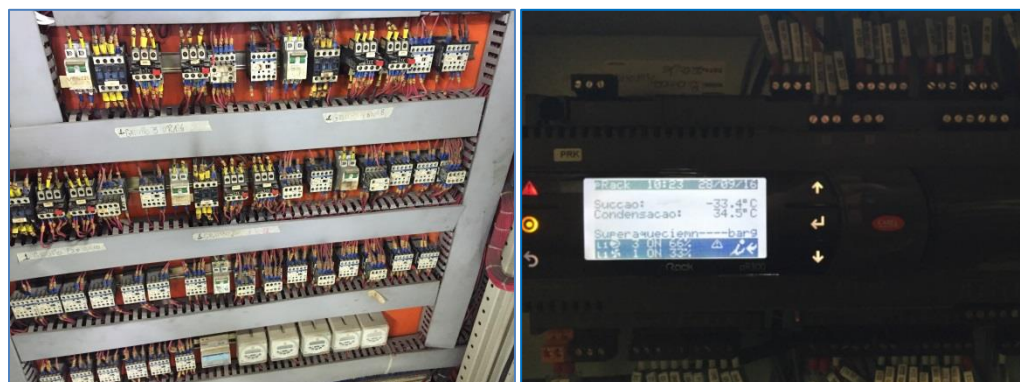


Figura 3.3 – Antes da AEE – Painel elétrico e CLP
Fonte: Autoria da ESCO

Depois da AEE

No cenário depois da AEE, já com os novos 12 ventiladores EC, a demanda de fluxo de ar do condensador passou a ser atendida por meio do controle da velocidade de rotação dos ventiladores, que também era realizada através do CLP existente, sendo necessários apenas alguns ajustes de parametrização.

Neste cenário todos os ventiladores operavam simultaneamente, com a mesma velocidade de rotação, como se fossem um único ventilador.

A escolha do modelo de ventilador EC levou em consideração os seguintes fatores:

- ✓ Dimensionamento físico (diâmetro nominal);
- ✓ Vazão de ar;
- ✓ Pressão estática;
- ✓ Eficiência do sistema; e
- ✓ Tensão de alimentação.

Tabela 3.3 – Características técnicas dos ventiladores EC

Condensador 1	REFRIO RC 5800 800
Capacidade Térmica	125.000 kcal/h
Fabricante dos Motores	ZIEHL-ABEGG
Modelo dos Motores	ZN080-ZIQ.GL.V7P3
Rotação Nominal	1.100 rpm
Alimentação Elétrica	3~ 200-240V 50/60Hz
Potência Elétrica Nominal	6 x 2,9 kW
Condensador 2	REFRIO FCR 188 AC 803V
Capacidade Térmica	376.000 kcal/h
Fabricante dos Motores	ZIEHL-ABEGG
Modelo dos Motores	ZN080-ZIQ.GL.V7P3
Rotação Nominal	1.100 rpm
Alimentação Elétrica	3~ 200-240V 50/60Hz
Potência Elétrica Nominal	6 x 2,9 kW
Capacidade Térmica Total	501.000 kcal/h
Potência Elétrica Total	34,8 kW

Fonte: Autoria da ESCO



Figura 3.4 – Depois da AEE – ventiladores EC
Fonte: Autoria da ESCO



Figura 3.5 – Motores dos ventiladores EC
Fonte: Autoria da ESCO

3.2 Fronteira de Medição e Opção do PIMVP

A Fronteira de Medição definida para este projeto era composta pelas 02 unidades condensadoras, contendo 12 ventiladores convencionais.

Estas duas unidades condensadoras juntas possuíam uma capacidade térmica nominal total de 501.000 kcal/h, e eram responsáveis pelo rejeito de calor do sistema de frio alimentar, que atendia todas as câmaras frias, ilhas de congelados e balcões de resfriados desta loja piloto.

