



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

FELIPE AUGUSTO DA SILVA MENDONÇA

**ESTIMAÇÃO DA POPULAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS INDUSTRIAIS NO
BRASIL PARA POTÊNCIAS INTEGRAIS ACIMA DE 1 CV**

MOSSORÓ - RN

2020

FELIPE AUGUSTO DA SILVA MENDONÇA

**ESTIMAÇÃO DA POPULAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS INDUSTRIAIS NO
BRASIL PARA POTÊNCIAS INTEGRAIS ACIMA DE 1CV**

Projeto de Engenharia Elétrica apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Victor de Paula Brandão
Aguar

MOSSORÓ - RN

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M539e Mendonça, Felipe Augusto da Silva.
Estimação da População de Motores Elétricos
Industriais no Brasil Para Potências Integrais
Acima de 1 CV / Felipe Augusto da Silva Mendonça. -
2020.
41 f. : il.

Orientador: Victor de Paula Brandão Aguiar
Aguiar.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2020.

1. Motores Elétricos. 2. Eficiência
Energética. 3. Previsão de Vendas. 4. Saldo
líquido de motores. I. Aguiar, Victor de Paula
Brandão Aguiar, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

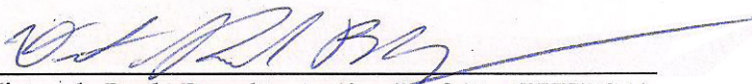
FELIPE AUGUSTO DA SILVA MENDONÇA

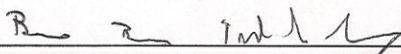
**ESTIMAÇÃO DA POPULAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS INDUSTRIAIS NO
BRASIL PARA POTÊNCIAS INTEGRAIS ACIMA DE 1CV**

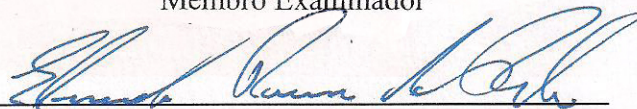
Projeto de Engenharia Elétrica apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Defendida em: 07 / 02 / 2020.

BANCA EXAMINADORA


Victor de Paula Brandão Aguiar, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente


Breno Barros Telles do Carmo, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador


Ednardo Pereira da Rocha, Prof. Me. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

A Deus, por nunca ter me desamparado, dando saúde, entendimento, força e paciência para superar as dificuldades.

Aos meus pais, em especial minha mãe, e a toda família que sempre acreditou na realização deste trabalho e deram-me forças e estímulo para prosseguir.

Ao meu orientador Victor de Paula Brandão Aguiar pela atenção, apoio e por todo o suporte dado.

Aos meus amigos, em especial: ao meu futuro sócio Jairton Filho, que sempre ajudou a tornar os dias difíceis mais leves.

A minha namorada, pelo apoio constante e pelo suporte dado, nunca me deixando desanimar.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente e fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

É necessário sempre acreditar que o sonho é possível, que o céu é o limite e você, truta, é imbatível, que o tempo ruim vai passar, é só uma fase, que o sofrimento alimenta mais a sua coragem.

Mano Brown

RESUMO

Levando em consideração o grande desconhecimento dos órgãos governamentais acerca da população de motores no Brasil, bem como do seu desempenho energético, tem-se a necessidade de estimar a população de motores no país. Assim, o presente trabalho tem como objetivo estimar a população de motores elétricos industriais no Brasil para potências acima de 1 cv, para isso foi construído um histórico nacional de vendas de motores elétricos, utilizando-se de dados da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) e um método de previsão de demanda para obter os dados de vendas no ano de 2019. A partir dos dados de vendas e dos dados anuais de motores no fim da sua vida útil, foi determinado o saldo líquido de motores elétricos. Através do cálculo do saldo líquido de motores e das comparações feitas, foi verificado que os valores encontrados de população para o ano de 2005 foi de aproximadamente 9,2 milhões de unidades, em 2012 o valor era de aproximadamente 16,3 milhões de unidades, um ano depois, o valor foi para 17,7 milhões de unidades e no ano de 2018 o foi de 22,6 milhões de motores, um valor que se aproxima do valor citado por Souza *et al* (2019).

Palavras-chave: Motores elétricos. Eficiência energética. Previsão de vendas. Saldo líquido de motores.

ABSTRACT

Taking into account the great ignorance of government agencies about the population of motors in Brazil, as well as their energy performance, there is a need to estimate the population of motors in the country. The present work aims to estimate the population of industrial electric motors in Brazil for powers above 1 hp, where a national history of sales of electric motors was built, using data from the Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) and a demand forecasting method to obtain sales data for the year 2019. From the sales data and annual motor data at the end of their useful life, the net balance of electric motors was determined. Through the calculation the net balance of motors population and comparisons made, it was found that the values for the population in 2005 were approximately 9.2 million units, in 2012 or more approximately 16.3 million units, one year later, the value was 17.7 million units and, in 2018, it was 22.6 million motors, a value that approximates the value cited by Souza et al (2019).

Keywords: Electric motors. Energy efficiency. Sales forecast. Motors net balance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de motores elétricos	16
Figura 2 - Fluxograma metodológico	23
Figura 3 – Vendas de motores de 1980 a 2003.....	24
Figura 4 – Processo de Escolha do Método de Previsão de Demanda	28
Figura 5 – Histórico de vendas de 1980 a 2006	29
Figura 6 – Número Real de Motores Vendidos X Previsão de Vendas	31
Figura 7 – Diagrama Explicativo da Equação 5	32
Figura 8 - Saldo Líquido X População Segundo Autores	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise do consumo de motores elétricos por Setor no Brasil	19
Tabela 2 – Vendas de motores elétricos no Brasil de 1989 a 2000	24
Tabela 3 – Histórico de vendas de motores trifásicos de 1990 a 2006.....	25
Tabela 4 – Estimativa do número de motores em operação na indústria brasileira	26
Tabela 5 – Porcentagem de cada faixa de potência	27
Tabela 6 – Histórico de vendas de motores elétricos por faixa potência	27
Tabela 7 – Histórico de vendas de motores elétricos de 1994 a 2006.....	30
Tabela 8 – Histórico de Vendas Obtido Através de Regressão Múltipla	30
Tabela 9 – Histórico de Vendas de Motores de 2007 a 2019 Por Faixa de Potência	31
Tabela 10 – Vida Útil de Motores Elétricos por Faixa de Potência	33
Tabela 11 – Histórico de Vendas de Motores Elétricos no Brasil de 1980 a 2019	34
Tabela 12 – Saídas de Motores Elétricos por Vida Útil	35
Tabela 13 – Saldo Líquido de Motores Elétricos no Brasil.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	MOTORES ELÉTRICOS	15
3.1.1	Tipos Mais Comuns de Motores Elétricos	15
3.1.2	Motores na Indústria	17
3.1.3	Mercado de Motores Elétricos no Brasil	18
3.2	PREVISÃO DE DEMANDA	19
3.2.1	Técnicas de Previsão de Demanda	20
3.2.2	Análise de Regressão	20
4	METODOLOGIA.....	23
4.1	SELEÇÃO DOS DADOS	23
4.1.1	Histórico de Vendas de Motores Elétricos.....	23
4.1.2	População de Motores no Brasil	25
4.2	TRATAMENTO DOS DADOS	27
4.3	OBTENÇÃO DO SALDO LÍQUIDO DE MOTORES NO BRASIL	32
4.3.1	População de Motores Utilizada	32
4.3.2	Histórico de Vendas de Motores Elétricos.....	33
4.3.3	Motores no Fim da Sua Vida Útil.....	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1 INTRODUÇÃO

Com o crescente avanço tecnológico e o grande crescimento populacional, a preocupação com a economia de energia é uma realidade em diversas partes do mundo e no Brasil não é exceção, tendo o Ministério de Minas e Energia (MME) como um dos órgãos responsáveis pela regulamentação e tomadas de decisões acerca do aumento nos níveis de eficiência energética. Diante desse cenário, questões ambientais, como a sustentabilidade e a utilização dos recursos naturais, estão cada vez mais em pauta, sendo ao longo dos últimos anos, criadas várias regulamentações e normas dentre essas pode-se destacar as relacionadas à eficiência energética.

O Ministério de Minas e Energia em conjunto com a Empresa de Pesquisa Energética (2010) definem eficiência energética como a relação entre um serviço realizado e um bem produzido e a quantidade de energia final utilizada. Quanto maior o gasto energético final para produzir uma determinada quantidade de um bem ou serviço, menos eficiente é a produção. Assim, é nítido que a eficiência deve ser associada a uma quantidade efetiva de energia final utilizada. Para mais, o conceito de eficiência energética pode ser aplicado não só a manufatura de produtos, onde há um bem físico cujo conteúdo energético pode ser claramente delimitado, como também a serviços, na qual se deve considerar a energia requerida para prestação de serviço.

Motores de indução, em geral são grandes responsáveis pela conversão de energia elétrica em energia mecânica nos diversos setores industriais, dada sua versatilidade e durabilidade. Estima-se que os motores elétricos no Brasil são responsáveis por cerca de 30% de toda a energia elétrica consumida no país. Andrade (2017) afirma que ao se analisar o setor industrial esse percentual de energia elétrica consumida chega a ser de 68%. Estes equipamentos são fabricados para uso em ventiladores, bombas hidráulicas, compressores de ar, elevadores e etc, podendo ser comercializados se atender aos índices de eficiência mínimos definidos pelo INMETRO (SOUZA *et al*, 2019).

Os motores de indução trifásicos (MIT) são máquinas intrinsecamente eficientes, porém em todo o globo, como os mesmos são dotados de um grande potencial para conservação de energia, acabam se tornando foco de estudo para consolidar várias ações na busca de uma maior eficiência no consumo de energia elétrica. Diversos países procuram trabalhar seus potenciais econômicos em sistemas que envolvem motores de diversas formas, seja através da adoção de padrões mínimos de eficiência, até adoção de normas mais rígidas (SANTOS, 2005).

