

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

Marco Antônio Trindade Leão

**ANÁLISE CONSUMO ENERGÉTICO ENTRE DOIS VEÍCULOS DE
PROPULSÃO A AR**

Novo Hamburgo, RS
2017

Marco Antônio Trindade Leão

**ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO ENTRE DOIS VEÍCULOS DE
PROPULSÃO A AR**

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

Orientador: Prof. Dr. Cristiano José Scheuer.

Novo Hamburgo, RS
2017

Marco Antônio Trindade Leão

**ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO ENTRE DOIS VEÍCULOS DE
PROPULSÃO A AR**

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

Aprovado em 07 de outubro de 2017:

Prof. Cristiano José Scheuer, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Prof. Claudio Roberto Losekann, Dr. (UFSM)
(Comissão Examinadora)

Prof. Ademar Michels, Dr. (UFSM)
(Comissão Examinadora)

Novo Hamburgo, RS
2017

RESUMO

ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO ENTRE DOIS VEÍCULOS DE PROPULSÃO A AR

AUTOR: Marco Antônio Trindade Leão
ORIENTADOR: Dr. Cristiano José Scheuer

Esta monografia apresenta um estudo do consumo energético entre dois modelos de veículo de propulsão a ar, os modelos A-100 e A-200, empregados por uma operadora brasileira de transporte público. É feita uma análise do consumo de energia destes modelos para realização do percurso da estação aeroporto Trensurb até o Terminal 1 do Aeroporto Salgado Filho (cidade de Porto Alegre - RS), através de análises e comparações. Com a realização do estudo foi possível identificar qual dos veículos utilizados é mais econômico em termos de operação. Baseado nas análises pode-se concluir que o veículo A-100, gasta 39,7 % menos energia quando comparado ao veículo A-200. Ocasionalmente uma economia significativa em termos de energia elétrica. O custo de propulsão por passageiro transportado, utilizando o veículo A-100, fica em torno R\$ 0,13 centavos, valor baixo comparado com outros sistemas de transporte.

Palavras-chave: Eficiência energética. Aeromóvel. Propulsão a ar. Quantificação energética.

ABSTRACT

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION AMONG TWO AIR PROPULSION VEHICLES

AUTHOR: Marco Antônio Trindade Leão
ADVISOR: Dr. Cristiano José Scheuer

This monograph presents study of the energy consumption of two models of an air propulsion vehicle, A-100 and A-200, in a public transportation company in Brazil. The study analyzes the energy consumption to go from the airport metro station to terminal 1 at Salgado Filho Airport by means of analyzes and comparisons. Through this study it was possible to identify which vehicle is more economic regarding operation. Based on the analyses it was concluded that vehicle A-100 spends 39.7% less energy than vehicle A-200, resulting in a significant economy of electric energy. The cost of propulsion per transported passenger using vehicle A-100 is about R\$0,13 which is a low value in comparison to other transportation systems.

Keywords: Energy efficiency. Monorail train. Air propulsion. Energy quantification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema da propulsão pneumática	14
Figura 2 – Dutos de interligação das válvulas de controle com o ventilador	15
Figura 3 – Montagem do motor no ventilador	17
Figura 4 – Estrutura do ventilador	18
Figura 5 – Rotor do ventilador com aletas curvadas para trás	19
Figura 6 – (a) forma construtiva (b) curva característica de ventilador centrífugo de rotor com aletas curvadas para trás	20
Figura 7 – Ventilador acionado à velocidade variável	21
Figura 8 – Configuração veículo A-100	23
Figura 9 – Configuração veículo A-200	24
Figura 10 – Medições de corrente de partida do compressor	25
Figura 11 – Medições de corrente das contadoras do ar condicionado	25
Figura 12 – Comparativo peso morto x carga útil x economia.....	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Placa de identificação do motor	16
Quadro 2 – Potência consumida dos equipamentos A-100	26
Quadro 3 – Potência consumida dos equipamentos A-200	26

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparativo da redução de potência ativa de entrada.....	21
Gráfico 2 – Consumo total de energia em operação dos veículos A-100 e A-200	28
Gráfico 3 – Distribuição mensal dos veículos na operação.....	29
Gráfico 4 – Custo de propulsão por passageiro transportado	30
Gráfico 5 – Consumo de energia e custo operacional entre veículo A-100 e A-200 em um período de 30 dias.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSA	Aeromóvel Brasil S.A.
AISI	American Iron and Steel Institute (Instituto Americano do Ferro e do Aço)
APM	Automated People Movers (Movedor Automático de Pessoas)
ATC	Automatic Train Control (Sistema de Controle Automático)
ATR	Aeromóvel Trensurb
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
GGD	Grupo Gerador Diesel
GMP	Grupo Moto Propulsor
IHM	Interface Homem Máquina
MIT	Motor de Indução Trifásico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 APRESENTAÇÃO	10
1.2 OBJETIVO.....	11
1.2.1 Objetivo geral	11
1.2.2 Objetivos específicos	11
1.3 JUSTIFICATIVA	12
1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA	12
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO	13
2.1 FUNCIONAMENTO DO AEROMÓVEL.....	13
2.1.1 Grupo motopropulsor (GMP)	15
2.1.2 Motor elétrico	16
2.1.3 Ventilador	17
2.1.4 Rotor	18
3 METODOLOGIA	22
3.1 VEÍCULO A-100	22
3.2 VEÍCULO A-200	23
3.3 MEDIÇÃO DAS CARGAS ELÉTRICAS INSTALADAS NOS VEÍCULOS	24
3.4 DADOS ENERGÉTICOS DA EMPRESA	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5 CONCLUSÃO	32
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	32
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

As necessidades econômicas e sociais do ser humano requerem o seu deslocamento no espaço, o que pode ser realizado a pé ou por meio de transporte, através de veículos motorizados ou não. Nos países com economia em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, as pessoas que moram nos centros urbanos realizam, em média, dois deslocamentos ao dia (valor médio contabilizado entre as pessoas que se deslocam e aquelas que não se deslocam), valor que corresponde à metade dos deslocamentos realizados por pessoas que residem em países desenvolvidos (VASCONCELLOS; CARVALHO; PEREIRA, 2011).

Dessa forma, em cidades brasileiras com número de habitantes na casa de três milhões, diariamente são realizados em torno de seis milhões de deslocamentos, efetuados com maior ou menor nível de conforto, de acordo com o tipo de meio de transporte utilizado, implicando em consumo de tempo, espaço, energia e recursos financeiros, geração, igualdade, externalidades negativas como, por exemplo, a poluição do ar atmosférico, os acidentes de trânsito e os congestionamentos.

Em razão do elevado crescimento populacional e urbano experimentado por algumas cidades brasileiras a partir da década de 1960, muitos centros urbanos passaram a apresentar sistemas de mobilidade de baixa qualidade e custo elevado, com impactos negativos na vida das pessoas que o utilizam, bem como nos custos econômicos e ambientais para a sociedade. Assim, o estudo das condições de mobilidade (por extrato social), dos consumos e das externalidades a elas veiculadas é fundamental para avaliar a qualidade da vida urbana e para identificar ações que possam reduzir os problemas, melhorar a qualidade de vida e a eficiência da movimentação de pessoas e mercadorias (VASCONCELLOS; CARVALHO; PEREIRA, 2011).

Embora o crescente aumento no consumo de energia possa ser reflexo do aquecimento econômico e da melhoria na qualidade de vida, este promove alguns aspectos negativos como esgotamento dos recursos não renováveis e impactos ambientais (ANEEL, 2008). Neste sentido, a utilização eficiente da energia é uma das

maneiras de se conter a expansão do consumo energético, sem, no entanto, comprometer a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico.