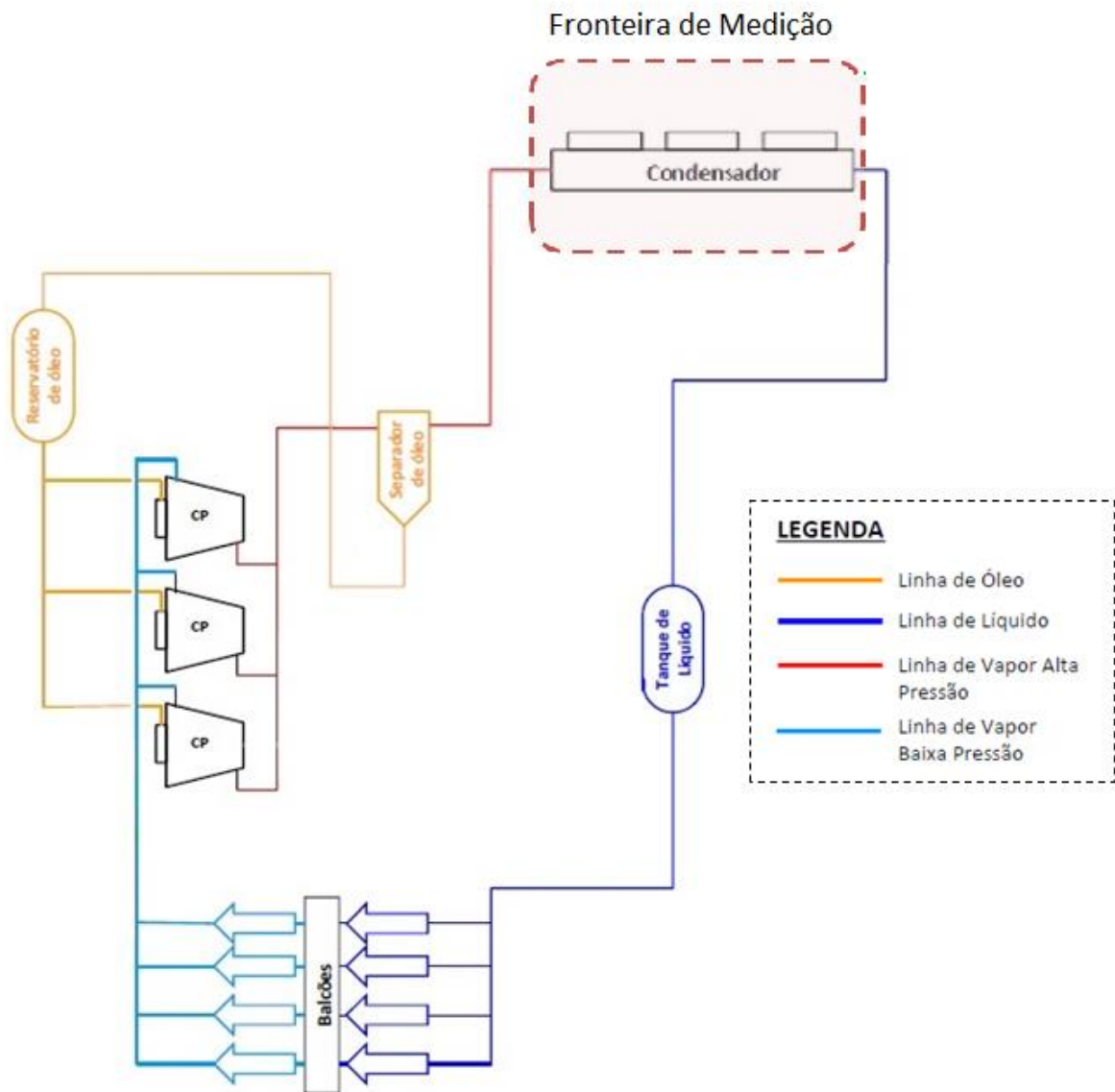


Figura 3.6 – Diagrama do sistema de refrigeração
Fonte: Autoria da ESCO

Este sistema de refrigeração possuía um CLP que, através de sensores de pressão instalados nas linhas de fluido refrigerante e sensores de temperatura abaixo dos condensadores, controlava o acionamento por estágios dos ventiladores de maneira discreta, ou seja, liga (100%) e desliga (0%). Quando ligado, um ventilador trabalhava na sua rotação nominal.

Todas as medições elétricas foram realizadas diretamente no painel elétrico de potência que alimentava os ventiladores, sendo possível medir simultaneamente o consumo energético de todos os 12 ventiladores, como se fossem uma carga única.

Para a realização de tais medições, utilizou-se um Analisador de Energia portátil, equipamento especialmente projetado para medições em sistemas de distribuição de energia elétrica, capaz de medir valores instantâneos, agregados e estatísticos das principais grandezas atribuídas para o monitoramento da qualidade da energia elétrica.

Adotando-se métodos baseados em normas internacionais, este tipo de equipamento é capaz de medir, com alta precisão, as grandezas elétricas básicas, tais como Tensão e Corrente Eficazes (True RMS). Potência, Demanda e Energia são internamente calculadas pelo próprio equipamento, sendo possível obter os valores separados em: Ativa, Reativa indutiva, Reativa Capacitiva, e Aparente.



Figura 3.7 – Analisador de Energia
Fonte: <http://www.ims.ind.br>

Como o objetivo deste projeto piloto era determinar a economia de energia do sistema afetado pela AEE, a opção do PIMVP escolhida foi a **Opção B: Medição de todos os parâmetros**.

A Figura 3.8 representa a Fronteira de Medição e suas variáveis:

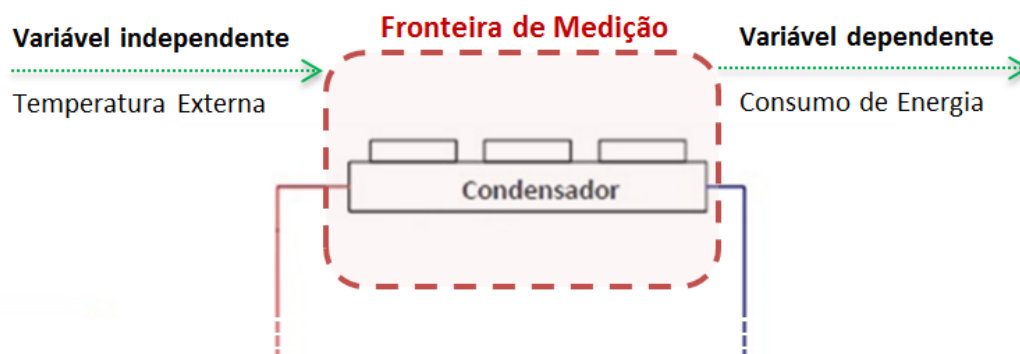


Figura 3.8 – Fronteira de medição
Fonte: Autoria da ESCO

Variável Independente

A Variável Independente adotada para este projeto foi a Temperatura Externa (temperatura do ar exterior), medida através de um sensor de temperatura instalado externamente, logo abaixo dos condensadores, local abrigado do sol e de chuva. Este sensor encontrava-se conectado diretamente ao CLP do sistema de refrigeração.

Por sua vez, o CLP do sistema de refrigeração, bem como outros equipamentos, encontrava-se conectado a um **Supervisório de Automação**, através de uma rede de automação.