Sabendo que ao conhecer a população de motores elétricos no Brasil, tem-se a possibilidade de mensurar a quantidade de energia elétrica consumida pelos motores elétricos trifásicos e tendo em mente a porcentagem de consumo de energia elétrica advinda dos motores elétricos no país, e levando em consideração os benefícios da aplicação das políticas de eficiência energética e do potencial dos motores para a aplicação dessas políticas somado ao grande desconhecimento, tanto dos órgãos governamentais, quanto das entidades privadas interessadas acerca da população de motores no Brasil bem como do desempenho energético dos mesmos, torna-se relevante estimar a população de motores elétricos no país.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estimar a população de motores no Brasil por meio de um método de previsão de demanda que leva em consideração as entradas (vendas) e as saídas (fim da vida útil) dos motores elétricos no mercado brasileiro, considerando os motores na faixa de potência integral, com potências acima de 1 cv.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar um método quantitativo de previsão de demanda para obter o número de vendas de motores;
- Apresentar uma fórmula para cálculo do saldo líquido de motores por ano no Brasil;
- Obter o saldo líquido da população de motores elétricos no Brasil.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

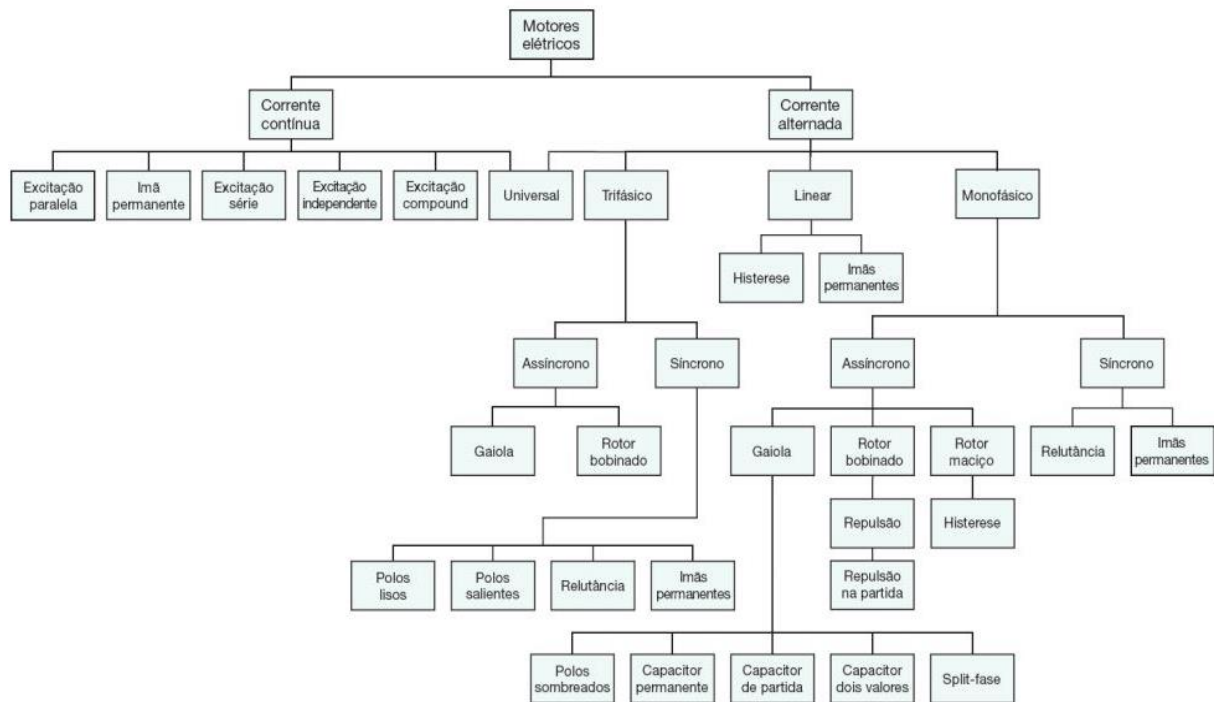
Nesta seção será apresentado todo o embasamento teórico necessário para a realização do presente trabalho. Inicialmente, será dada uma breve introdução sobre motores de indução, bem como seus tipos mais comuns, além de apresentar um panorama dos motores na indústria e do mercado brasileiro de motores. Posteriormente será feita uma introdução acerca dos métodos qualitativos e quantitativos de previsão de demanda, e será dado foco nas técnicas de análise de regressão.

3.1 MOTORES ELÉTRICOS

De acordo com Mamede Filho (2017) um motor elétrico pode ser definido como uma máquina que transforma energia elétrica em mecânica de utilização, atuando basicamente como um conversor de energia. Seu funcionamento é fundamentado nos princípios do eletromagnetismo, onde a força do torque age sobre fios condutores de corrente, submersos em um campo magnético girante e, essa geração de torque é amplificada pelo material ferromagnético utilizado. Por aliar o baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando, com uma construção um tanto simples, com custo reduzido, grande variedade de aplicações e adaptação às cargas dos mais diversos tipos e sempre visando o melhor rendimento, acabou se tornando o mais usado para operação de máquinas dos mais diferentes tipos e tamanhos atendendo os mais diversos tipos de carga (WEG, 2014).

3.1.1 Tipos Mais Comuns de Motores Elétricos

Atualmente, existem diversos tipos de motores elétricos como é possível observar na Figura 1. Os mais comuns são os de corrente contínua e corrente alternada, onde nos motores de corrente alternada são os mais utilizados devido a sua distribuição de energia elétrica.

Figura 1 - Tipos de motores elétricos

Fonte: MAMEDE FILHO, 2017

3.1.1.1 Motores de Corrente Contínua

Os motores elétricos de corrente contínua caracterizam-se por serem acionados através de uma fonte de corrente contínua ou de algum dispositivo que possa converter corrente alternada em corrente contínua. Estes apresentam a possibilidade de funcionar com velocidades ajustáveis entre limites amplos, por essa razão, são indicados para casos em que exista a necessidade de grande flexibilidade ou precisão, todavia, seu custo de fabricação e de manutenção é elevado. Em consequência disto, o seu uso se restringe a casos especiais em que estas exigências compensem esse elevado custo de instalação, como em indústrias quando se faz necessário manter o controle fino da velocidade em algum processo de fabricação (MAMEDE FILHO, 2017).

3.1.1.2 Motores de Corrente Alternada

São os motores elétricos mais utilizados, porque a distribuição de energia elétrica é feita normalmente em corrente alternada. O seu princípio de funcionamento baseia-se no campo girante, qual surge quando um sistema trifásico de correntes senoidais é aplicado em posições defasados eletricamente de 120° . Destaca-se dentro dos motores de corrente alternada dois tipos, os motores síncronos e os motores de indução (assíncronos).

- Motores Síncronos: funcionam a partir da aplicação de uma tensão alternada nos terminais do estator, tendo uma velocidade de funcionamento fixa, ou seja, sem interferência do escorregamento. Esse tipo de motor de corrente alternada é utilizado para grandes potências, devido ao seu alto custo em tamanhos menores (MAMEDE FILHO, 2017).
- Motores de Indução: São constituídos basicamente por estator e rotor e possuem como característica o funcionamento com velocidade constante, que varia de acordo com a carga mecânica aplicada ao seu eixo. O seu comportamento, no que se refere ao rotor, é comparado ao secundário de um transformador, onde, o rotor pode ser constituído de duas maneiras, bobinado e em gaiola. O rotor bobinado é constituído de bobinas, cujos terminais são ligados a anéis coletores fixados ao eixo do motor e isolados deste; já o rotor em gaiola é constituído por um conjunto de barras não isoladas e interligadas por anéis condutores curto-circuitados. Devido a sua grande simplicidade, robustez e seu baixo custo, é o motor mais utilizado sendo mais adequado para todos os tipos de máquinas acionadas. Atualmente, é possível e simples o controle de velocidade desse tipo de motor através de inversores de frequência. (MAMEDE FILHO, 2017).

3.1.2 Motores na Indústria

Atividades fabris requerem, em tese, um motor robusto, de alta confiabilidade, com bom rendimento, que reaja bem a variações de carga, com baixo custo. Alguns processos industriais requerem variação de velocidade, com um controle considerável. Além disso, em certas áreas, classificadas como áreas de risco, se exige um equipamento que não promovam centelhas (GARCIA, 2003).

Segundo Garcia (2003) existem máquinas em praticamente qualquer tipo de indústria, como bombas para movimentação de líquidos, compressores e ventiladores para gases. Em fábricas de alimentos e bebidas existem diversas máquinas operatrizes, que executam e movimentam operações com garrafas, latas e diversos outros objetos, são muitas vezes motores pequenos e de construção específica para determinada tarefa. Os setores de papel e celulose, químico e cimentos, tem um grande número de bombas, compressores e ventiladores, assim como grandes esteiras transportadoras, moinhos e agitadores, nesses segmentos existem muitos motores grandes, com motores pequenos utilizados para os serviços auxiliares. O setor de cerâmica possui grandes misturadores, sopradores e muitas esteiras transportadoras. Na mineração, siderurgia e fabricação de metais em geral, além das bombas, compressores e ventiladores, tem também os moinhos, transportadores e máquinas

específicas para atividades de laminação. Na indústria têxtil possuem máquinas dedicadas, tanto para fiação como tecelagem.

O motor que melhor se adapta a estes serviços é o motor de indução trifásico com rotor gaiola de esquilo. De construção robusta, sem partes faiscantes, com rendimentos acima de 90%, exigindo pouca manutenção, barato e poucas desvantagens: operação degradada em baixa carga, alta corrente de partida. Seu maior obstáculo de aplicação foi até 30 anos atrás, a variação de velocidade, que perdia muito em relação ao motor de corrente contínua, porém com o avanço da eletrônica de potência, os conversores de frequência resolveram o problema de variação de velocidade (GARCIA, 2003).

3.1.3 Mercado de Motores Elétricos no Brasil

Schaeffer *et al* (2005) fez algumas considerações acerca da composição do mercado de motores elétricos no Brasil no ano de 2005. De acordo com o autor, o mercado de motores elétricos em 2005 no Brasil era dominado por 4 empresas:

- WEG: à época, dominava cerca de 80% do mercado, principalmente em motores industriais, era líder no setor na América Latina, figurando entre as cinco maiores fabricantes do mundo;
- Eberle: detinha cerca de 10% do mercado de motores elétricos no país;
- Kohlbach-Siemens: era responsável por cerca de 8% do mercado de motores trifásicos;
- SEW: empresa de origem alemã, era responsável por motores de pequeno porte, não se tinha, à época informações sobre sua porcentagem no mercado de motores.