Frente a esse panorama, neste trabalho será realizado um estudo do consumo energético entre dois modelos de veículo de propulsão a ar, os modelos A-100 e A-200, empregados por uma operadora de trem brasileira. Com base nos resultados deste estudo será possível identificar qual é o veículo que possui uma maior eficiência energética em termos de operação.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise de eficiência energética entre dois veículos aeromóveis, de modo a identificar o seu consumo de energia durante a operação. Os veículos estudados serão os modelos A-100 e A-200, utilizados por uma empresa de transporte público situado na cidade de Porto Alegre – RS.

1.2.2 Objetivos específicos

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

- a) Verificar as cargas elétricas dos componentes montados nos veículos aeromóveis modelos A-100 e A-200 no modo de operação;
- b) Avaliar o consumo energético do modelo A-100 em operação entre a estação aeroporto trensurb até o Terminal 1 do Aeroporto Salgado Filho;
- c) Avaliar o consumo energético do modelo A-200 em operação entre a estação aeroporto trensurb até o Terminal 1 do Aeroporto Salgado Filho;
- d) Comparar o consumo energético entre os veículos modelos A-100 e A-200 durante operação comercial;
- e) Identificar qual dos veículos é mais econômico em termos de operação;
- f) Verificar o custo de passageiro transportado.

1.3 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento de alternativas para melhorar a qualidade do transporte urbano de passageiros tem crescido vertiginosamente em todo o mundo ao longo dos últimos anos. A expansão populacional e a maior dificuldade de inserção de novas linhas para o transporte tradicional em espaços urbanos densos, providos de construções e equipamentos consolidados, associado à baixa eficiência energética dos meios de transporte tradicionais tem forçado a busca por soluções inovadoras adequadas a realidade.

Assim, ao longo dos últimos anos, nos grandes centros urbanos, tem-se investido na implantação de aeromóveis para a realização do transporte de passageiros, veículos estes movimentados através de propulsão pneumática, apresentando diversas vantagens em relação aos meios de transporte tradicionais. Embora o seu emprego tenha se espreado, há pouca informação no que se refere à eficiência energética desses veículos. Por conseguinte, o presente trabalho é justificado, uma vez que, buscou-se através dele ampliar o estado atual do conhecimento sobre a eficiência energética dos aeromóveis.

1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

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

A seção 2 apresenta o referencial teórico abordando os assuntos tratados nesta monografia, apresentando uma breve descrição do funcionamento dos aeromóveis.

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

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

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

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Em países desenvolvidos o uso de transporte coletivo, em detrimento aos automóveis é, muitas vezes, uma forma de evitar engarrafamentos e o problema de falta de estacionamento, observado nas zonas centrais de grandes cidades. Em países em desenvolvimento a utilização do transporte público coletivo é praticada em grande escala. A escassez das fontes de energia em relação à demanda crescente, aliada aos aumentos vertiginosos nos preços do petróleo, justifica políticas de incentivo à investimentos em transporte metroferroviário.

Atualmente dez mil veículos com apenas um ocupante trafegando nas avenidas, atraído para o sistema metroferroviário representa uma economia de aproximadamente dez milhões de litros de combustíveis. A energia elétrica usada como combustível no sistema de propulsão metroferroviário configura uma fonte de energia renovável e limpa, se comparada aos combustíveis derivados do petróleo. Assim sendo, são apresentados no presente capítulo o princípio de funcionamento e os sistemas que integram os aeromóveis (R. NETO; CURY; BRANCO, 2006).

2.1 FUNCIONAMENTO DO AEROMÓVEL

O aeromóvel é um meio de transporte não convencional, classificado na categoria dos APM (*Automated People Movers*), que corresponde à um conjunto de tecnologias de transporte que operam sob as seguintes características gerais: veículo relativamente leve de pequena à média capacidade; operação 100% automatizada (sem condutores a bordo) trafegando em vias exclusivas; alta frequência de serviços pequenos (*headways*), atendendo a demanda específica, com o propósito final de realizar ligações dedicadas de forma célere, do tipo “origem-destino” entre pontos de interesse comum, dentro e/ou fora das fronteiras de um sítio específico.

Sistemas APM são, em sua imensa maioria, operados em via elevada de forma a criar um novo espaço urbano de circulação acima dos obstáculos encontrados no nível do solo e sem a necessidade de onerosas intervenções e desapropriações. Aplicações típicas se dão em: terminais aeroportuários, centros comerciais, ligação a grandes estacionamentos periféricos, complexos turísticos, parques ecológicos, campus universitários, hospitais, dependências de grandes corporações, alimentação

de sistemas troncais de transporte (metrô, trem e corredores de ônibus), densos centros urbanos, dentre outras.

O aeromóvel baseia-se no princípio de redução do peso morto por passageiro transportado. Sua propulsão é pneumática, utilizando-se de gradientes de pressão no interior de um duto localizado na via elevada logo abaixo do veículo e que propõem o mesmo através do empuxo fornecido a uma aleta solidária ao veículo, que se movimenta sob rodas de aço em trilhos tradicionais.

O ar é insuflado pela ação do GMP (Grupo Moto Propulsor), o qual é acionado eletricamente. O sistema de deslocamento do aeromóvel é composto por dois GMPs dispostos em casas de máquina, localizadas em pontos determinados no solo. O veículo pode ser movimentado por pressão, por sucção ou por pressão e sucção (AEROMÓVEL BRASIL S. A., 2011).

A Figura 1 ilustra esquematicamente o princípio de funcionamento do aeromóvel, indicando como se dá a sua propulsão.

Figura 1 – Esquema da propulsão pneumática



Fonte: AEROMÓVEL BRASIL S. A. (2014).

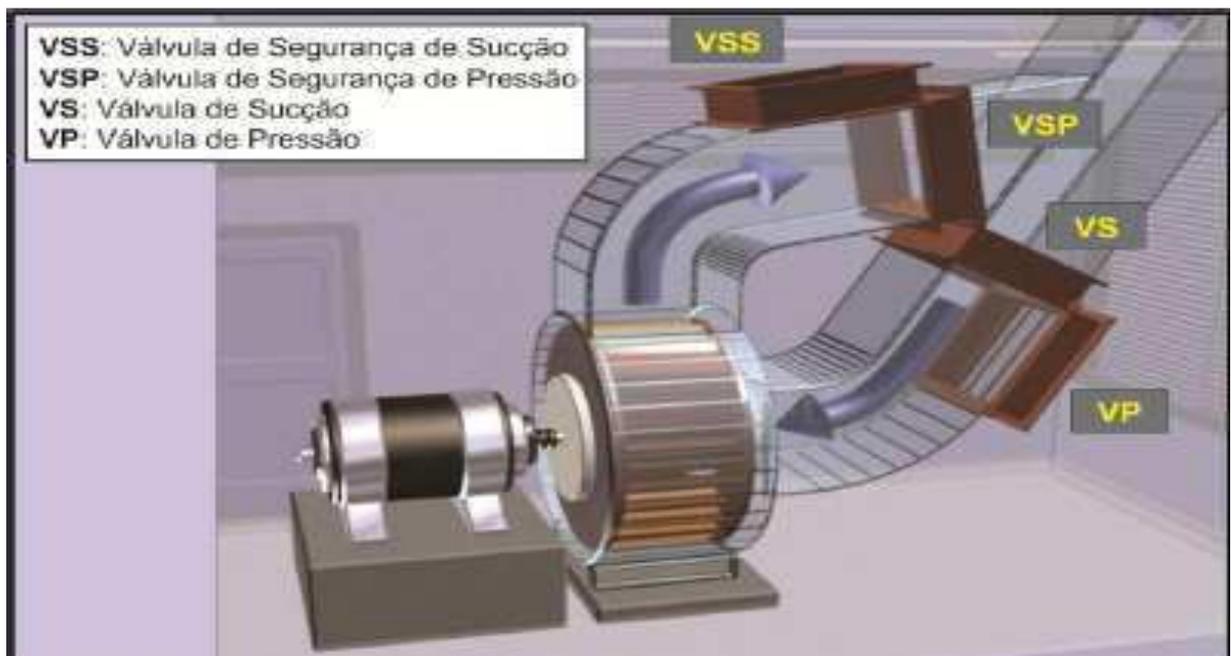
2.1.1 Grupo motopropulsor (GMP)

O sistema de propulsão GMP é composto pelos seguintes subsistemas: ventilador; motor elétrico; válvula de controle do fluxo de ar; sistema de atuação para válvulas de controle de fluxo de ar; dutos de interligação da propulsão; sistema de isolamento do ruído e vibração; sistema de controle da velocidade rotacional do ventilador; sistema de sensoriamento para funções de controle e monitoramento; sistema elétrico e outros subsistemas para comando; controle; proteção e integração de todo o equipamento do GMP (AEROMÓVEL BRASIL S. A., 2014).