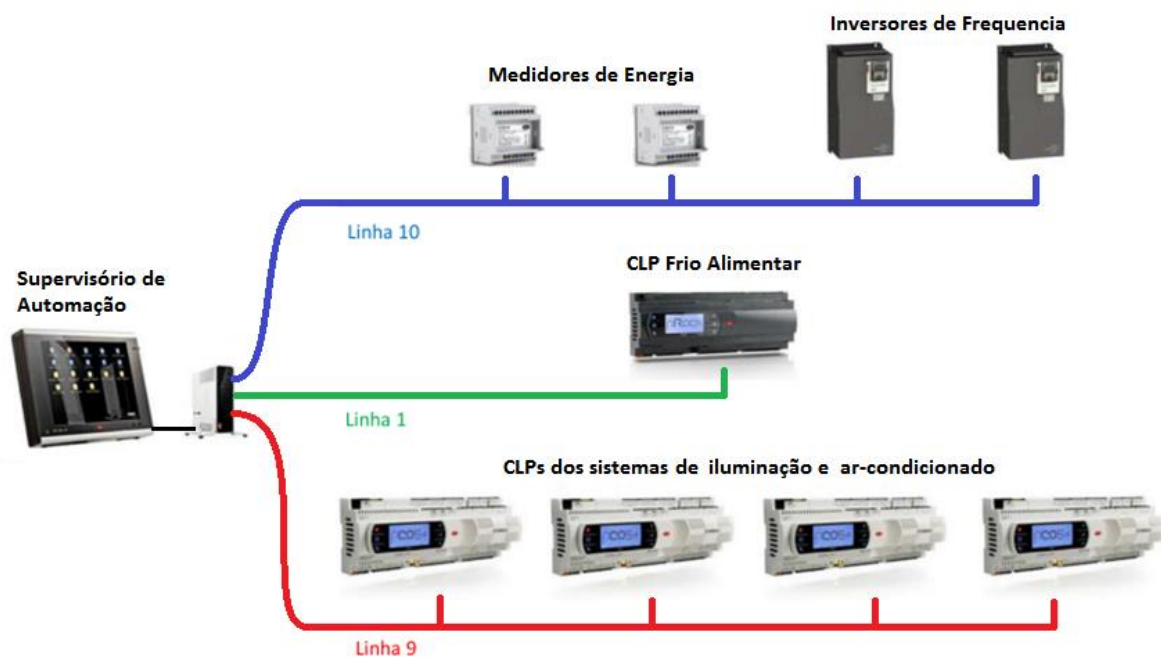


Figura 3.9 – Rede de automação
Fonte: Autoria da ESCO

O Supervisório foi parametrizado para coletar e registrar continuamente a temperatura do ar externo, medida através do sensor de temperatura em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), em um intervalo de integralização de 15 minutos.

Para as análises da relação entre a Temperatura Externa e o Consumo de Energia do sistema, foi adotado o **método do grau-dia**.

Aplicando este método ao projeto, o **grau-dia** (de resfriamento) representava a temperatura externa média (diária) acima da temperatura de referência adotada. Desta forma, quando a temperatura externa estava acima da referência, eram contados então os graus-dia de resfriamento.

Neste projeto, a temperatura de referência adotada foi de 0°C (zero grau Celsius), pois, com base nos conhecimentos técnicos da ESCO, estimou-se que este ponto poderia refletir o limite entre o uso e o não-uso dos condensadores do sistema de refrigeração.

Variável Dependente

A Variável Dependente adotada para este projeto foi o próprio Consumo de Energia Elétrica dos ventiladores.

Para tal, o analisador de energia foi parametrizado para registrar continuamente o fluxo de Energia Ativa, em quilowatt-hora (kWh), em um intervalo de integralização de 2 (dois) minutos.

Para as análises do consumo de energia o intervalo de interesse adotado foi de 1 (um) dia, obtidos a partir dos dados coletados e registrados.

3.3 Período da Linha de Base

O Período da Linha de Base adotado para este projeto piloto cobre um ciclo de funcionamento completo do sistema, desde o consumo máximo de energia ao mínimo, além de representar relativamente bem todas as condições de funcionamento de um ciclo de funcionamento normal do sistema.

O Período da Linha de Base está compreendido entre as datas 29/09/2016 e 18/10/2016, totalizando 20 dias corridos de medições. A Tabela 3.4 sumariza todos os dados de medição do Período da Linha de Base.

Com a plotagem simultânea destes dados em um gráfico, como visto na Figura 3.10, nota-se que existe uma forte relação entre a variação do Consumo de Energia com o Grau-dia registrado.

Esta análise antevê que possivelmente um modelo de regressão linear poderia ser encontrado para representar a correlação entre tais variáveis.

Tabela 3.4 – Medições do Período da Linha de Base

Linha de Base		
Período	Grau-dia	Consumo
29/09/2016	17,9 °C	215 kWh
30/09/2016	16,9 °C	215 kWh
01/10/2016	16,2 °C	210 kWh
02/10/2016	18,2 °C	218 kWh
03/10/2016	17,1 °C	227 kWh
04/10/2016	18,1 °C	222 kWh
05/10/2016	18,0 °C	226 kWh
06/10/2016	18,7 °C	222 kWh
07/10/2016	16,7 °C	213 kWh
08/10/2016	19,9 °C	224 kWh
09/10/2016	18,2 °C	226 kWh
10/10/2016	17,6 °C	222 kWh
11/10/2016	18,2 °C	224 kWh
12/10/2016	20,5 °C	245 kWh
13/10/2016	21,1 °C	240 kWh
14/10/2016	21,3 °C	242 kWh
15/10/2016	22,6 °C	260 kWh
16/10/2016	25,1 °C	290 kWh
17/10/2016	25,8 °C	288 kWh
18/10/2016	25,4 °C	289 kWh