Desta maneira, pode-se considerar que o mercado de motores no ano de 2005 era dominado pelos fabricantes nacionais, os quais continham pouco mais de 90% do mercado, embora não houvesse dados de grande precisão disponíveis. Uma pesquisa mercadológica realizada pela PUC-Rio em parceria com o PROCOBRE no ano de 2019 estima que o mercado de vendas de motores brasileiros é formado por motores importados, tendo um valor entre 5% e 15% do percentual total de vendas (SOUZA *et al*, 2019).

Dados do IBGE (2017) indicam que no ano de 2017 foram vendidos cerca de 33 milhões de motores elétricos pela indústria brasileira. Tendo os motores de potência fracional (abaixo de 1cv) com a maior porcentagem de vendas. De acordo com a Associação Brasileira

de Elétrica e Eletrônica (ABINEE), o Brasil é um exportador de motores e geradores elétricos (ABINEE, 2014), com cerca de US\$ 750 milhões em vendas para o exterior no ano de 2014.

Com base no consumo dos motores elétricos por setor, e baseando-se no consumo energético dos motores por setor industrial (horas de uso, carga nominal, consumo total), Andrade (2017) elaborou a Tabela 1 contendo o consumo dos motores elétricos por setor no Brasil, o autor leva em consideração dados da Eletrobrás, da EPE e do *United States Department of Energy*. Nessa tabela contém os dados de consumo estratificados por setor levando em consideração motores em geral e motores trifásicos, discriminando a porcentagem de motores no setor e o seu consumo em GWh.

Tabela 1 – Análise do consumo de motores elétricos por Setor no Brasil

Setor (2014)	Motores		Motores Trifásicos	
	(%)	(GWh)	(%)	(GWh)
Energia	88	26.108	90	23.497
Residencial	40	49.967	20	9.993
Comercial	40	33.761	50	16.881
Público	28	11.510	50	5.755
Agricultura	42	10.136	50	5.068
Transportes	60	1.130	50	565
Cimento	71	5.793	90	5.214
Aço e Ferro Fundido	30	5.902	90	5.312
Ferro-alloys	30	2.183	90	1.965
Mineração	90	10.660	90	9.594
Não-Ferroso	30	10.834	90	9.751
Químico	71	16.203	90	14.583
Alimentício	71	19.457	90	17.511
Têxtil	71	5.243	90	4.719
Papel	71	13.914	90	12.523
Cerâmico	71	3.140	90	2.826
Outras Industrias	47	21.347	90	19.213
Total		247.290		164.969
% Consumo de Eletricidade		47,89%		31,94%

Fonte: ANDRADE, 2017

3.2 PREVISÃO DE DEMANDA

As empresas direcionam suas atividades para o rumo em que elas julgam ter maior potencial de crescimento, esse rumo é normalmente traçado em cima de previsões, sendo a previsão de demanda a principal delas (TUBINO, 2007). As previsões de demanda de produtos e serviços auxiliam as tomadas de decisões fornecendo as informações básicas para planejamento e controle de todas as áreas funcionais das organizações (LEMOS, 2006).

3.2.1 Técnicas de Previsão de Demanda

As técnicas de previsão de demanda podem ser subdivididas em dois grandes grupos: as técnicas qualitativas e as quantitativas. As técnicas qualitativas beneficiam principalmente dados subjetivos, os quais se encontram problemas para representar numericamente. As técnicas quantitativas envolvem a análise numérica dos dados passados, sem levar em consideração palpites ou opiniões pessoais (TUBINO, 2007).

Devido à natureza subjetiva, os métodos qualitativos são usados para formulação de estratégia, desenvolvimento de novos produtos e tecnologias com taxa de incerteza alta. Esses métodos incorporam uma grande quantidade de conhecimento do processo de previsão e adicionam consenso a previsão, as previsões desse tipo de método são resultado da opinião de entrevistados (por exemplo, clientes) ou da opinião de especialistas. As principais técnicas qualitativas são: jogo de representação (*Role Playing*), pesquisa de intenções e o método Delphi (LEMOS, 2006).

Os métodos quantitativos caracterizam-se por apresentar processos bem definidos voltados para a análise de dados, possibilitando a replicação de método por diferentes especialistas. As técnicas quantitativas são divididas em modelos temporais e modelos causais. As séries temporais utilizam o histórico anterior para determinar o futuro da demanda considerando que ela irá replicar o comportamento apresentado anteriormente. Os modelos causais são utilizados para correlacionar a demanda com alguma outra variável, para descobrir a efetividade deste fator como determinante para as variações de demanda (PACHECO, SILVA, 2003). O método adotado neste trabalho será o de Análise de Regressão.

3.2.2 Análise de Regressão

Os métodos causais são baseados na análise estatística do comportamento histórico de variáveis que são relacionadas à variável de interesse para a previsão. O objetivo das previsões baseadas em correlações consiste em estabelecer uma equação que identifique o efeito da variável de previsão sobre a demanda do produto em análise. Neste caso, dois tipos de dados são levados em consideração: o histórico de demanda do produto (variável dependente) e o histórico da variável de previsão (variável independente). Através de uma regressão é possível estabelecer uma equação matemática que relaciona as variáveis dependentes e independentes (TUBINO, 2007).

Variáveis corporativas e econômicas podem ser usadas no processo de previsão através de um método causal como a Análise de regressão, o qual oferece uma perspectiva

ampla do ambiente em que está inserida a variável a ser prevista. A análise de regressão é um dos métodos mais precisos, porém requer uma quantidade grande de dados. (LEMOS, 2006).

Quando a correlação entre as variáveis leva a uma equação linear, é conhecida como regressão linear. Quando leva a uma equação curvilínea, chama-se regressão não-linear. No caso de somente duas variáveis envolvidas, chama-se de regressão simples. Já quando se trata de mais do que duas variáveis, chama-se de regressão múltipla (TUBINO, 2007). Em situações onde há uma variável Y para ser prevista, diversas variáveis explanatórias ($X_1, X_2, \dots, X_k$), e o objetivo é encontrar uma função que relacione Y com as demais variáveis, utiliza-se a Regressão Múltipla (LEMOS, 2006).

3.2.2.1 Regressão Linear

O caso especial da Regressão Múltipla é a Regressão Simples, a qual se refere a qualquer regressão de uma variável Y (variável dependente ou variável resposta) sobre uma variável X (variável independente ou preditora) (TRIOLA, 2017). O modelo considera uma relação linear entre Y e X dada pela Equação 1.

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + e_i \quad (1)$$

onde α é o coeficiente linear (ponto que intercepta o eixo y), β é o coeficiente angular (declividade da reta) e e_i é o erro aleatório no período i (desvio da observação em relação ao modelo linear) (LEMOS, 2006).

3.2.2.2 Regressão Múltipla

O método de Regressão Múltipla formula uma hipótese que relaciona uma variável dependente com diferentes variáveis independentes. A forma funcional do modelo de regressão é gradualmente desenvolvida em conjunto com o desenvolvimento da lista de variáveis e finalmente os parâmetros do modelo são estimados usando os dados coletados para este propósito. A Equação 2 expressa a fórmula mais completa ou geral do modelo de Regressão Múltipla, a forma linear, onde e_i é a estimativa do erro no período i (LEMOS, 2006).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_k X_{k,i} + e_i \quad (2)$$

Os valores dos coeficientes (β_k) da equação de regressão podem ser estimados aplicando o método dos mínimos quadrados ordinários, que busca encontrar os coeficientes que minimizem a soma dos quadrados dos erros. Pacotes computacionais são normalmente

usados para obter os coeficientes no modelo de Regressão Múltipla. Depois de estimar os coeficientes do modelo de regressão para determinar os valores de Y , testa-se a significância do modelo de regressão através do Teste F de significância, globais e individuais. (LEMOS, 2006).

Para obter maior precisão através de Regressão Múltipla um conjunto de valores futuros das variáveis explanatórias deve ser determinado ($X_{k,i}$). Estes valores são utilizados na equação de regressão e um valor Y_0 é obtido através da Equação 3. Esta equação é baseada na consideração que as variáveis explanatórias são medidas sem erros. Quando as previsões de Y são feitas, elas dependem dos valores futuros de variáveis explanatórias ($X_1, X_2, \dots, X_k$), sendo necessário obter previsões precisas destas variáveis, onde b_k é a estimativa do coeficiente de regressão (LEMOS, 2006).

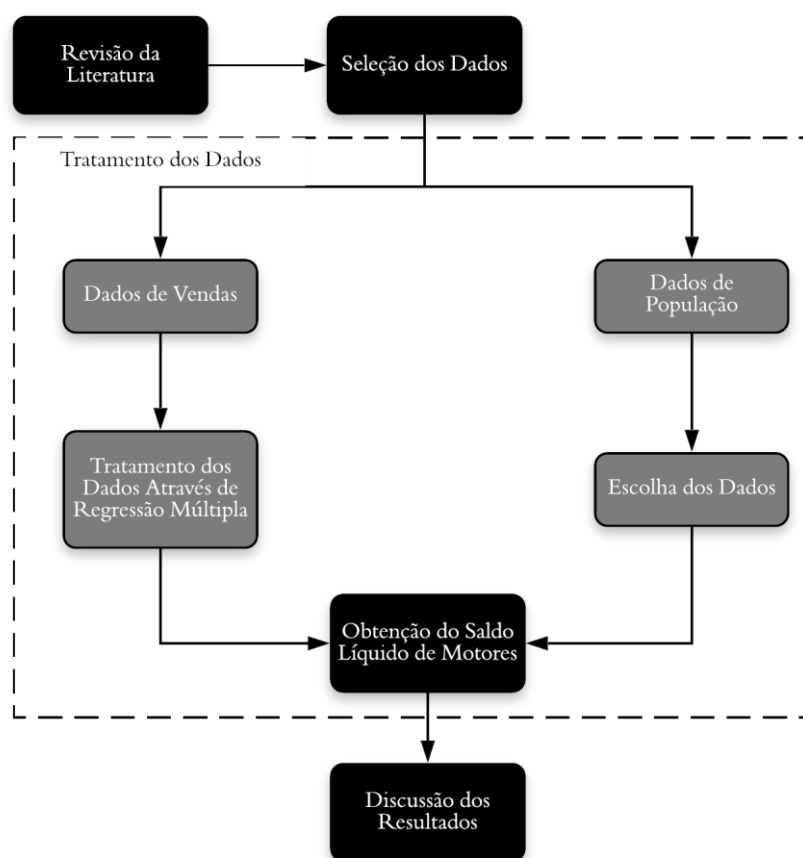
$$Y_i = b_0 + b_1X_{1,i} + b_2X_{2,i} + \dots + b_kX_{k,i} \quad (3)$$

Em diversas situações pode não parecer interessante considerar que as variáveis independentes estejam relacionadas linearmente com a variável dependente. Quanto maior o número de previsões necessárias no processo preditivo, menos controlável torna-se o método de Análise de Regressão. A demanda por grandes quantidades de resultados faz com que o método fique lento na resposta a mudanças de padrão de demanda ou mudanças nas relações entre variáveis (LEMOS, 2006). Entendendo-se as vantagens e desvantagens do método de Análise de Regressão, se pode direcionar melhor sua aplicação e qual método é mais útil.