O sistema de operação, controle e segurança, bem como suas funções de aceleração e desaceleração do veículo e o freio pneumático são executados pelo GMP através de sinais do ATC (*Automatic Train Control*). O controle da propulsão é feito com o auxílio de válvulas situadas no GMP, nos dutos de interligação, nos dutos secundários e no duto de propulsão. As válvulas de controle do fluxo de ar devem controlar o fluxo de ar gerado pelo GMP.

A Figura 2 ilustra o duto de interligação das válvulas de controle acopladas ao ventilador GMP.

Figura 2 – Dutos de interligação das válvulas de controle com o ventilador



A pressão via GMP1 é gerada com a abertura dos *dampers* VP1 e VSP1.
A sucção via GMP1 é gerada com a abertura de VS1 e VSS1.

2.1.2 Motor elétrico

O motor de indução trifásico (MIT) é largamente utilizado na indústria por apresentar características típicas como: robustez e confiabilidade, podendo ser uma opção para aplicações com velocidade variável. Este apresenta baixo custo, alta confiabilidade, alta eficiência, fabricação simples e padronizada. No Quadro 1 são apresentados os dados técnicos do motor elétrico de indução com rotor de gaiola, conforme o manual do fabricante (VOGES, 2010).

O motor empregado no sistema é de dois polos, com 3.582 rpm, tensão de alimentação de 380 V, 500 CV de potência nominal e fator de serviço de 1,15. A referência do fabricante VOGES é a seguinte: VIFW355M/L/J2 500CV 380V 60Hz. Na Figura 3 observa-se a montagem do motor no ventilador.

Quadro 1 – Placa de identificação do motor

Tabela de dados do motor	
Fabricante:	Voges
Potência:	500 CV
Nº Pólos:	2
Tensão:	380 V
Frequência:	60 Hz
Rotação Nominal:	3582 rpm
Fator de Serviço:	1,15
Método de Partida:	Inversor
Corrente a Vazio:	170 A
Corrente Nominal:	650 A

Fonte: VOGES (2010).

Figura 3 – Montagem do motor no ventilador



Fonte: AEROMÓVEL BRASIL S. A. (2014).

2.1.3 Ventilador

Um ventilador é uma máquina que produz fluxo de gás com duas ou mais pás fixadas a um eixo rotativo. Os ventiladores convertem a energia mecânica rotacional, aplicada ao seu eixo, em aumento de pressão total do gás em movimento. A conversão é obtida através da alteração do movimento do fluido.

No sistema que compõe o aeromóvel a carcaça do ventilador é do tipo bipartida, totalmente construída em chapas e perfis de aço carbono AISI 1020, soldada continuamente entre si, em atmosfera inerte e estruturada lateralmente por quadros de cantoneiras, formando assim um conjunto compacto e robusto apropriado para serviço pesado e contínuo. A Figura 4 ilustra a estrutura do ventilador sobre a qual é feita a montagem de todos os componentes.

Figura 4 – Estrutura do ventilador



Fonte: SOMAX AMBIENTAL & ACÚSTICA (2015).

2.1.4 Rotor

O rotor do ventilador é fabricado com as pás curvas inclinadas para trás (*Limit Load*), com perfil aerodinâmico para alta eficiência energética e baixo ruído, construído em chapas de aço CORTEN para maior durabilidade, rigorosamente balanceado (qualidade de balanceamento G: 6,3) estática e dinamicamente em equipamento eletrônico “*Schenck*”, conforme indicação da Norma ISO 1940 (AEROMÓVEL BRASIL S. A., 2014).

O rendimento estático máximo de cerca de 80% comumente ocorre próximo ao limite de seu intervalo de operação normal. Geralmente quanto maior o ventilador mais eficiente ele se torna para uma determinada seleção.

A vantagem do ventilador *Limit Load* é o maior rendimento e a curva de potência de não sobrecarga (carga limite). A curva de potência geralmente atinge um máximo no meio do intervalo de operação normal, portanto, a sobrecarga, geralmente, não é problema. Inerentemente, um projeto mais robusto o torna adequado para operação em pressão estática mais elevada.

As desvantagens do ventilador *Limit Load* incluem: primeiramente, a rotação mais alta, a qual requer tamanhos maiores de eixo e mancal e confere mais importância ao balanceamento apropriado e, em segundo lugar, uma operação

instável ocorre na medida em que a pressão estática de operação se aproxima da pressão estática máxima (para vazão nula). Esse ventilador também é inadequado para o transporte de materiais. A Figura 5 apresenta uma ilustração do rotor do ventilador (SOLER; PALAU, 2003).

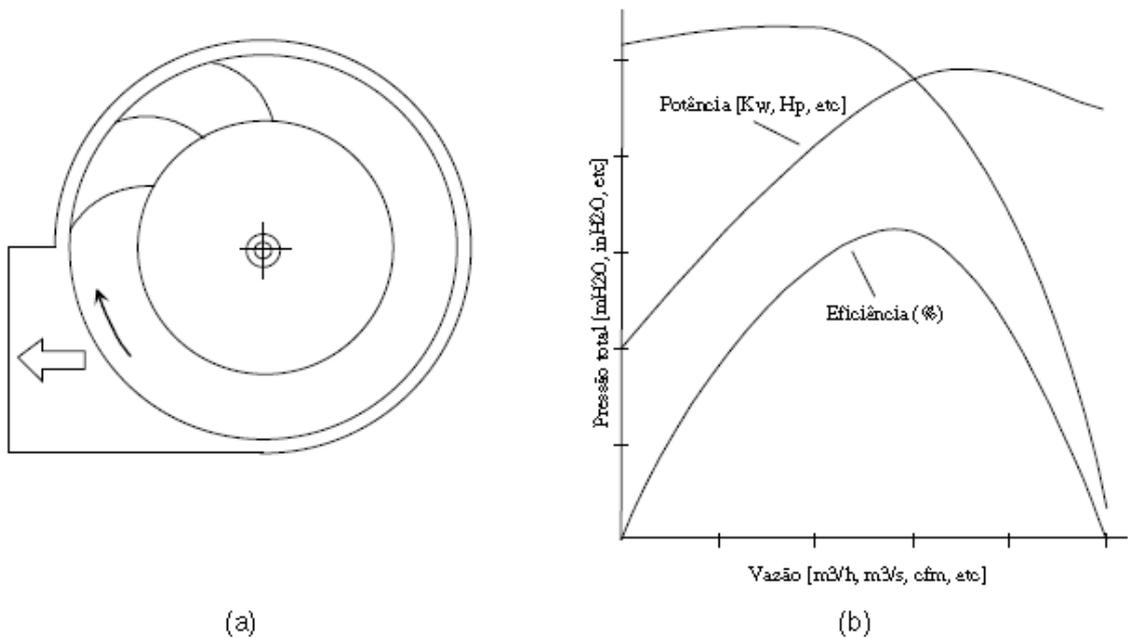
Figura 5 – Rotor do ventilador com aletas curvadas para trás



Fonte: SOMAX AMBIENTAL & ACÚSTICA (2015).