Fonte: Autoria da ESCO

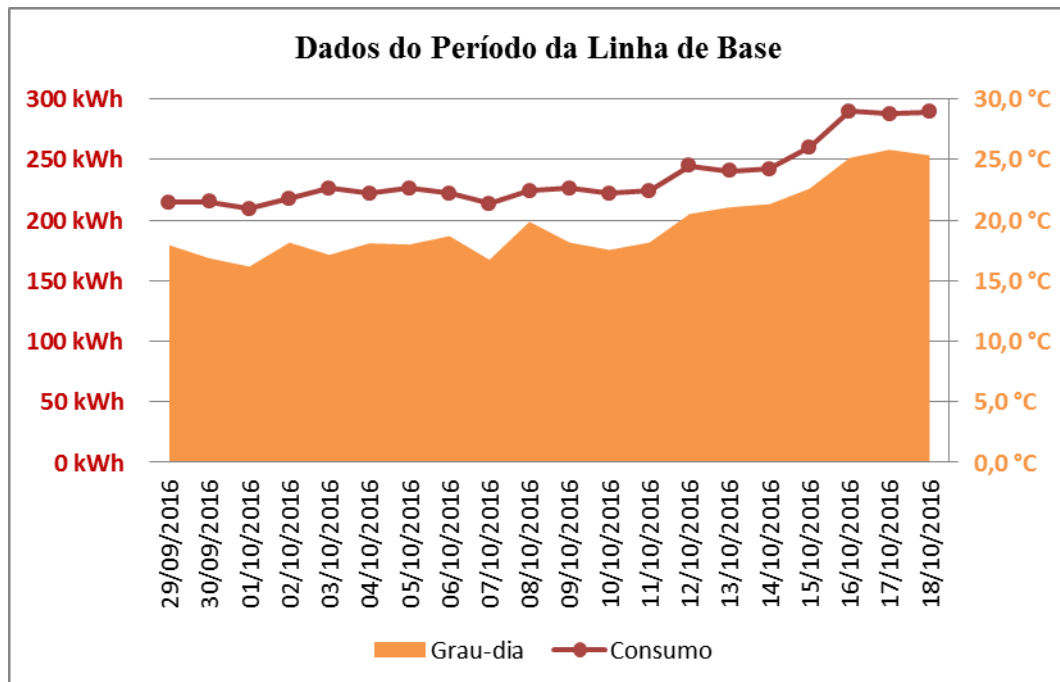


Figura 3.10 – Dados do Período da Linha de Base

Fonte: Autoria da ESCO

3.4 Modelo da Linha de Base

A partir dos dados medidos, registrados e coletados, aplicando-se técnicas de regressão linear, foi possível obter-se uma excelente correlação entre o Consumo de Energia dos ventiladores e o grau-dia.

Observa-se na Figura 3.11 que uma função linear pode ser encontrada através do uso da uma função no Microsoft Excel®, chamada **Linha de Tendência**.

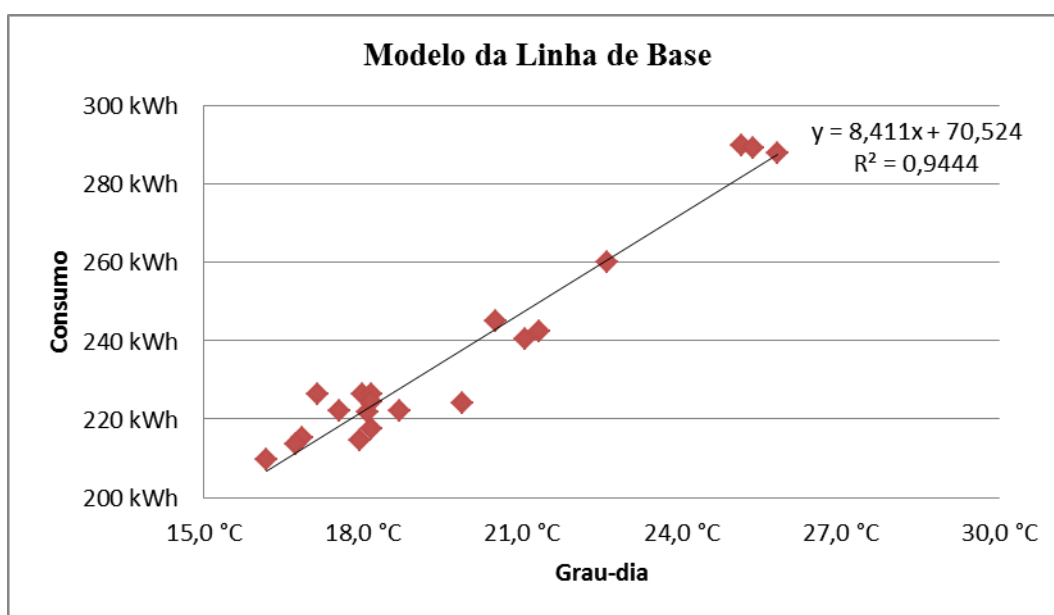


Figura 3.11 – Modelo da Linha de Base
Fonte: Autoria da ESCO

Equação linear encontrada pela função Linha de Tendência:

$$y = 8,411 \cdot x + 70,524 \quad (3.1)$$

$$R^2 = 0,9444 \quad (3.2)$$

Onde:

y : variável dependente, o consumo de energia;

x : variável independente, o grau-dia;

R^2 : Coeficiente de Determinação;

A função **Linha de Tendência** retorna valores em uma tendência linear, usando o método de quadrados mínimos, assim como a função **PROJ.LIN**, cujos valores encontrados são mostrados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Valores da função PROJ.LIN

Matriz da Função PROJ.LIN			
m →	8,411	70,524	← b
	0,48	9,56	
R² →	0,94	6,27	
	305,82	18,00	
	12014,87	707,17	

Fonte: Autoria da ESCO

Onde:

m : coeficiente da variável independente;

b : coeficiente fixo, não relacionado com a variável independente;

R²: Coeficiente de Determinação;

Pelos métodos de regressão linear citados anteriormente, foi possível encontrar uma função linear que representasse, com um bom nível de precisão, a variação do consumo de energia em relação à variável independente (grau-dia).