4 METODOLOGIA

É apresentado na Figura 2 o fluxograma metodológico estabelecido para o desenvolvimento do trabalho, considerando desde a revisão da literatura, coleta dos dados, os métodos utilizados para o processamento dos dados até a discussão dos resultados. O presente tópico tratará da metodologia envolvida no processamento dos dados e na obtenção do Saldo Líquido de motores elétricos no Brasil.

Figura 2 - Fluxograma metodológico



Fonte: Autoria própria

4.1 SELEÇÃO DOS DADOS

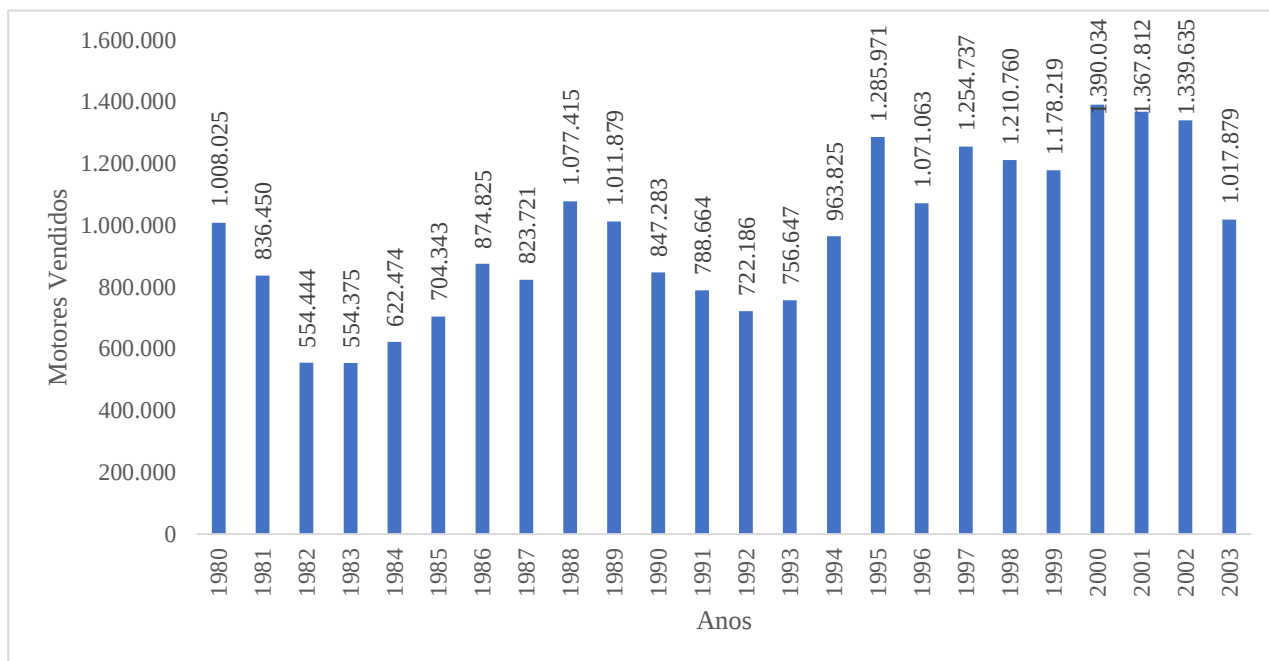
Nessa seção será realizada a seleção dos dados de vendas de motores elétricos utilizados, bem como dos dados de população utilizados para o cálculo do Saldo Líquido. Inicialmente serão tabelados os dados de vendas considerando os dados históricos de vendas, logo depois serão expostos dados de população de motores elétricos.

4.1.1 Histórico de Vendas de Motores Elétricos

Frente a falta de dados por parte da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e eletrônica (ABINEE), foram levados em considerações dados históricos de vendas no início

da década de 80 até o ano de 2006. A Figura 3 mostra a quantidade de motores vendidos entre o ano de 1980 e o terceiro trimestre de 2003 segundo Santos (2005 apud ABINEE, 2003).

Figura 3 – Vendas de motores de 1980 a 2003



Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2005 apud ABINEE, 2003)

A Tabela 2 mostra os valores de vendas de motores utilizados por Garcia (2003, apud ABINEE, 2003), nessa tabela contém os dados de vendas de 1989 a 2000 contendo os valores de vendas estratificados por faixa de potência. Supondo que os motores trifásicos tenham uma vida útil média de 12 anos e um estoque constante, os dados descritos na Tabela 2 expressava o universo de motores no Brasil no ano de 2001.

Tabela 2 – Vendas de motores elétricos no Brasil de 1989 a 2000

Motores Trifásicos	Até 1 cv	Acima de 1 cv até 10 cv	Acima de 10 cv até 40 cv	Acima de 40 cv até 100 cv	Acima de 100 cv até 300 cv	Acima de 300 cv	TOTAL
1989	320.501	587.707	84.710	13.907	4.732	322	1.011.879
1990	274.952	495.607	61.228	11.401	3.862	233	847.283
1991	256.421	465.252	54.891	8.713	3.200	187	788.664
1992	227.869	421.557	58.401	10.585	3.591	183	722.186
1993	235.828	446.430	59.077	11.340	3.700	272	756.647
1994	328.353	537.670	77.947	14.544	4.951	360	963.825
1995	443.169	716.855	98.614	19.390	7.395	548	1.285.971
1996	356.815	600.791	88.195	17.798	6.778	686	1.071.063
1997	396.482	711.519	113.125	23.024	9.695	892	1.254.737
1998	335.721	704.677	132.524	25.621	10.981	1.236	1.210.760
1999	354.510	676.130	115.207	22.203	9.224	945	1.178.219
2000	449.907	770.264	132.125	26.461	10.360	917	1.390.034

Fonte: GARCIA, 2003 apud ABINEE, 2003

Na pesquisa mercadológica realizada pela PUC-Rio em parceria com o PROCOBRE, Souza *et al* (2019 apud ABINEE, 2007) cita dados de vendas do ano de 1990 até o ano de 2006, sendo esse o último registro de vendas disponibilizado pela ABINEE. A Tabela 3 mostra os dados de vendas de 17 anos (1990 a 2000) com os valores estratificados por faixa de potência.

Tabela 3 – Histórico de vendas de motores trifásicos de 1990 a 2006

Ano	Até 1 cv	Acima de 1 cv até 10 cv	Acima de 10 cv até 40 cv	Acima de 40 cv até 100 cv	Acima de 100 cv até 300 cv	Acima de 300 cv	TOTAL
1990	274.952	495.607	61.228	11.401	3.862	233	847.283
1991	256.421	465.252	54.891	8.713	3.200	187	788.664
1992	227.869	421.557	58.401	10.585	3.591	183	722.186
1993	235.828	446.430	59.077	11.340	3.700	272	756.647
1994	328.353	537.670	77.947	14.544	4.951	360	963.825
1995	443.169	716.855	98.614	19.390	7.395	548	1.285.971
1996	356.815	600.791	88.195	17.798	6.778	686	1.071.063
1997	396.482	711.519	113.125	23.024	9.695	892	1.254.737
1998	335.721	704.677	132.524	25.621	10.981	1236	1.210.760
1999	354.510	676.130	115.207	22.203	9.224	945	1.178.219
2000	449.907	770.264	132.125	26.461	10.360	917	1.390.034
2001	433.287	760.608	132.857	28.356	11.451	1253	1.367.812
2002	403.204	758.017	136.692	28.093	12.348	1281	1.339.635
2003	404.317	779.439	152.191	31.247	13.338	1525	1.382.057
2004	486.177	915.329	182.306	37.858	14.695	1606	1.637.971
2005	499.690	910.902	188.442	42.305	16.923	2157	1.660.419
2006	686.286	1.034.762	233.083	55.408	20.030	2572	2.032.141

Fonte: Adaptado de (SOUZA et al, 2019 apud ABINEE, 2007)

4.1.2 População de Motores no Brasil

Diante da visão de mercado adquirido no item 4.2.1 e do panorama de vendas exposto no item 3.1.4, tem-se a necessidade de obter uma noção aproximada da dimensão da população de motores no Brasil. Santos (2005) estima o total da população de motores no país através dos dados de vendas entre os anos de 1980 e 2003. Para tal, o autor considera que os motores elétricos tem vida útil média de 17 anos, tendo estimado assim o número total de motores estocados e em operação no Brasil, e tem um valor de aproximadamente 17,9 milhões de unidades, considerando todas as faixas de potência.

Em um relatório publicado no ano de 2005, onde os autores se baseavam em uma amostra de campo de 2119 motores pertencentes a 18 plantas industriais e levando em consideração também os dados de vendas e produção de motores disponíveis, foi estimada a

população de motores integrais em uso no Brasil no ano de 2005, esse valor era de aproximadamente 13,3 milhões de unidades (SCHAEFFER *et al*, 2005).

Micerino (2012) com o objetivo de extrapolar o número total de motores no ano de 2012, utilizou como base o valor de 12 milhões de motores ativos no ano de 2003, onde dessa quantidade de motores foram considerados os motores de potência fracional. Também foi levado em conta que o número de motores com potência abaixo de 1cv é de aproximadamente 30% da população total, considerando assim que no ano de 2003 o número total de motores com potência integral em operação fosse de aproximadamente 8,4 milhões de unidades. Para obter o número de motores em operação o autor faz uma relação com o crescimento do consumo anual de energia elétrica. A Tabela 4 mostra os valores estimados por Micerino.