Através da Figura 6 (a) é possível observar a forma construtiva do rotor e por meio da Figura 6 (b) suas curvas características, incluindo a de eficiência. Destaque para sua curva de potência: o valor máximo ocorre em um ponto equivalente a 70-80% da vazão máxima. Segundo França (1999) este ventilador nunca terá problemas de sobrecarga por projeto incorreto ou operação inadequada do sistema de ventilação, por isso o ventilador de aletas curvadas para trás é denominado de ‘sem sobrecarga’ (MOREIRA, 2006).

Figura 6 – (a) forma construtiva (b) curva característica de ventilador centrífugo de rotor com aletas curvadas para trás



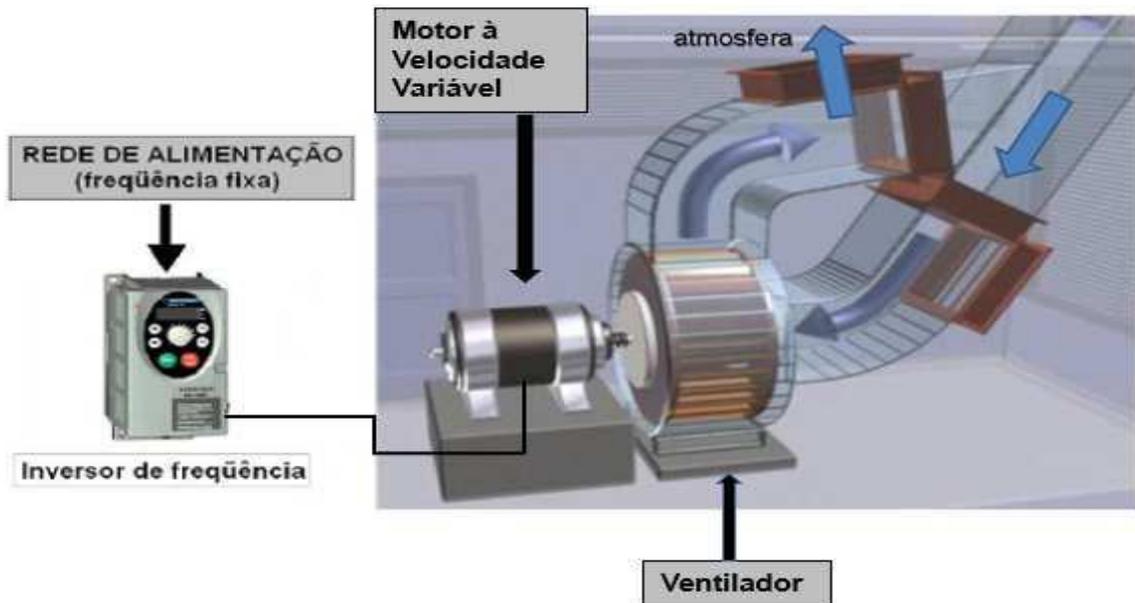
Fonte: MOREIRA (2006).

Uma forma de melhorar a eficiência energética do sistema seria viabilizada pela possibilidade de operação do ventilador em velocidade variável. Com o desenvolvimento da eletrônica de potência é possível substituir os métodos clássicos de controle de vazão (*damper*) por acionamentos de velocidade variável.

A utilização de acionamentos eletrônicos para variação de velocidade reduz em aproximadamente 40% as perdas, com relação ao estrangulamento mecânico. O acionamento de ventiladores através de inversores busca uma operação com maior eficiência energética no controle da vazão.

Neste sentido, a figura 7 ilustra um esquema com a configuração do acionamento eletrônico com velocidade variável.

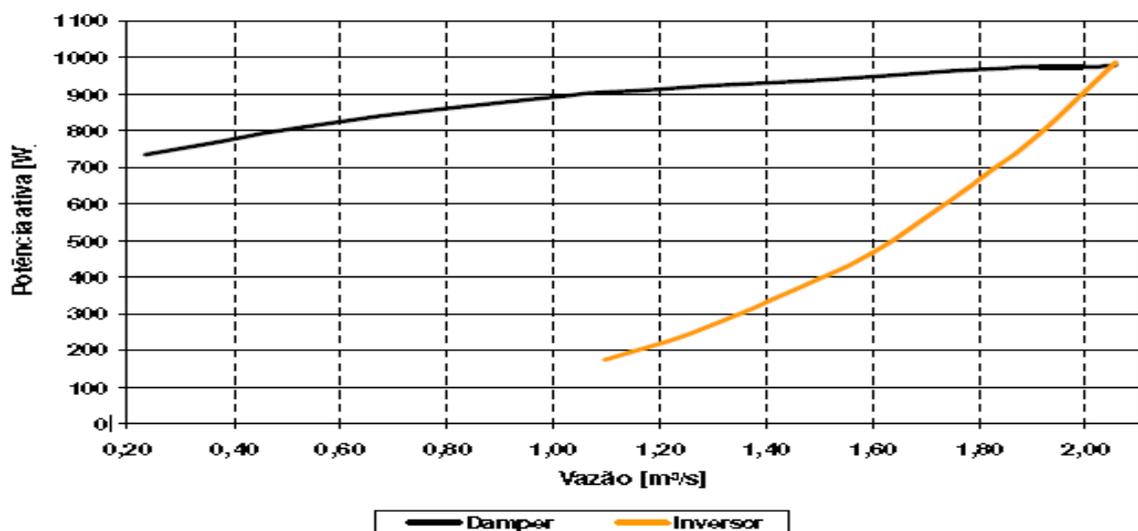
Figura 7 – Ventilador acionado à velocidade variável



Fonte: AEROMÓVEL BRASIL S. A. (2013).

Ao se utilizar o acionamento eletrônico é muito importante conhecer a característica conjugado - velocidade da carga, para que o acionamento possa ser especificado de modo correto. Como mostrado no Gráfico 1, o controle de vazão através de inversor requer menor potência de entrada para a mesma vazão em relação ao controle tradicional por *damper*, mostrando o potencial de economia de energia elétrica para aplicações em ventiladores (MOREIRA, 2006).

Gráfico 1 – Comparativo da redução de potência ativa de entrada



Fonte: MOREIRA (2006).

3 METODOLOGIA

De modo a atender aos objetivos estabelecidos, inicialmente realizou-se um levantamento visando determinadas características dos veículos A-100 e A-200, os quais constituem o objeto de estudo deste trabalho. Em seguida foi realizada a ponderação do consumo energético dos veículos, determinando suas cargas energéticas através de medições realizadas em campo. Na sequência foram levantados os dados de consumo energético dos ventiladores, registrados no painel de controle dos veículos. Por fim, efetuou-se o enquadramento da empresa junto à distribuidora de energia elétrica local.

A partir desses dados foi possível traçar um comparativo de consumo energético entre os dois veículos, durante sua operação, ao longo dos meses de janeiro a dezembro de 2016. Baseado no comparativo determinou-se qual dos dois veículos é mais econômico em termos de operação e analisado o custo de propulsão deste por passageiro.