Este, então, foi o **Modelo da Linha de Base** adotado para o projeto:

$$y = 8,411.x + 70,524 \quad (3.3)$$

Onde:

y : variável dependente, o consumo de energia;

x : variável independente, o grau-dia;

8,411: coeficiente da variável independente;

70,524 : coeficiente fixo, não relacionado com a variável independente;

Com este modelo, foi então possível prever o Consumo de Energia para cada valor de grau-dia encontrado posteriormente no Período de Determinação de Economia.

3.5 Período de Determinação da Economia

O Período de Determinação da Economia escolhido para este projeto, assim como o período da linha de base, contempla um período de tempo suficientemente longo para

caracterizar completamente a eficácia da economia em todos os modos de funcionamento normais do sistema.

O Período da Determinação da Economia está compreendido entre as datas 22/11/2016 e 11/12/2016, totalizando 20 dias corridos de medições.

Tabela 3.6 – Medições do Período de Determinação da Economia

Período de Determinação da Economia		
Período	Grau-dia	Consumo
22/11/2016	20,1 °C	24 kWh
23/11/2016	21,1 °C	32 kWh
24/11/2016	22,2 °C	33 kWh
25/11/2016	22,4 °C	39 kWh
26/11/2016	22,4 °C	41 kWh
27/11/2016	23,8 °C	55 kWh
28/11/2016	24,0 °C	88 kWh
29/11/2016	20,9 °C	96 kWh
30/11/2016	16,9 °C	89 kWh
01/12/2016	18,3 °C	63 kWh
02/12/2016	21,4 °C	49 kWh
03/12/2016	22,2 °C	67 kWh
04/12/2016	22,2 °C	57 kWh
05/12/2016	20,4 °C	48 kWh
06/12/2016	22,0 °C	47 kWh
07/12/2016	22,6 °C	54 kWh
08/12/2016	24,0 °C	58 kWh
09/12/2016	23,6 °C	64 kWh
10/12/2016	23,7 °C	69 kWh
11/12/2016	22,9 °C	61 kWh

Fonte: Autoria da ESCO

3.6 Cálculo das Economias

Aplicando-se o Modelo da Linha de Base do projeto (Equação 3.3) aos valores de grau-dia encontrados durante o Período de Determinação da Economia, foi possível então estimar qual seria o Consumo de Energia durante este mesmo período se não tivesse sido implementada a AEE.

O conjunto destes valores calculados, denominado **Linha de Base Ajustada**, está representado na Tabela 3.7:

Tabela 3.7 – Linha de Base Ajustada

Linha de Base Ajustada		
Período	Grau-dia	Consumo
22/11/2016	20,1 °C	240 kWh
23/11/2016	21,1 °C	248 kWh
24/11/2016	22,2 °C	257 kWh
25/11/2016	22,4 °C	259 kWh
26/11/2016	22,4 °C	259 kWh
27/11/2016	23,8 °C	271 kWh
28/11/2016	24,0 °C	272 kWh
29/11/2016	20,9 °C	246 kWh
30/11/2016	16,9 °C	212 kWh
01/12/2016	18,3 °C	225 kWh
02/12/2016	21,4 °C	251 kWh
03/12/2016	22,2 °C	257 kWh
04/12/2016	22,2 °C	258 kWh
05/12/2016	20,4 °C	242 kWh
06/12/2016	22,0 °C	256 kWh
07/12/2016	22,6 °C	260 kWh
08/12/2016	24,0 °C	272 kWh
09/12/2016	23,6 °C	269 kWh
10/12/2016	23,7 °C	269 kWh
11/12/2016	22,9 °C	263 kWh

Fonte: Autoria da ESCO

Segundo PIMVP, quando uma Economia é reportada sob as condições do período de determinação da economia, esta também pode ser denominada Consumo de Energia Evitado do período de determinação da economia.

O consumo de energia evitado quantifica a Economia no período de determinação da economia, relativamente ao consumo de energia que teria sido registrado sem a AEE.

Para se reportar esta Economia, aplica-se a seguinte equação:

$$\textbf{Economia} = \textbf{Consumo da LBA} - \textbf{Consumo do PDE} \pm \textbf{Ajustes} \quad (3.4)$$

Onde:

LBA : Linha de Base Ajustada;

PDE : Período de Determinação da Economia;

Ajustes : Ajustes não de rotina do consumo da linha de base às condições do período de determinação da economia;

Como durante as medições do projeto não houve alteração nos fatores estáticos dentro da fronteira de medição, logo não foi necessário realizar Ajustes não de rotina.

Consequentemente, a Economia reportada foi encontrada conforme Tabela 3.8:

Tabela 3.8 – Economia (Consumo evitado de energia)

Período de Determinação da Economia			Linha de Base Ajustada
Período	Grau-dia	Consumo	Consumo
22/11/2016	20,1 °C	24 kWh	240 kWh
23/11/2016	21,1 °C	32 kWh	248 kWh
24/11/2016	22,2 °C	33 kWh	257 kWh
25/11/2016	22,4 °C	39 kWh	259 kWh
26/11/2016	22,4 °C	41 kWh	259 kWh
27/11/2016	23,8 °C	55 kWh	271 kWh
28/11/2016	24,0 °C	88 kWh	272 kWh
29/11/2016	20,9 °C	96 kWh	246 kWh
30/11/2016	16,9 °C	89 kWh	212 kWh
01/12/2016	18,3 °C	63 kWh	225 kWh
02/12/2016	21,4 °C	49 kWh	251 kWh
03/12/2016	22,2 °C	67 kWh	257 kWh
04/12/2016	22,2 °C	57 kWh	258 kWh
05/12/2016	20,4 °C	48 kWh	242 kWh
06/12/2016	22,0 °C	47 kWh	256 kWh
07/12/2016	22,6 °C	54 kWh	260 kWh
08/12/2016	24,0 °C	58 kWh	272 kWh
09/12/2016	23,6 °C	64 kWh	269 kWh
10/12/2016	23,7 °C	69 kWh	269 kWh
11/12/2016	22,9 °C	61 kWh	263 kWh
Consumo da LBA:			5.087 kWh
Consumo do PDE:			1.133 kWh
Ajustes:			-
Economia:			3.954 kWh
Redução do Consumo:			78%