Tabela 4 – Estimativa do número de motores em operação na indústria brasileira

Ano	Nº total de motores em operação	Nº de motores em operação (acima de 1cv)	Crescimento do consumo de energia elétrica
2003	12.000.000	8.400.000	5,28%
2004	12.847.084	8.992.959	7,06%
2005	13.094.528	9.166.169	1,93%
2006	13.695.337	9.586.736	4,59%
2007	14.382.101	10.067.471	5,01%
2008	14.725.917	10.308.142	2,39%
2009	13.908.920	9.736.244	-5,55%
2010	15.383.266	10.768.286	10,60%
2011	16.090.896	11.263.627	4,60%
2012	16.831.077	11.781.754	4,60%
2013	17.605.307	12.323.715	4,60%
2014	18.415.151	12.890.605	4,60%
2015	19.262.248	13.483.573	4,60%

Fonte: (MICERINO, 2012).

Segundo Andrade (2017) no ano de 2013, a população de motores integrais no Brasil seria de 16,5 milhões de motores. Utilizando-se de extrapolações para obter valores de vendas atuais e o número de motores em operação no país, Souza *et al* (2019) estima que o Brasil possui aproximadamente 21,6 milhões de motores, tendo levado em consideração uma vida útil média de 17 anos.

4.2 TRATAMENTO DOS DADOS

Nessa seção será realizada o tratamento dos dados de vendas de motores elétricos. Inicialmente será tabelado os dados de vendas considerando os dados históricos descritos na seção 4.1.1.

A partir dos valores descritos por Santos (2005 apud ABINEE, 2003), é realizado uma estratificação dos dados com o intuito de padronizar os valores. Garcia (2003) apresenta valores referentes a porcentagem de cada faixa de potência dos motores. A Tabela 5 mostra os valores descritos pelo autor. Utilizando os dados da Tabela 5 é realizada a estratificação dos valores de vendas presentes na Figura 3, a Tabela 6 apresenta os valores estratificados para cada faixa de potência, tendo a faixa de 1 até 10 cv o maior contingente de motores elétricos.

Tabela 5 – Porcentagem de cada faixa de potência

Faixas de Potência	Porcentagem
> 1 cv	32%
1 - 10 cv	57%
10 - 40 cv	9%
40 - 100 cv	2%
100 - 300 cv	1%
> 300 cv	0,1%

Fonte: (GARCIA, 2003)

Tabela 6 – Histórico de vendas de motores elétricos por faixa potência

Ano	Até 1 cv	Acima de 1 cv até 10 cv	Acima de 10 cv até 40 cv	Acima de 40 cv até 100 cv	Acima de 100 cv até 300 cv	Acima de 300 cv	TOTAL
1980	322.568	574.574	90.722	20.161	10.080	1008	1.008.025
1981	267.664	476.777	75.281	16.729	8.365	836	836.450
1982	177.422	316.033	49.900	11.089	5.544	554	554.444
1983	177.400	315.994	49.894	11.088	5.544	554	554.375
1984	199.192	354.810	56.023	12.449	6.225	622	622.474
1985	225.390	401.476	63.391	14.087	7.043	704	704.343
1986	279.944	498.650	78.734	17.497	8.748	875	874.825
1987	263.591	469.521	74.135	16.474	8.237	824	823.721
1988	344.773	614.127	96.967	21.548	10.774	1077	1.077.415
1989	323.801	576.771	91.069	20.238	10.119	1012	1.011.879
1990	271.131	482.951	76.255	16.946	8.473	847	847.283
1991	252.372	449.538	70.980	15.773	7.887	789	788.664
1992	231.100	411.646	64.997	14.444	7.222	722	722.186
1993	242.127	431.289	68.098	15.133	7.566	757	756.647
1994	308.424	549.380	86.744	19.277	9.638	964	963.825
1995	411.511	733.003	115.737	25.719	12.860	1286	1.285.971
1996	342.740	610.506	96.396	21.421	10.711	1071	1.071.063
1997	401.516	715.200	112.926	25.095	12.547	1255	1.254.737

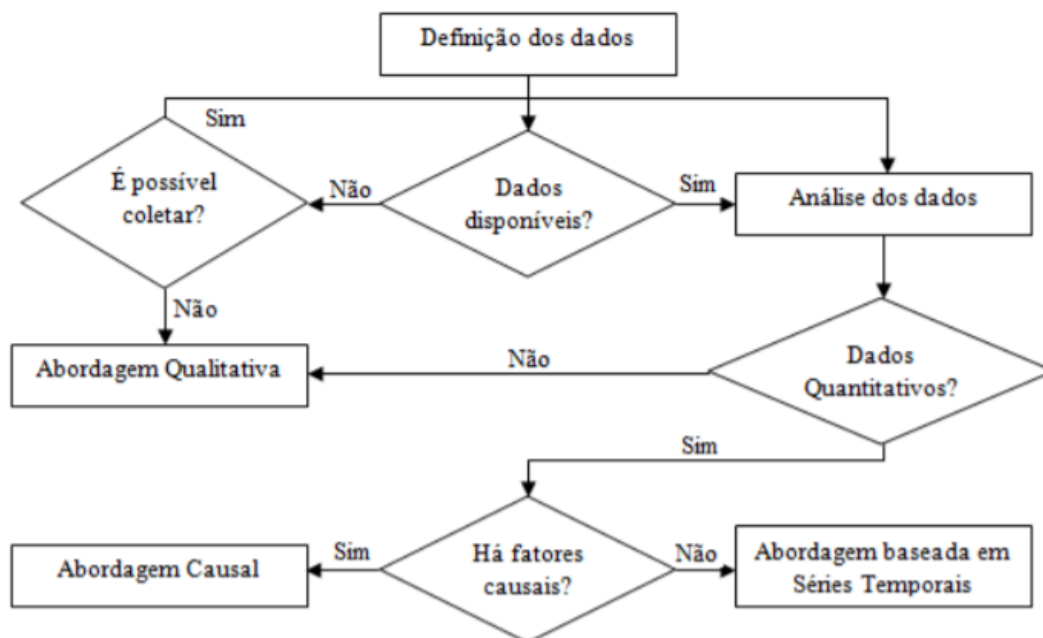
1998	387.443	690.133	108.968	24.215	12.108	1211	1.210.760
1999	377.030	671.585	106.040	23.564	11.782	1178	1.178.219
2000	444.811	792.319	125.103	27.801	13.900	1390	1.390.034
2001	437.700	779.653	123.103	27.356	13.678	1368	1.367.812
2002	428.683	763.592	120.567	26.793	13.396	1340	1.339.635
2003	325.721	580.191	91.609	20.358	10.179	1018	1.017.879

Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2005 apud ABINEE, 2003).

Com a intenção de validar os dados da Tabela 6, foi realizado uma comparação entre os dados da Tabela 6 e os dados expressos por Souza *et al* (2019 apud ABINEE, 2007) e por Garcia (2003, apud ABINEE, 2003), tendo levado em consideração um pequeno erro, pois a distribuição de vendas em cada faixa de potência mudará de acordo com o ano analisado, e tendo em mente que para a construção da Tabela 6 foi considerado uma porcentagem fixa para cada faixa de potência.

Até aqui, tem-se dados de vendas estratificados por faixa de potência desde 1980 até o ano de 2006, para a continuidade do trabalho, são necessários dados de vendas até o ano de 2019. Com a finalidade de obter os dados de vendas até o ano de 2019 tornou-se necessária a utilização de algum método de previsão de demanda. Para a escolha do método de previsão de demanda foi utilizado o fluxograma expresso na Figura 4.

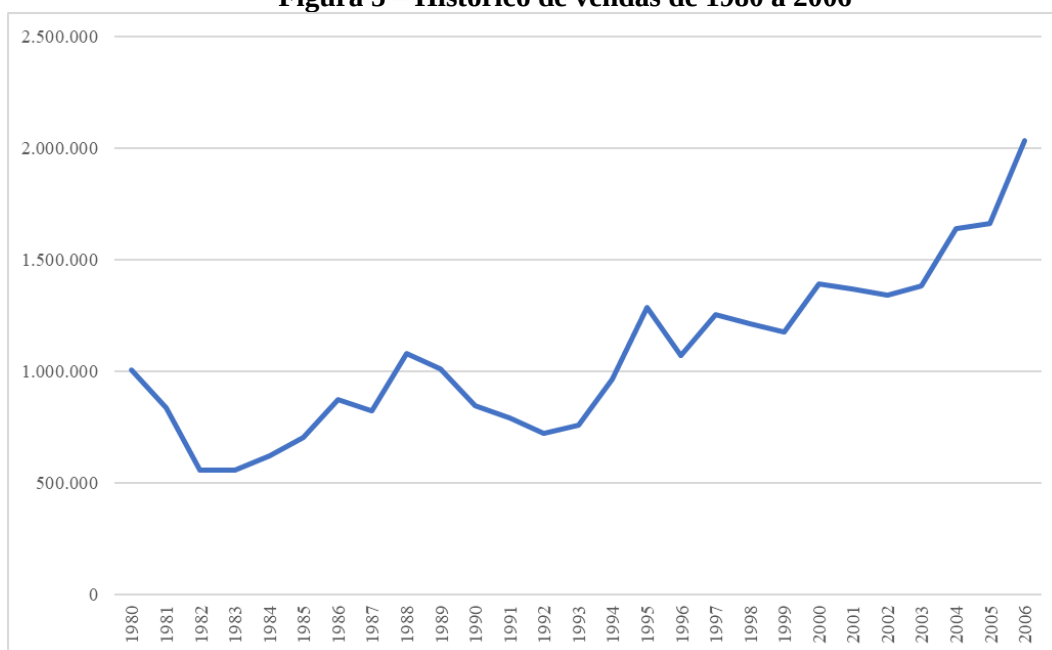
Figura 4 – Processo de Escolha do Método de Previsão de Demanda



Fonte: (FERNANDES E GODINHO FILHO, 2010).

Tendo os dados referentes ao histórico de vendas, foi escolhido se utilizar um método quantitativo, com uma abordagem causal. O método escolhido foi o de Regressão Múltipla e sua aplicação se deu a partir do *software* Excel®. Inicialmente foi testada a correlação entre as variáveis envolvidas no processo, sendo obtidos valores de coeficiente de correlação R de 0,91 entre as vendas e o ano e de 0,94 entre as vendas e o PIB acumulado. Logo após, foi realizada uma extrapolação nas vendas para o ano de 2019 através de uma Regressão Múltipla que descreve a variação de vendas conforme o ano e o PIB acumulado. Fazendo uma análise dos dados de vendas através da Figura 5 é possível verificar uma crescente nas vendas a partir do ano de 1994, isso pode ser relacionado ao início do plano real, onde o país passou por uma crescente econômica. Assim, foi realizado uma limpeza na base de dados, sendo utilizado o intervalo de tempo de 1994 a 2006. Um ponto importante a se destacar é que utilizando 1994 como ano inicial para a análise, se obteve uma correlação maior entre as variáveis.