3.1 VEÍCULO A-100

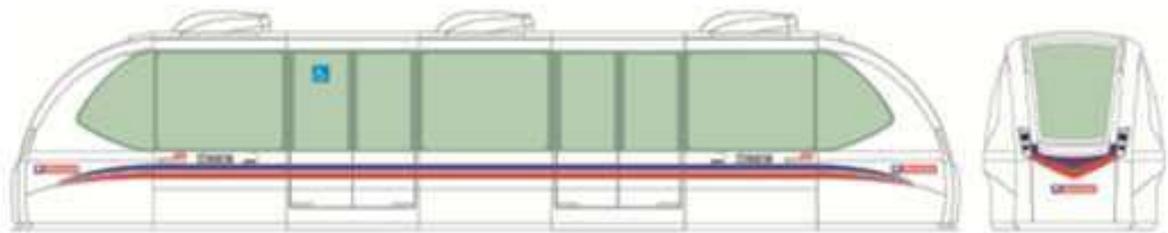
O aeromóvel modelo A-100, veículo fabricado em fibra com chassi em aço, foi concebido para ser o mais leve possível, não possuindo motores embarcados para promover a sua propulsão. Apresenta capacidade total de 150 passageiros, sendo 20 sentados e 130 em pé, possuindo uma taxa de ocupação de 6 passageiros por metro quadrado. Valor correspondente à duas vezes o número de passageiros que aquele suportado por um ônibus comuns.

Com medidas aproximadas de 3 metros de largura e 13 metros de comprimento, além de massa de 9.963 kg, o veículo é composto por uma carroceria suportada por dois truques, os quais são constituídos por um conjunto de quatro rodados cada. Nos rodados frontais estão fixadas placas de propulsão que se movimentam no interior do elevado, promovendo o movimento ou a parada do veículo.

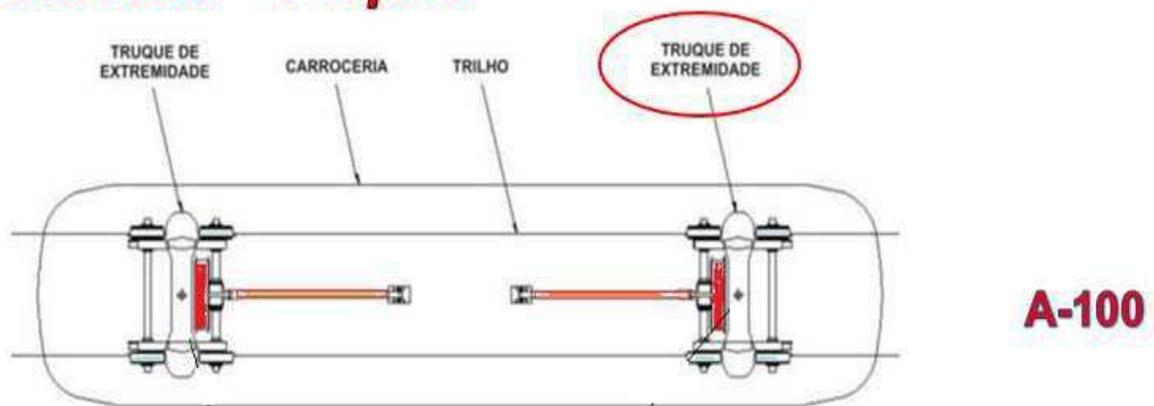
A energia necessária para o funcionamento de diversos sistemas do veículo é captada diretamente dos trilhos pelas rodas, sendo estas isoladas do restante do veículo. Sensores encontram-se instalados nas rodas e tem como finalidade fornecer informações de posicionamento, velocidade e sentido de deslocamento do veículo.

Em cada roda que compõe o truque estão instalados freios a disco, os quais têm como função promover o ajuste fino quando da parada nas estações. A figura 8 apresenta uma ilustração esquemática do veículo modelo A-100.

Figura 8 – Configuração veículo A-100



Veículos - truques



Fonte: AEROMÓVEL BRASIL S. A. (2013).

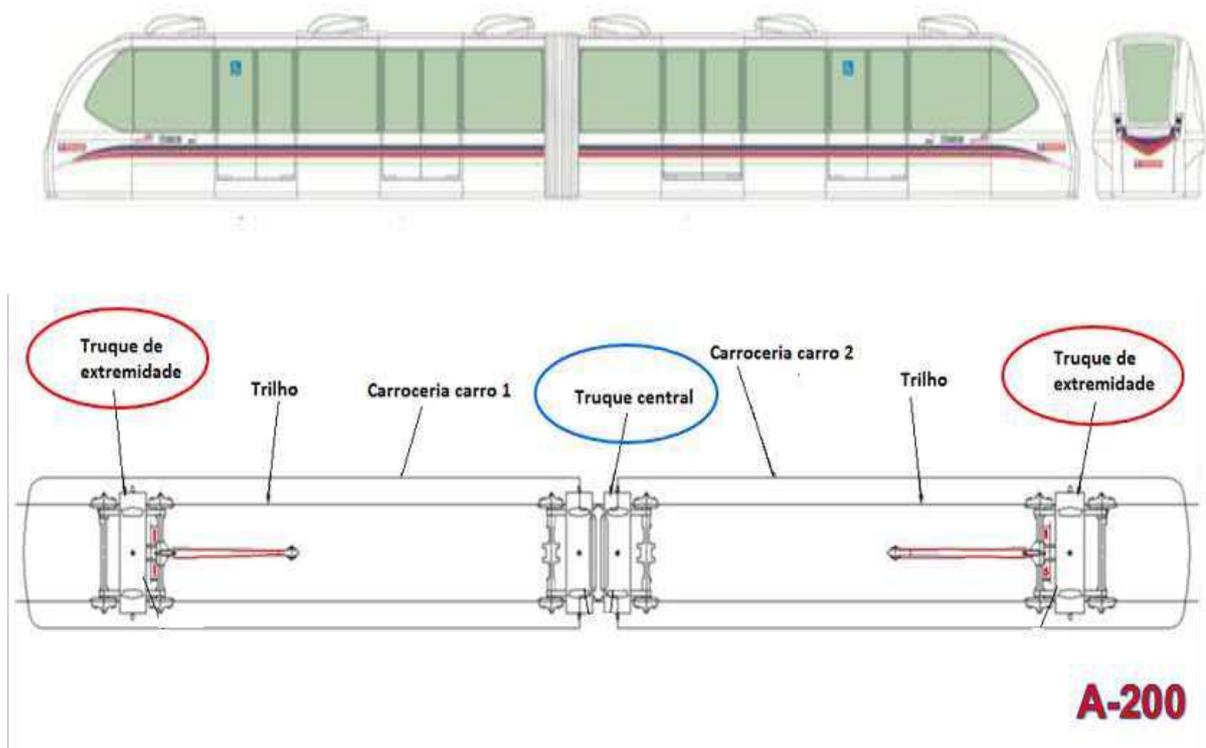
3.2 VEÍCULO A-200

O aeromóvel modelo A-200 é igualmente fabricado em carroceria de fibra suportada por chassi em aço sem motores de propulsão embarcados, com o intento de reduzir o seu peso. Apresenta capacidade para 300 passageiros, sendo 40 sentados e 260 em pé, possuindo uma taxa de ocupação de 6 passageiros por metro quadrado (igual ao do modelo A-100). Sua capacidade de carga corresponde à quatro vezes mais do que o ônibus comum e duas vezes a do modelo A-100.

Com medidas aproximadas de 3 metros de largura e 25 metros de comprimento e massa de 17.560 kg é composto de dois módulos articulados (carro 1 e carro 2) suportados por três truques, com quatro rodados cada. A fixação e posicionamento

das placas de propulsão, sistema de alimentação, posicionamento dos sensores e sistemas de frenagem são semelhantes ao veículo A-100, descrito anteriormente. Na figura 9 é apresentada uma ilustração esquemática do veículo modelo A-200.

Figura 9 – Configuração veículo A-200



Fonte: AEROMÓVEL BRASIL S. A. (2013).

3.3 MEDIÇÃO DAS CARGAS ELÉTRICAS INSTALADAS NOS VEÍCULOS

Para a determinação da potência consumida pelos equipamentos que compõem os veículos, foram realizadas três medições da corrente elétrica em cada uma das fases, com o equipamento operando e carregado com passageiros. Após, foi determinada a média aritmética dos valores medidos para se obter um valor de corrente média para cada veículo.