Fonte: Autoria da ESCO

Portanto, de acordo com a **Opção B do PIMVP**, foi possível reportar uma Economia de Energia durante o PDE de **3.954 kWh**, o que representou uma redução de **78%** no consumo de energia nos ventiladores.

3.7 Análise de Viabilidade Econômica

De acordo com as premissas do PIMVP, a Economia avaliada segundo a Opção B do PIMVP apenas pode ser reportada para o Período de Determinação de Economia descrita no Plano de M&V.

Como neste projeto o PDE se resume a apenas 20 dias de medições, a economia obtida neste período (3.954 kWh) seria insuficiente para se viabilizar economicamente o projeto ao longo de todo seu ciclo de vida.

Entretanto, os resultados obtidos no projeto serviram de base para uma estimativa da Economia de Energia ao longo prazo, permitindo calcular os benefícios econômicos ao cliente, justificando assim o investimento financeiro do projeto.

Para esta análise de viabilidade econômica, algumas premissas importantes foram adotadas e acordadas entre a ESCO e o cliente, tais como:

- ✓ O Modelo da Linha de Base adotado no projeto poderia ser aplicado para toda a extensão da faixa de variação da temperatura externa do estabelecimento, ao longo de um ano completo;
- ✓ O ano-base escolhido para esta análise foi o de 2016;
- ✓ A Redução do Consumo de energia com a aplicação da AEE seria em média de 78% durante todo o ano-base, independente da variação da temperatura externa;
- ✓ O Custo médio da energia elétrica (com impostos) durante o ano-base de 2016 seria de **R\$ 0,4141 por kWh;**
- ✓ A vida útil adotada para o projeto seria igual a **8 anos;**
- ✓ O investimento total do projeto seria estimado em **R\$ 65.000,00;**
- ✓ A taxa de desconto para o projeto seria de **8% ao ano;**

A partir dos dados coletados do **Supervisório de Automação** existente, o qual possuía o registro contínuo dos valores de temperatura externa do estabelecimento, e aplicando o Modelo da Linha de Base, foi possível estimar o consumo dos ventiladores, sem a aplicação da AEE, durante todo o **ano-base 2016**, conforme representado na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Consumo Anual (ano-base 2016)

Consumo de Energia para o ano-base 2016		
Mês	Soma dos Graus-dia	Soma dos Consumos diários
janeiro-16	688 °C	7.977 kWh
fevereiro-16	695 °C	7.890 kWh
março-16	697 °C	8.047 kWh
abril-16	700 °C	8.001 kWh
maio-16	542 °C	6.742 kWh
junho-16	441 °C	5.827 kWh
julho-16	535 °C	6.687 kWh
agosto-16	536 °C	6.693 kWh
setembro-16	523 °C	6.518 kWh
outubro-16	597 °C	7.208 kWh
novembro-16	598 °C	7.144 kWh
dezembro-16	676 °C	7.798 kWh
Consumo Total:		86.533 kWh

Fonte: Autoria da ESCO

Aplicando a Redução do Consumo de energia de 78% durante o ano-base, tem-se:

Tabela 3.10 – Economia Anual (ano-base 2016)

Economia de Energia para o ano-base 2016	
Consumo Total:	86.533 kWh
Redução do Consumo:	78%
Economia (consumo evitado): 67.254 kWh	

Fonte: Autoria da ESCO

Portanto, estimou-se que, com a aplicação da AEE, a Economia de Energia do estabelecimento durante um ano completo (ano-base 2016) seria de **67.254 kWh**.

Na sequência, aplicando-se as premissas financeiras, o Benefício Econômico Anual obtido foi de **R\$ 27.849,68**.

Tabela 3.11 – Benefício Anual

Benefício Econômico do Projeto	
Economia anual:	67.254 kWh
Custo médio da energia elétrica:	R\$ 0,4141 / kWh
Benefício Anual:	R\$ 27.849,68

Fonte: Autoria da ESCO

Utilizando agora todas as variáveis financeiras, foi possível realizar a análise econômica mostrada na Tabela 3.12.

Tabela 3.12 – Análise financeira

Variáveis financeiras		Resultados	
Benefício anual	R\$ 27.849,68	Payback Simples	2,3 anos
Investimento	R\$ 65.000,00	Payback Descontado	2,7 anos
Taxa de Desconto	8%	TIR	40%
Ciclo de vida	8,0 anos	VPL	R\$ 95.042,05

Fonte: Autoria da ESCO

Tabela 3.13 – Fluxos de caixa

Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo Descontado	Fluxo Acumulado
0	-R\$ 65.000,00		-R\$ 65.000,00
1	R\$ 27.849,68	R\$ 25.786,74	-R\$ 39.213,26
2	R\$ 27.849,68	R\$ 23.876,61	-R\$ 15.336,65
3	R\$ 27.849,68	R\$ 22.107,97	R\$ 6.771,33
4	R\$ 27.849,68	R\$ 20.470,35	R\$ 27.241,67
5	R\$ 27.849,68	R\$ 18.954,02	R\$ 46.195,70
6	R\$ 27.849,68	R\$ 17.550,02	R\$ 63.745,72
7	R\$ 27.849,68	R\$ 16.250,02	R\$ 79.995,74
8	R\$ 27.849,68	R\$ 15.046,32	R\$ 95.042,05