Figura 5 – Histórico de vendas de 1980 a 2006



Fonte: Autoria própria.

A variação anual do PIB em volume foi acumulada do início da série histórica em 1947 a 2018, dados esses disponibilizados pelo IBGE (2019), e foi acrescido o ano de 2019 através dos dados dos três primeiros trimestres do ano de 2019. Aplicando o método de Regressão Múltipla se obteve a Equação 4, sendo o número de venda de motores por ano a variável dependente e o Ano e PIB acumulado as variáveis independentes. Os dados usados como base para a realização da Regressão Múltipla estão apresentados na Tabela 7.

$$\text{Motores Vendidos} = 67759,05 * \text{PIBAcumulado} - 110188,75 * \text{Ano} + 202052445,38 \quad (4)$$

Tabela 7 – Histórico de vendas de motores elétricos de 1994 a 2006

Ano	PIB	PIB Acumulado	Total de Motores
1994	5,8	275,1	963.825
1995	4,2	279,3	1.285.971
1996	2,2	281,5	1.071.063
1997	3,4	284,9	1.254.737
1998	0,3	285,2	1.210.760
1999	0,5	285,7	1.178.219
2000	4,4	290,1	1.390.034
2001	1,4	291,5	1.367.812
2002	3,1	294,5	1.339.635
2003	1,1	295,7	1.382.057
2004	5,8	301,4	1.637.971
2005	3,2	304,6	1.660.419
2006	4,0	308,6	2.032.141

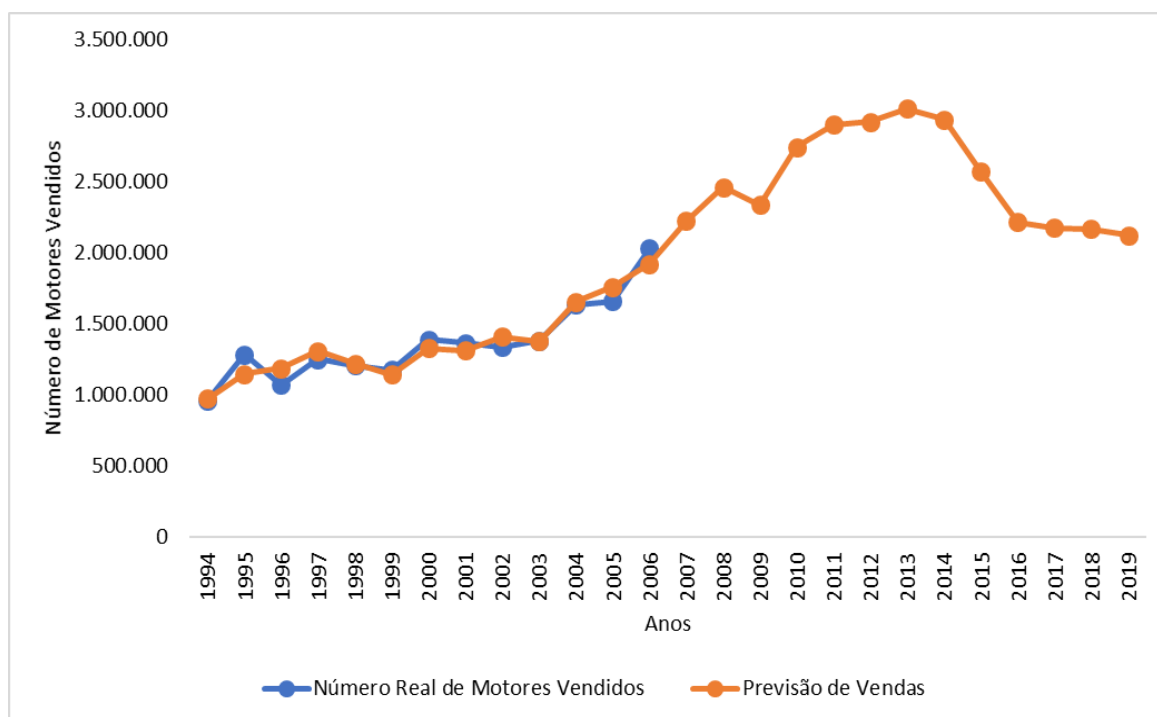
Fonte: Adaptado de (SOUZA *et al*, 2019; IBGE, 2019)

Na Tabela 8 são apresentados os valores obtidos através da Regressão Múltipla. A Figura 6 apresenta a projeção feita a partir da Equação 4 em comparação com os valores reais de vendas de motores elétricos. Com base nesta projeção, estima-se que no ano de 2019, aproximadamente 2,2 milhões de motores trifásicos foram vendidos no Brasil, sendo os motores entre 1 e 40 cv os mais vendidos.

Tabela 8 – Histórico de Vendas Obtido Através de Regressão Múltipla

Ano	PIB	PIB Acumulado	Total de Motores
2007	6,1	314,7	2.227.389
2008	5,1	319,8	2.462.771
2009	-0,1	319,6	2.339.030
2010	7,5	327,2	2.743.810
2011	4,0	331,2	2.904.658
2012	1,9	333,1	2.923.211
2013	3,0	336,1	3.016.300
2014	0,5	336,6	2.939.990
2015	-3,8	332,8	2.572.317
2016	-3,6	329,2	2.218.196
2017	1,0	330,2	2.175.766
2018	1,5	331,7	2.167.216
2019	1,0	332,7	2.124.786

Fonte: Autoria própria.

Figura 6 – Número Real de Motores Vendidos X Previsão de Vendas

Fonte: Autoria própria

Com a finalidade de padronizar os dados, tem-se a necessidade de estratificar os valores da Tabela 8 por faixa de potência, desta maneira, a estratificação foi feita de forma análoga aos dados da Tabela 6, utilizando as porcentagens de estratificação de motores por faixa de potência presentes no trabalho de Garcia (2003). A Tabela 9 apresenta os valores projetados pela Regressão Múltipla estratificados por faixa de potência.

Tabela 9 – Histórico de Vendas de Motores de 2007 a 2019 Por Faixa de Potência

Ano	Até 1 CV	Acima de 1CV até 10CV	Acima de 10CV até 40CV	Acima de 40CV até 100CV	Acima de 100CV até 300CV	Acima de 300 CV	TOTAL
2007	712.764	1.269.611	200.465	44.548	22.274	2227	2.227.389
2008	788.087	1.403.779	221.649	49.255	24.628	2463	2.462.771
2009	748.490	1.333.247	210.513	46.781	23.390	2339	2.339.030
2010	878.019	1.563.972	246.943	54.876	27.438	2744	2.743.810
2011	929.491	1.655.655	261.419	58.093	29.047	2905	2.904.658
2012	935.428	1.666.230	263.089	58.464	29.232	2923	2.923.211
2013	965.216	1.719.291	271.467	60.326	30.163	3016	3.016.300
2014	940.797	1.675.795	264.599	58.800	29.400	2940	2.939.990
2015	823.142	1.466.221	231.509	51.446	25.723	2572	2.572.317
2016	709.823	1.264.372	199.638	44.364	22.182	2218	2.218.196
2017	696.245	1.240.187	195.819	43.515	21.758	2176	2.175.766
2018	693.509	1.235.313	195.049	43.344	21.672	2167	2.167.216
2019	679.932	1.211.128	191.231	42.496	21.248	2125	2.124.786

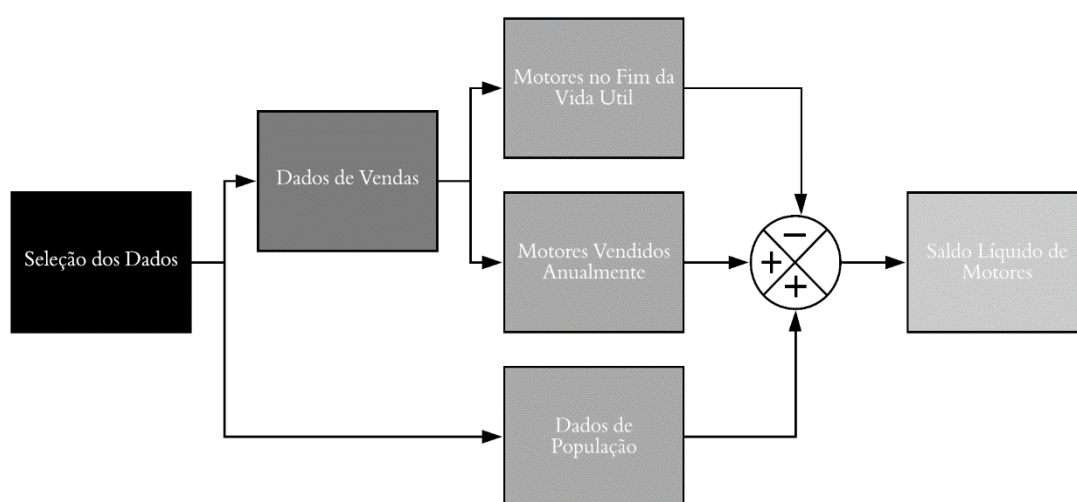
Fonte: Autoria própria

4.3 OBTENÇÃO DO SALDO LÍQUIDO DE MOTORES NO BRASIL

Para se obter a população de motores elétricos trifásicos em operação no Brasil é necessário a formulação de uma equação que relacione as entradas e saídas de motores dessa população durante um determinado ano. Com essa finalidade, foi desenvolvida a Equação 5, onde a população atual de motores no país é denominada de Saldo Líquido e suas variáveis são: a população de motores do ano anterior ao ano escolhido para análise, as vendas de motores elétricos no Brasil (entradas) e os motores no fim da sua vida útil (saídas), onde i é o ano escolhido para a análise e j é a vida útil dos motores em cada faixa de potência. A Figura 7 representa um diagrama explicativo da Equação 5.

$$\text{Saldo Líquido}_i = \text{População}_{i-1} + \text{Entradas}_{i-1} - \text{Saídas}_{i-j} \quad (5)$$

Figura 7 – Diagrama Explicativo da Equação 5



Fonte: Autoria própria

4.3.1 População de Motores Utilizada

A fim de obter o Saldo Líquido de motores elétricos, é preciso definir o ano para começar a análise, bem como o valor de população nesse ano. Serão utilizados dados de população presente no trabalho de Micerino (2012), assim tem-se um parâmetro para comparação com um nível de confiança considerável, tendo em vista que partiremos dos mesmos valores de população. Será utilizado como base o valor de 12 milhões de motores no ano de 2003, considerando esse valor como sendo o valor total de motores ativos, sem distinguir os motores fracionários e integrais. Garcia (2003) diz que 32% dos motores elétricos brasileiros são motores na faixa fracionaria, ou seja, estão na faixa de potência abaixo de 1cv. Deste modo, utilizou-se esse valor para o cálculo do Saldo Líquido o valor de

12 milhões de motores ativos e 8,16 milhões de motores na faixa de potência integral, acima de 1 cv.