O valor médio da corrente foi multiplicado pela média das tensões medidas também nas fases anteriormente citadas, obtendo-se assim a potência real consumida de cada veículo. Esta metodologia foi utilizada devido a limitação de equipamentos de medição disponível para a realização do estudo.

Para a medição das grandezas elétricas foi utilizado um amperímetro tipo alicate com pinça de corrente. Nas figuras 10 e 11 são ilustradas as formas como foram efetuadas as medições.

Figura 10 – Medições de corrente de partida do compressor



Fonte: O autor.

Figura 11 – Medições de corrente das contadoras do ar condicionado



Fonte: O autor.

Os valores de corrente (A) e tensão (V) medidos em cada equipamento que compõem os veículos A-100 e A-200, bem como a potência (W) consumida por eles

são apresentados nos Quadro 2 e 3, respectivamente. Verifica-se, pela análise, que o veículo A-100 consome cerca de 50% da potência consumida em relação ao veículo A-200.

Quadro 2 – Potência consumida dos equipamentos A-100

Modelo veículo A-100					
Equipamento	Quantidade	Corrente [A]	Tensão[V]	Potência [W]	Pot. Total [kW]
Circuito corrente contínua					
Ar condicionado	3	55,5	26	1443	4,33
Monitores	2	0,9	24	21,6	0,043
Alto falantes	3	0,4	120	48	0,14
Farol	2	4	12	48	0,096
Iluminação emergência	12	0,2	24	4,8	0,058
Controle embarcado	1	4,16	120	499	0,4992
Carga de bateria	2	24,7	20,3	501,4	1,00
Indicador de destino	1	0,6	24	14,4	0,014
Iluminação do salão	2	0,4	24	9,6	0,019
TOTAL DE CARGA				2590,0	6,21

Equipamento	Quantidade	Corrente [A]	Tensão[V]	Potência [W]	Pot. Total [kW]
Circuito corrente alternada					
Compressor de ar	2	23	120	2760	5,52
Iluminação principal	18	0,11	120	13,2	0,24
TOTAL DE CARGA				2773,2	5,76

Fonte: O autor.

Quadro 3 – Potência consumida dos equipamentos A-200

Modelo veículo A-200					
Equipamento	Quantidade	Corrente [A]	Tensão[V]	Potência [W]	Pot. Total [kW]
Circuito corrente contínua					
Ar condicionado	4	55,5	26	1443	5,77
Monitores	4	0,9	24	21,6	0,086
Alto falantes	6	0,4	120	48	0,29
Farol	4	4	12	48	0,192
Iluminação emergência	36	0,2	24	4,8	0,173
Controle embarcado	3	4,16	120	499	1,4976
Carga de bateria	4	24,7	20,3	501,4	2
Indicador de destino	2	0,6	24	14,4	0,029
Iluminação do salão	4	0,4	24	9,6	0,038
TOTAL DE CARGA				2590,0	10,08

Equipamento	Quantidade	Corrente [A]	Tensão[V]	Potência [W]	Pot. Total [kW]
Circuito corrente alternada					
Compressor de ar	4	23	120	2760	11,04
Iluminação principal	36	0,11	120	13,2	0,475
TOTAL DE CARGA				2773,2	11,52

Fonte: O autor.

3.4 DADOS ENERGÉTICOS DA EMPRESA

A empresa utiliza energia fornecida pela Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), integrando o grupo de consumidores do grupo A na tarifação horo sazonal tarifa verde, onde o consumo de energia elétrica e a demanda de potência, de acordo com as horas de utilização diárias na ponta e fora de ponta e dos períodos seco e úmido são diferenciadas. Caracterizam-se também por um valor mensal fixo de demanda de potência contratada.

A empresa possui uma demanda contratada junto a fornecedora de energia elétrica de 130 kW de potência. Além disso, para garantir o funcionamento dos aeromóveis quando há falta de fornecimento de energia pela concessionária citada, a empresa dispõe de um sistema de geração própria de energia, através do GGD (Grupo Gerador Diesel) de 420/460 kVA de emergência, produzindo uma tensão 380 V, o qual possui capacidade para assumir todas as cargas de consumo do sistema (estações, veículo e Grupo Moto Propulsor). O sistema dos aeromóveis é dotado de um intertravamento que impede a alimentação simultânea da concessionária e do GGD. O gerador não é comumente utilizado em horários de pico por não ser viável economicamente.

A empresa tem horário de funcionamento de segunda a domingo, das 5 às 23 h e 20 min, correspondendo aos horários de pico as horas iniciais do dia, o meio dia e o final da tarde.

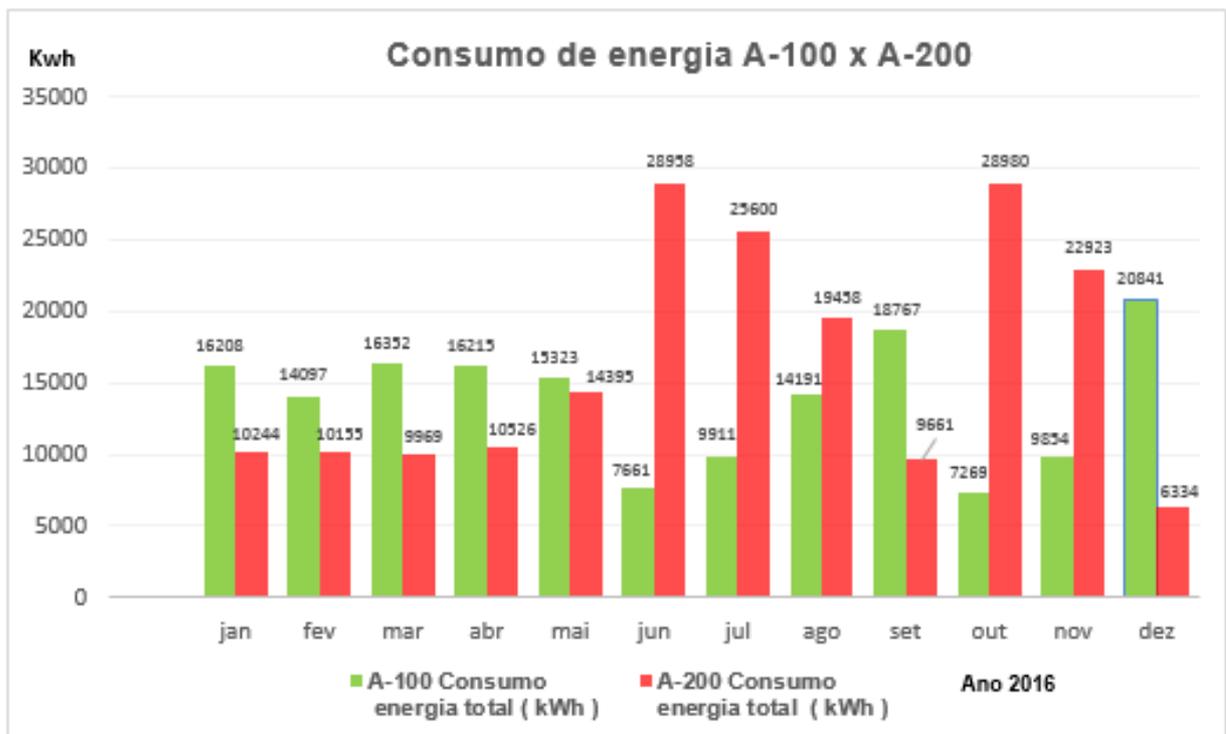
O consumo de energia total mensal é medido pela CEEE, já o consumo da propulsão é registrado na IHM (Interface Homem Máquina), localizada na sala de controle, na estação ATR (Aeromóvel Trensurb), que fica anexa à Estação Aeroporto da Trensurb.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Gráfico 2 apresenta um comparativo do consumo de energia total dos veículos A-100 e A-200 no período compreendido entre janeiro a dezembro do ano de 2016. O consumo de energia de cada veículo está diretamente relacionado a sua disponibilidade durante os períodos de operação, a qual é dependente da sua programação de manutenção (corretiva e preditiva). Nota-se na análise que o veículo A-200 apresenta um consumo maior em relação ao veículo A-100, mesmo apresentando baixa utilização conforme evidenciado no Gráfico 2.