Fonte: Autoria da ESCO

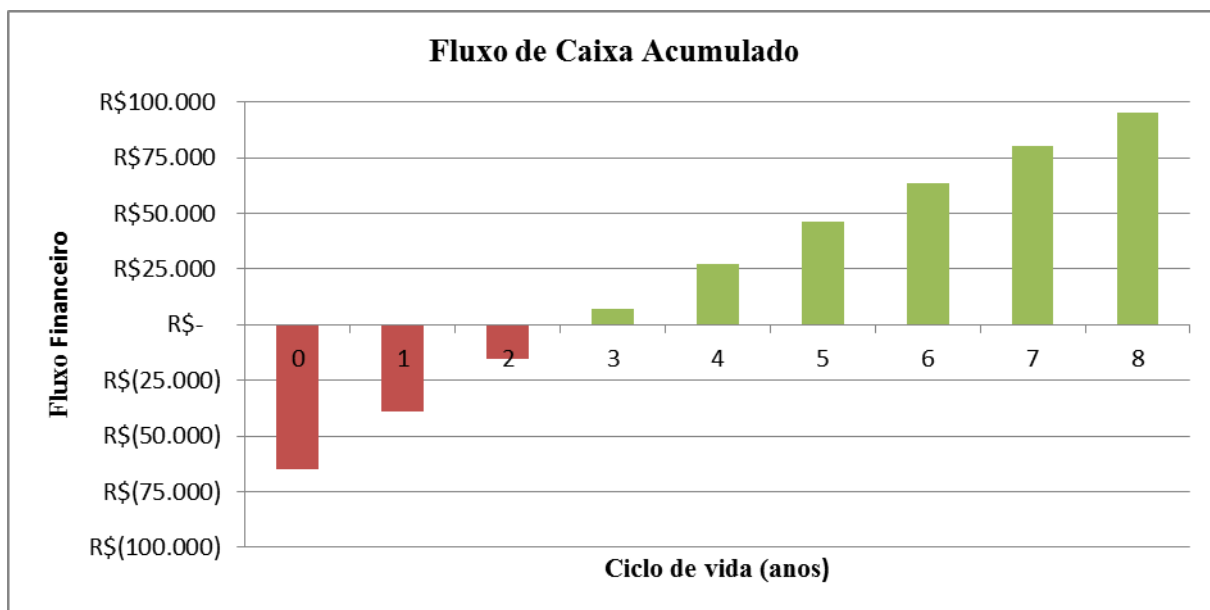


Figura 3.12 – Fluxo de caixa acumulado

Fonte: Autoria da ESCO

Como pode se observado na Tabela 3.12, o tempo de recuperação do capital investido neste projeto seria menor do que 3 anos, o que para muitas empresas do setor representa um bom indicador de viabilidade econômica.

3.8 Análise Complementar

Além da análise de viabilidade econômica, uma outra análise foi realizada do ponto de vista energético, com base nos dados coletados do Supervisório de Automação. Neste Supervisório encontravam-se conectados um medidor de energia que registrava o consumo total do sistema de refrigeração (frio alimentar), e o medidor de energia total do estabelecimento (medidor da concessionária). A partir destes dados, os consumos de energia encontrados para o **ano-base 2016** foram:

- ✓ Consumo anual total do estabelecimento: **3.053.736 kWh**
- ✓ Consumo anual total da refrigeração: **968.817 kWh**

Com estes valores, e com o Consumo Total estimado dos ventiladores para o ano-base 2016 (**86.533 kWh**), foi então possível definir as participações percentuais entre os consumos, conforme mostrado na Tabela 3.14:

Tabela 3.14 – Participações nos Consumos

Participação no Consumo da Refrigeração		
Consumo Ventiladores	86.533 kWh	8,9%
Consumo Refrigeração	968.817 kWh	100%
Participações no Consumo Total		
Consumo Ventiladores	86.533 kWh	2,8%
Consumo Refrigeração	968.817 kWh	31,7%
Consumo Total	3.053.736 kWh	100%

Fonte: Autoria da ESCO

De forma similar, também foi calculada a participação da Economia da AEE (ano-base 2016), em relação aos consumos, como mostra a Tabela 3.15:

Tabela 3.15 – Redução nos Consumos

Economia da AEE	Redução nos Consumos		
	Ventiladores	Refrigeração	Total
67.254 kWh	78%	7%	2%

Fonte: Autoria da ESCO

Em suma, esta análise complementar mostra o impacto que a AEE pode representar dentro do consumo do sistema de refrigeração do estabelecimento, e também do consumo total.

3 CONCLUSÃO

Como o objetivo principal deste trabalho era determinar os ganhos energéticos resultantes da aplicação de ventiladores EC em um sistema de refrigeração comercial, certamente é razoável atestar que este objetivo foi atingido de maneira satisfatória, uma vez que todos os benefícios anteriormente declarados pelo fabricante dos ventiladores EC, como por exemplo os ganhos construtivos e os ganhos com a variação de velocidade, foram constatados e quantificados neste projeto na forma de economia de energia elétrica.

Adotando-se as boas práticas de Medição & Verificação descritas no PIMVP, a real economia de energia deste projeto de eficiência energética, durante o Período de Determinação da Economia, foi de 78% sobre o consumo total de eletricidade dos ventiladores.

Adicionalmente, com a aplicação de algumas premissas financeiras, acordadas com o cliente, foi possível também verificar a viabilidade econômica deste projeto, o qual se revelou ser um investimento muito interessante quando avaliado sob a perspectiva do tempo de recuperação do capital.