4.3.2 Histórico de Vendas de Motores Elétricos

Com o propósito de construir um histórico com as vendas anuais no período compreendido entre 1980 a 2019, foram cruzados dados de vendas apresentados na seção 4.2, onde os dados da ABINEE, publicados por alguns autores, foram expostos e tratados de forma que se encaixassem melhor na proposta do presente trabalho. Desta forma, foram contabilizados os dados de vendas levando em consideração todas as faixas de potência e também a faixa de potência integral, com venda de motores acima de 1 cv. Em posse desses dados históricos, torna-se possível contabilizar a parcela dos motores que entram no parque industrial brasileiro por ano.

4.3.3 Motores no Fim da Sua Vida Útil

Para a obtenção dos dados de saídas de motores, referentes aos motores no fim da sua vida útil, foi levado em consideração dados de vida útil média, em anos, por faixa de potência apresentados por Andrade (2017), a Tabela 10 apresenta esses valores representados por faixa de potência.

Tabela 10 – Vida Útil de Motores Elétricos por Faixa de Potência

Faixas de Potência	Vida Útil (Anos)
1 - 10 cv	15
10 - 40 cv	20
40 - 100 cv	25
100 - 300 cv	25
> 300 cv	25

Fonte: (ANDRADE, 2017)

Essas saídas de motores serão contabilizadas no montante levando em consideração os dados históricos de vendas desde 1980. Se somado o maior valor de vida útil ao ano de 1980, chega-se à conclusão que os motores que entraram em funcionamento no ano de 1980, estarão saindo do montante total no ano de 2005. Desta forma, levando em consideração que uma parcela considerável dos motores está entre 15 e 20 anos, será possível contabilizar uma grande parcela das saídas de motores a partir do primeiro ano de análise (2003).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos através do tratamento dos dados realizado nos dados históricos de vendas, apresentados na seção 4.2, bem como será exposto o Saldo Líquido de motores elétricos no Brasil, obtido através da Equação 5 levando em consideração as vendas anuais e a saídas ocasionadas pelo fim da vida útil dos motores. Por fim, serão discutidos os resultados realizando uma comparação entre os valores de população citados no item 4.1.2 e o Saldo Líquido final de motores elétricos.

Como descrito no item 4.3.2, foi realizado um cruzamento entre os dados históricos de vendas obtidos, e construída a Tabela 11, onde é apresentado os dados de vendas estratificados por faixa de potência e o valor total de vendas de motores elétricos, além do total de vendas dos motores na faixa de potência integral.

Tabela 11 – Histórico de Vendas de Motores Elétricos no Brasil de 1980 a 2019

Ano	Até 1 cv	Acima de 1 cv até 10 cv	Acima de 10 cv até 40 cv	Acima de 40 cv até 100 cv	Acima de 100 cv até 300 cv	Acima de 300 cv	Total de Motores (Acima de 1 cv)	Total de Motores
1980	322.568	574.574	90.722	20.161	10.080	1008	691.918	1.008.025
1981	267.664	476.777	75.281	16.729	8.365	836	574.148	836.450
1982	177.422	316.033	49.900	11.089	5.544	554	380.576	554.444
1983	177.400	315.994	49.894	11.088	5.544	554	380.529	554.375
1984	199.192	354.810	56.023	12.449	6.225	622	427.272	622.474
1985	225.390	401.476	63.391	14.087	7.043	704	483.468	704.343
1986	279.944	498.650	78.734	17.497	8.748	875	600.489	874.825
1987	263.591	469.521	74.135	16.474	8.237	824	565.410	823.721
1988	344.773	614.127	96.967	21.548	10.774	1077	739.548	1.077.415
1989	323.801	576.771	91.069	20.238	10.119	1012	694.564	1.011.879
1990	274.952	495.607	61.228	11.401	3.862	233	572.331	847.283
1991	256.421	465.252	54.891	8.713	3.200	187	532.243	788.664
1992	227.869	421.557	58.401	10.585	3.591	183	494.317	722.186
1993	235.828	446.430	59.077	11.340	3.700	272	520.819	756.647
1994	328.353	537.670	77.947	14.544	4.951	360	635.472	963.825
1995	443.169	716.855	98.614	19.390	7.395	548	842.802	1.285.971
1996	356.815	600.791	88.195	17.798	6.778	686	714.248	1.071.063
1997	396.482	711.519	113.125	23.024	9.695	892	858.255	1.254.737
1998	335.721	704.677	132.524	25.621	10.981	1.236	875.039	1.210.760
1999	354.510	676.130	115.207	22.203	9.224	945	823.709	1.178.219
2000	449.907	770.264	132.125	26.461	10.360	917	940.127	1.390.034
2001	433.287	760.608	132.857	28.356	11.451	1.253	934.525	1.367.812
2002	403.204	758.017	136.692	28.093	12.348	1.281	936.431	1.339.635
2003	404.317	779.439	152.191	31.247	13.338	1.525	977.740	1.382.057
2004	486.177	915.329	182.306	37.858	14.695	1.606	1.151.794	1.637.971
2005	499.690	910.902	188.442	42.305	16.923	2.157	1.160.729	1.660.419
2006	686.286	1.034.762	233.083	55.408	20.030	2.572	1.345.855	2.032.141
2007	703.855	1.256.247	211.602	42.320	17.151	1.581	1.528.902	2.227.389
2008	778.236	1.389.003	233.963	46.793	18.963	1.749	1.690.471	2.462.771
2009	739.134	1.319.213	222.208	44.442	18.011	1.661	1.605.534	2.339.030
2010	867.044	1.547.509	260.662	52.132	21.127	1.948	1.883.379	2.743.810

2011	917.872	1.638.227	275.942	55.188	22.366	2.062	1.993.786	2.904.658
2012	923.735	1.648.691	277.705	55.541	22.509	2.075	2.006.521	2.923.211
2013	953.151	1.701.193	286.548	57.310	23.226	2.142	2.070.418	3.016.300
2014	929.037	1.658.155	279.299	55.860	22.638	2.087	2.018.039	2.939.990
2015	812.852	1.450.787	244.370	48.874	19.807	1.826	1.765.664	2.572.317
2016	700.950	1.251.063	210.729	42.146	17.080	1.575	1.522.592	2.218.196
2017	687.542	1.227.132	206.698	41.340	16.753	1.545	1.493.468	2.175.766
2018	684.840	1.222.310	205.886	41.177	16.688	1.539	1.487.599	2.167.216
2019	671.433	1.198.380	201.855	40.371	16.361	1.509	1.458.475	2.124.786

Fonte: Autoria própria

Com base no cruzamento realizado, estimou-se que para o ano de 2019, aproximadamente 2,1 milhões de motores trifásicos foram vendidos no Brasil, sendo cerca de 1,4 milhões da faixa de potência integral, com a potência entre 1 e 40 cv tendo a maior parcela nas vendas de motores integrais, com aproximadamente 98% do valor total.

Como descrito no item 4.3.3, foram utilizados dados de vida útil média, por ano, para o cálculo da parcela da saída de motores elétricos do montante final. Assim, foi construída a Tabela 12, onde são apresentados os dados de saídas de motores integrais, fracionados por faixa de potência. Pode-se perceber que ao fim do ano de 2019 aproximadamente 900 mil motores chegaram ao fim de sua vida útil.

Tabela 12 – Saídas de Motores Elétricos por Vida Útil

Ano	Acima de 1 cv até 10 cv	Acima de 10 cv até 40 cv	Acima de 40 cv até 100 cv	Acima de 100 cv até 300 cv	Acima de 300 cv	Total de Saídas
2003	397.249	52.666	-	-	-	449.915
2004	493.401	59.135	-	-	-	552.536
2005	464.579	66.913	19.152	7.762	716	559.121
2006	607.662	83.108	15.893	6.441	594	713.698
2007	570.700	78.253	10.534	4.269	394	664.151
2008	495.607	102.354	10.533	4.269	394	613.157
2009	465.252	96.129	11.827	4.793	442	578.443
2010	421.557	61.228	13.383	5.423	500	502.091
2011	446.430	54.891	16.622	6.736	621	525.300
2012	537.670	58.401	15.651	6.343	585	618.649
2013	716.855	59.077	20.471	8.296	765	805.464
2014	600.791	77.947	19.226	7.791	718	706.474
2015	711.519	98.614	11.401	3.862	233	825.629
2016	704.677	88.195	8.713	3.200	187	804.972
2017	676.130	113.125	10.585	3.591	183	803.614
2018	770.264	132.524	11.340	3.700	272	918.100
2019	760.608	115.207	14.544	4.951	360	895.670

Fonte: Autoria própria

Tendo definido todos os dados a serem utilizados para o cálculo do Saldo Líquido de motores elétricos, foi utilizada a Equação 5, levando em consideração a população inicial de 8.160.000 motores no ano de 2003 e os dados de vendas de motores integrais (entradas) e os motores no fim da sua vida útil (saídas) apresentados pelas Tabelas 11 e 12 respectivamente. A Tabela 13 apresenta o valor final do Saldo Líquido de motores elétricos no Brasil no ano de 2019.