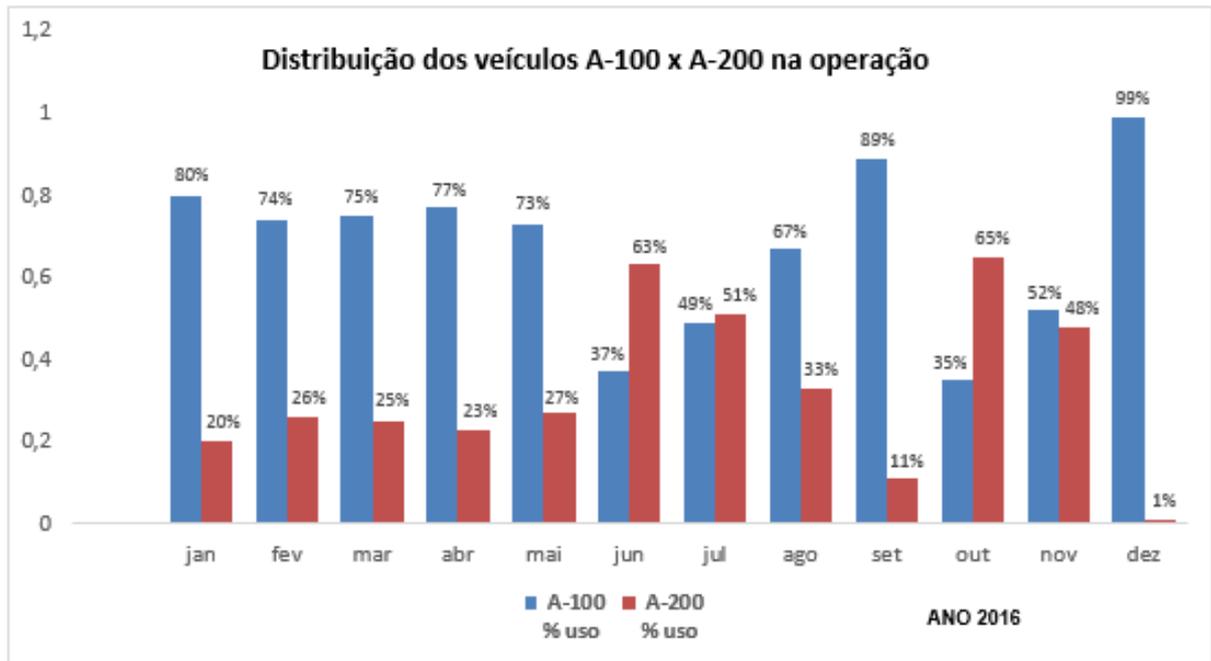
A disponibilidade da frota mede o tempo dentro do intervalo de operação em cada mês em que os veículos estão disponíveis para o uso imediato, haja vista que algumas atividades de manutenção não disponibilizam o veículo para tal.

Gráfico 2 – Consumo total de energia em operação dos veículos A-100 e A-200



Fonte: O autor.

Gráfico 3 – Distribuição mensal dos veículos na operação



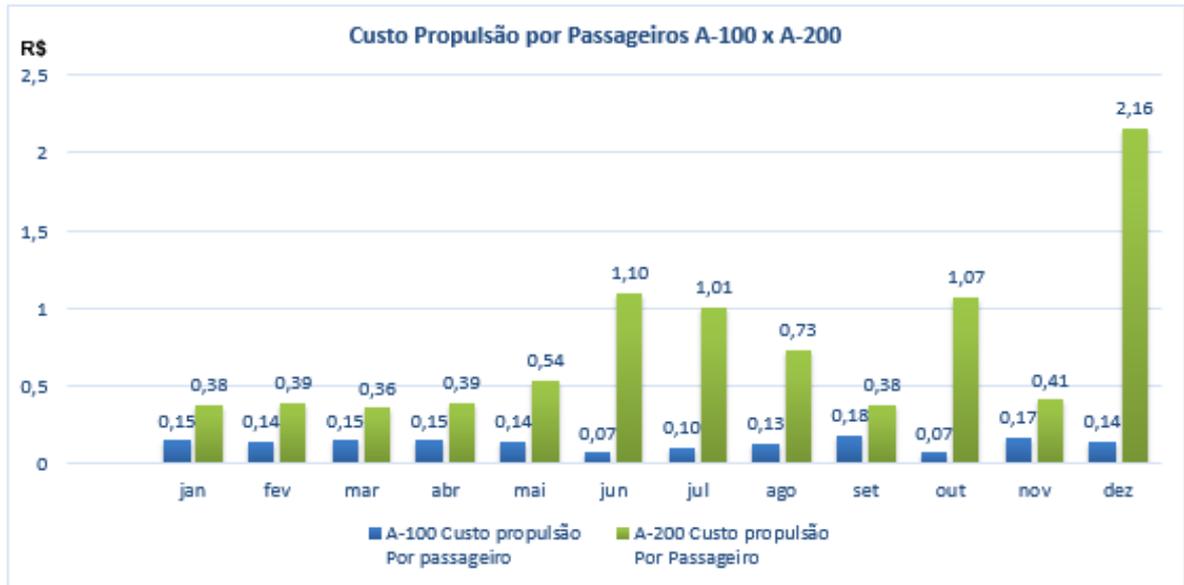
Fonte: O autor.

O sistema aeromóvel possui um reduzido índice de peso morto por passageiro transportado (razão entre a massa total do veículo vazio pela lotação máxima de passageiros). Um automóvel tem uma massa em média 1.000 kg e menos 10% da sua capacidade ocupada por passageiro, o que aumenta os custos e demanda um maior valor de energia por passageiro durante sua utilização.

Neste sentido, o Gráfico 4 apresenta o custo de propulsão por passageiro transportado entre os veículos A-100 e A-200 durante a operação entre os meses de janeiro a dezembro do ano de 2016, conforme sua disponibilização de operação. Pode ser observado que o veículo A-100 tem um menor custo de operação por passageiro transportado.