Após a comprovação dos resultados deste projeto, a ESCO autora desta iniciativa incluiu então mais esta solução em seu portfólio de ações de eficiência energética, aprimorando assim sua base para futuros projetos de eficiência energética em clientes do setor comercial varejista.

Desta maneira, além ter sido possível comprovar a eficiência energética dos ventiladores EC, quando aplicados a sistema de refrigeração comercial, o PIMVP também provou ser uma excelente ferramenta para a validação dos resultados de projetos de eficiência energética desta natureza.

Como sugestão para trabalhos futuros, a aplicação dos ventiladores EC em outros tipos de sistemas, como por exemplo na climatização de ambientes, presumivelmente pode ser uma alternativa viável para se economizar energia. De modo igual, as boas práticas do PIMVP indubitavelmente podem ser aplicadas para a determinação dos resultados.

REFERÊNCIAS

ABESCO – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

ABRAS - Associação Brasileira de Supermercados. Disponível em: <<http://www.abras.com.br>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

AKATU – Consumo consciente para um futuro sustentável. Disponível em: <<https://www.akatu.org.br>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

ALTHOUSE, A. D.; TURNQUIST, C. H.; BRACCIANO, A. F. **Modern Refrigeration and Air Conditioning**. 18th Edition. Goodheart-Wilcox Publishing, 2003.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Guia de M&V**. Programa de Eficiência Energética, 2013. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Revista de Eficiência Energética**. 3ª Edição. Programa de Eficiência Energética, 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

APPLIANCE DESIGN. Disponível em: <<https://www.appliancedesign.com>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

ASHRAE - American Society of Heating, Ventilating. **An Annotated Guide to Models and Algorithms for Energy Calculations Relating to HVAC Equipment**. Atlanta, Georgia, 1989.

ASHRAE - American Society of Heating, Ventilating. **Guideline 14-2002, Measurement of Energy and Demand Savings**. Atlanta, Georgia, 2002.

ASHRAE - American Society of Heating, Ventilating. **Handbook: Fundamentals, Chapter 32 - "Energy Estimating and Modeling Methods"**. Atlanta, Georgia, 2005.

BITZER. Disponível em: <<https://www.bitzer.de/br>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

BRASIL. **Lei 10.295, de 17.out.2001 – “Lei de Eficiência Energética”**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 5ª Edição. McGraw-Hill, Inc., 2006.

DANFOSS. Disponível em: <<http://www.danfoss.com.br>> Acesso em: 05 ago. 2017.

EBMPAPST. Disponível em: <<http://www.ebmpapst.com.br>> Acesso em: 05 ago. 2017.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2016 – Relatório Final**. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2017 – Relatório Síntese**. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Nota Técnica DEA 12/16 - Avaliação da Eficiência Energética e Geração Distribuída para os próximos 10 anos (2015-2024)**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/mercado>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/PNE>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

EVO – Efficiency Valuation Organization. **PIMVP – Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance**. Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água - Volume 1, 2012. Disponível em: <<http://www.evo-world.org>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

FERRAZ, F. **Apostila de Refrigeração**. Curso de Eletromecânica, CEFET, 2008. Disponível em: <<https://fabioferrazdr.wordpress.com/refrigeracaabout>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

FRIIO PLUS. Disponível em: <<http://www.frioplus.com.br>> Acesso em: 05 ago. 2017.

HEATCRAFT. Disponível em: <<http://www.heatcraft.com.br>> Acesso em: 05 ago. 2017.

IEA – International Energy Agency. Disponível em: <<http://www.iea.org>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

IMS. Disponível em: <<http://www.ims.ind.br>> Acesso em: 05 ago. 2017.

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. Disponível em: <<http://www.inee.org.br>>. Acesso em: 05 ago. 2017.

ISO - International Organization for Standardization. **ISO 50001 - Energy management**. Disponível em: <<https://www.iso.org>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

ISO - International Organization for Standardization. **ISO 50015:2014 - Energy management systems -- Measurement and verification of energy performance of organizations -- General principles and guidance**. Disponível em: <<https://www.iso.org>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

MATOS, R. S. **Disciplina TM 182 - Refrigeração e Climatização**. Departamento de Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia da UFPR, 2016. Disponível em: <<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM250/Refrigeracao>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Matriz Energética Brasileira 2030**. Disponível em: <<https://www.mme.gov.br>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. 4ª Edição. LTC Editora, 2002.

NUNES, M. **Disciplina TM 120 - Ventiladores**. Departamento de Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia da UFPR, 2010. Disponível em: <<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

PÉREZ, N. P. **SFM - Sistemas Fluidomecânicos - Aula 23**. FEG/UNESP, 2014. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/#!/paginas-pessoais/energia/nestor-proenza-perez/sfm-sistemas-fluidomecanicos>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

REFRIO. Disponível em: <<http://www.refrio.com>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

SBVC – Sociedade Brasileira de Varejo e Consumo. Disponível em: <<http://sbvc.com.br>> . Acesso em: 05 ago. 2017.

SIMÕES MOREIRA, J. R. **Aplicações da Termodinâmica**. Apostila Versão 2.3. SISEA - Laboratório de Sistemas Energéticos Alternativos, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da USP, 2010.

SONNTAG, R. E.; BORGNAKKE, C.; VAN WYLEN, G. J. **Fundamentos da Termodinâmica**. 6ª Edição. Edgar Blucher-SP, 2003.

STOECKER, W. F.; SAIZ JABARDO, J. M. **Refrigeração Industrial**. 2ª Edição. Editora Edgard Blucher Ltda., 2002.

ZIEHL-ABEGG. Disponível em: <<https://www.ziehl-abegg.com>> Acesso em: 05 ago. 2017.