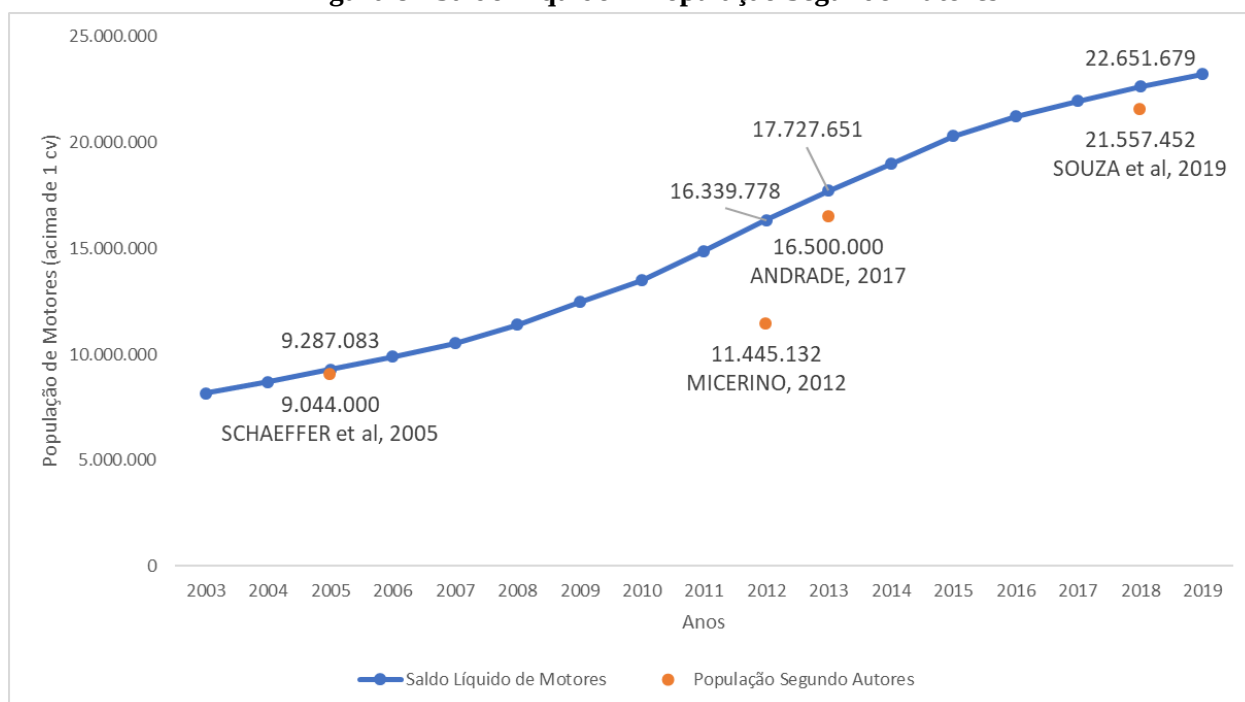
Tabela 13 – Saldo Líquido de Motores Elétricos no Brasil

Ano	Vendas Anuais de Motores	Total de Saídas de Motores	Saldo Líquido de Motores
2003	977.740	449.915	8.160.000
2004	1.151.794	552.536	8.687.825
2005	1.160.729	559.121	9.287.083
2006	1.345.855	713.698	9.888.690
2007	1.528.902	664.151	10.520.848
2008	1.690.471	613.157	11.385.599
2009	1.605.534	578.443	12.462.913
2010	1.883.379	502.091	13.490.004
2011	1.993.786	525.300	14.871.292
2012	2.006.521	618.649	16.339.778
2013	2.070.418	805.464	17.727.651
2014	2.018.039	706.474	18.992.605
2015	1.765.664	825.629	20.304.170
2016	1.522.592	804.972	21.244.205
2017	1.493.468	803.614	21.961.825
2018	1.487.599	918.100	22.651.679
2019	1.458.475	895.670	23.221.178

Fonte: Autoria própria

Com base no valor de 8.160.000 motores integrais em 2003, e utilizando as entradas e saídas para a obtenção do Saldo Líquido final, determinou-se que, atualmente, deverão estar em funcionamento aproximadamente 23,2 milhões de motores de indução trifásicos na indústria brasileira, como apresentado pela Tabela 13. Tendo determinado o Saldo Líquido de motores dos anos de 2003 a 2019, tem-se uma base considerável de dados para comparação.

Desta forma, para se realizar a comparação serão utilizados os dados referentes a população de motores elétricos citados na seção 4.1.2. A Figura 8 apresenta os dados de população de motores elétricos integrais no Brasil no período de 2003 a 2019 em comparação com os dados de população de motores citados na seção 4.1.2.

Figura 8 - Saldo Líquido X População Segundo Autores

Fonte: Autoria própria

Através dos resultados expressos pela Figura 8, é possível realizar uma comparação dos valores calculados pelo método proposto em relação aos valores citados pelos autores na seção 4.1.2. Desta forma, fica claro que os valores encontrados no ano de 2005 são bastante coerentes, tendo em vista que Schaeffer *et al* (2005) em seu relatório baseava-se em uma amostra de campo de 2119 motores, pertencentes a 18 plantas industriais, além de levar em consideração as informações disponíveis à época sobre vendas e produção de motores.

Levando em consideração os valores de população presentes no trabalho de Micerino (2012), chega-se à conclusão que a grande disparidade entre os valores encontrados nesse trabalho e os valores encontrados por ele, deve-se ao fato do autor levar em consideração somente os dados de crescimento no consumo de energia elétrica. Sem considerar as saídas de motores da população final ou até mesmo os valores anuais de vendas. Desta forma o autor chega a um valor muito distante do valor encontrado neste trabalho. Porém Micerino (2012) justifica em seu trabalho que o índice utilizado por ele não é um índice de elevada precisão, pois não leva em consideração a introdução de instrumentos que melhoram o rendimento dos motores, que gera um impacto ao nível de correlação entre o aumento no consumo de energia elétrica utilizado e a evolução do parque industrial de motores.

Tendo em vista o valor de população citado por Andrade (2017), é possível chegar à conclusão que o valor citado pelo autor é próximo ao encontrado neste trabalho, tendo uma diferença de aproximadamente 1 milhão de motores em funcionamento. Se a análise for feita

considerando o ano de 2012, os valores ficam ainda mais próximos, tendo uma diferença de pouco mais de 100 mil motores ativos. Por fim, realizando a comparação entre o valor citado por Souza *et al* (2019) e os valores apresentados pela Figura 8, pode-se dizer que o Saldo Líquido final encontrado nesse trabalho é um valor representativo da realidade brasileira.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Saldo Líquido final de motores elétricos em funcionamento estimado é bastante coerente, tendo em vista a proximidade dos valores encontrados com os valores usados como referência, no ano de 2019 a diferença é de aproximadamente 1 milhão de motores, é possível observar que os valores encontrados sempre estiveram acima dos valores de comparação, isso pode ser atrelado a algumas considerações que não foram feitas por falta de fontes que dessem o embasamento teórico necessário. O número de avarias em motores por ano é um exemplo disso.

A coleta de informações sobre a produção, vendas e os hábitos de uso de motores elétricos na indústria brasileira está desatualizada. O presente trabalho levou em consideração valores referentes a vendas de motores elétricos até o ano de 2019, porém somente os valores até o ano de 2006 são reais, sendo necessário realizar uma projeção para se obter os valores de vendas até o presente.

Os resultados apresentados no trabalho, em relação ao Saldo Líquido, se referem a motores na faixa de potência integral, ou seja, motores acima de 1 cv. Na prática, o universo de motores fracionários é bastante relevante, tendo um valor de aproximadamente 32% do total das vendas de motores elétricos no Brasil. Desta maneira, havendo um detalhamento a cerca das vendas de motores abaixo de 1 cv, bem como da vida útil aproximada para esses motores, é possível realizar um estudo semelhante acerca da população total (integrais + fracionários) de motores elétricos no Brasil.

Com a finalidade de se obter valores mais próximos da realidade, tem-se a necessidade de uma pesquisa para determinar as características de operação dos motores elétricos em uso no Brasil, o histórico atualizado de vendas de motores elétricos e da população atual de motores no Brasil. Essa pesquisa pode ser feita por meio de incentivos governamentais, com a justificativa de melhorar os índices de eficiência energética, tendo em vista que os motores elétricos consomem cerca de 70% da energia elétrica utilizada na indústria brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABINEE. Comportamento da Industria Elétrica e Eletrônica. **Associação Brasileira da Industria Elétrica e Eletrônica/Rio de Janeiro**, 2014.

ANDRADE, Cássio Tersandro de Castro. **Uma Abordagem Determinística Com Análise De Incerteza Para A Viabilidade De Programas De Eficiência Energética**: Estudo De Caso De Motores Elétricos. 2017. 194 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

ELETROBRAS, **Guia operacional de motores elétricos - versão 2000**, Rio de Janeiro, RJ, 2000.

FERNANDES, F. C. F.; GODINHO FILHO, M. **Planejamento e Controle da Produção. Dos Fundamentos ao Essencial**. São Paulo: Atlas S.A, 2010.

GARCIA, Agenor Gomes Pinto. **Impacto Da Lei De Eficiência Energética Para Motores Elétricos No Potencial De Conservação De Energia Na Indústria**. 2003. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

IBGE. **Pesquisa Industrial Anual - Produto 2017**, IBGE. 2017.

LEMOES, Fernando de Oliveira. **Metodologia Para Seleção de Métodos de Previsão de Demanda**. 2006. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. LTC, 2017

MICERINO, Fabio José. **Impacto Da Utilização De Motores De Alto Rendimento E Sua Aplicação No Leilão De Eficiência Energética**. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço Energético Nacional 2010**. Brasília: EPE, 2010. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-133/topico105/Relat%C3%B3rio%20Final%202010.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

PACHECO, R. F. & SILVA, A. V. F.. **Aplicação de modelos quantitativos de previsão em uma empresa de transporte ferroviário**. XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção - Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2003, p.1-8. - PACHECO, SILVA, 2003.

SANTOS, André Luiz dos. Avaliação Do Potencial De Conservação De Energia Em Motores Elétricos No Brasil. 2005. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajuba, Itajubá, 2005.

SCHAEFFER *et al*, **Avaliação dos Índices de Eficiência Energética para Motores Trifásicos de Indução**, Rio de Janeiro, RJ, 2005.

SOUZA, R. C. **Pesquisa Mercadológica sobre Motores Recondicionados: Uma proposta para o órgão regulador**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019.

TRIOLA, Mário F. **Introdução a Estatística**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática**. São Paulo: Atlas S.A, 2007.

WEG. **Guia De Especificação: Motores Elétricos. Jaraguá do Sul**: WEG, 2014. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2019.