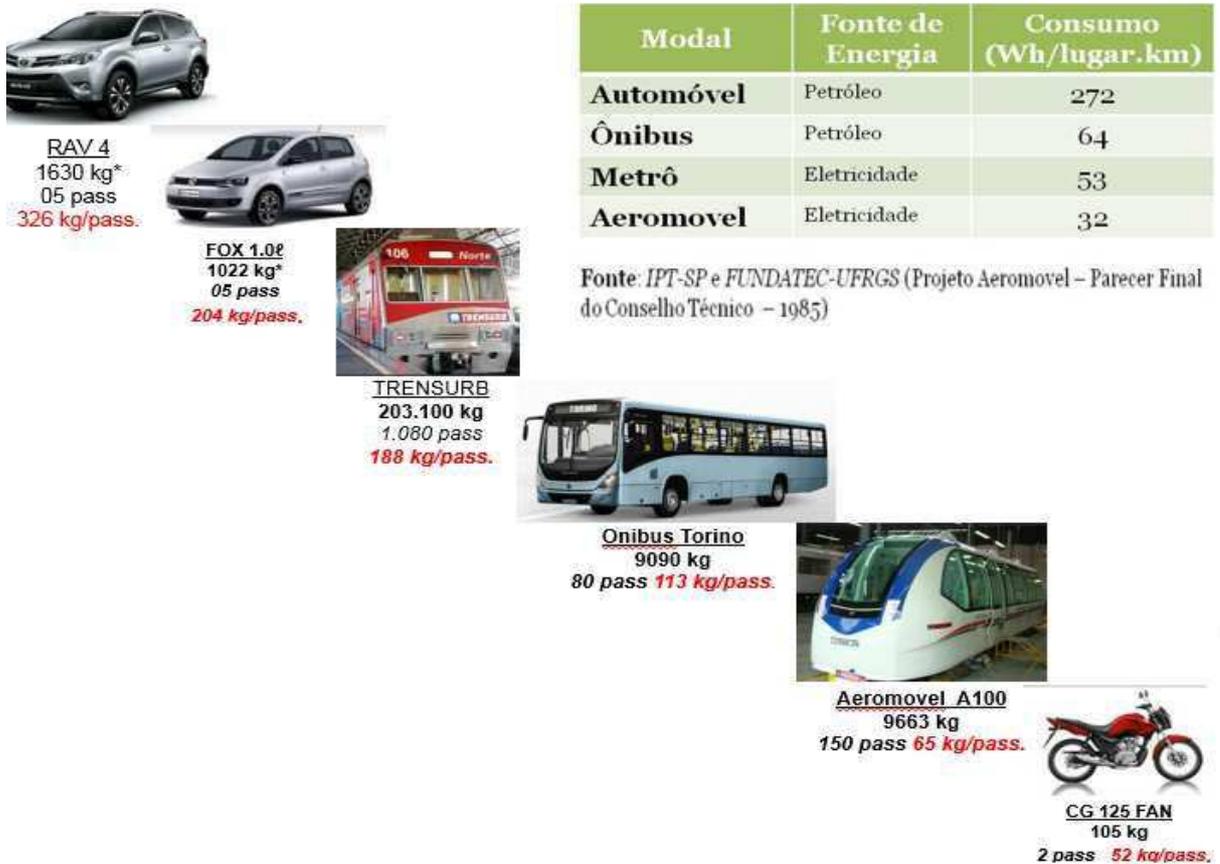
As medições também comprovam que o consumo de energia dos aeromóveis corresponde à metade da energia consumida por um ônibus convencional e 8,5 vezes inferior ao de um automóvel por passageiro transportado a uma distância de 1 quilômetro. Assim, no Gráfico 5 é apresentado um comparativo entre o peso morto de alguns moldais com suas cargas úteis e a sua média de consumo horário por passageiro e quilômetro rodado.

Gráfico 4 – Custo de propulsão por passageiro transportado



Fonte: O autor.

Figura 12 – Comparativo peso morto x carga útil x economia



Fonte: O autor.

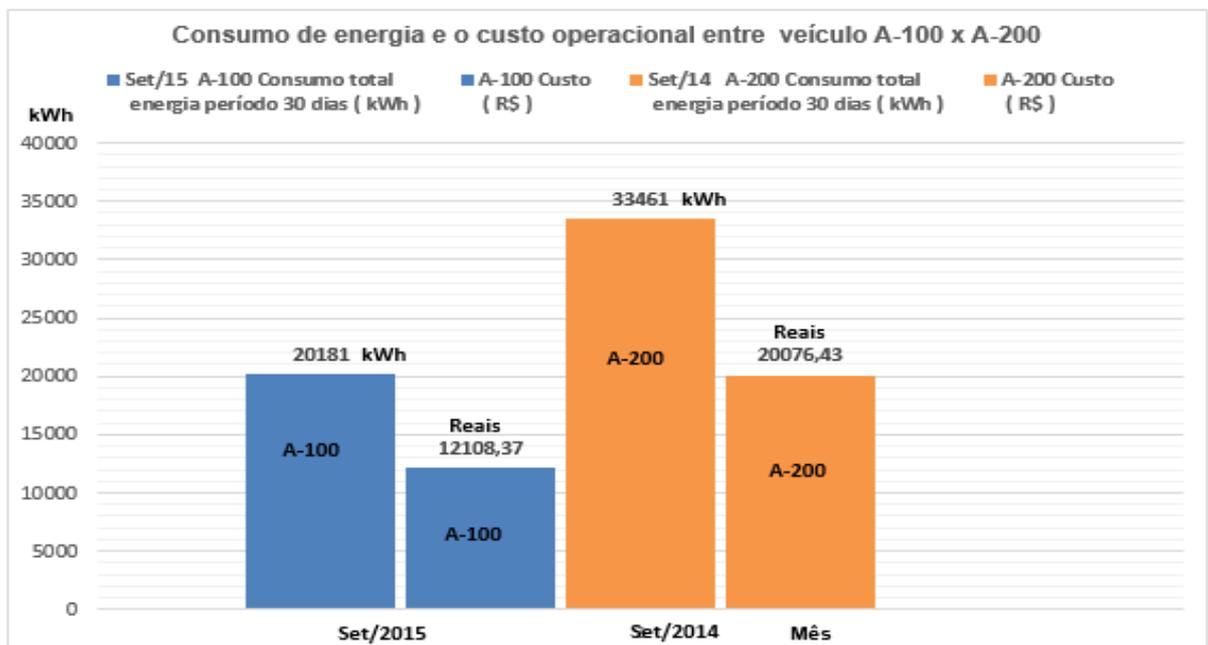
Para um melhor entendimento dos Gráficos 2 e 4, foi analisado um período de 12 meses de operação. Para a análise do Gráfico 5, como os veículos A-100 e A-200 operam intercaladamente não foi possível obter uma boa precisão dos dados coletados.

Optou-se em analisar os registros de operação, dados em que podemos identificar um veículo operando em um período de 30 dias. Conforme os registros de set/2014 o veículo A-200 operou o mês todo o mesmo para o veículo A-100 que operou em set/2015. Traçando um comparativo do custo de energia entre os veículos se pode chegar a uma melhor precisão. O principal motivo para a escolha da operação fora do intervalo citado anteriormente é que o consumo de energia do veículo A-100 não é proporcional ao consumo de energia do veículo A-200.

Com essas informações obtidas, foi possível gerar um gráfico (Gráfico 5) que apresenta o consumo de cada veículo e o seu custo operacional.

Baseado nos resultados se pode afirmar que o veículo A-100 apresenta um menor consumo de energia e, conseqüentemente, um menor custo operacional quando comparado ao veículo A-200, corroborando os resultados previamente apresentados nos Gráficos 2 e 4.

Gráfico 5 – Consumo de energia e custo operacional entre veículo A-100 e A-200 em um período de 30 dias



5 CONCLUSÃO

A partir do presente estudo, pode-se concluir que:

- O veículo aeromóvel A-100 apresenta um custo de propulsão por passageiro inferior ao veículo modelo A-200;
- O veículo A-100 teve um custo de janeiro a dezembro do ano de 2016 em média 0,13 centavos de propulsão por passageiro transportado, inferior à média do veículo A-200, que foi de 0,75 centavos por passageiro transportado;
- O custo de operação dos aeromóveis é inferior ao custo de outros tipos de transportes (automóveis, ônibus, metro, etc.);
- Identificou-se que o veículo A-100 em um período de 30 dias de operação consumiu 20.181kWh de energia;
- O consumo de energia do veículo A-200 em um período de 30 dias de operação foi de 33.461 kWh de energia;
- O volume de usuários transportados interfere diretamente no consumo energético de cada veículo, aumentando a carga o consumo de energia aumenta. Baseado nas análises se pode concluir que o veículo A-100 gasta 39,7% menos energia quando comparado ao veículo A-200;
- A diferença de consumo entre os dois veículos durante a operação chega na casa de 13.280 kWh. A utilização do veículo A-100 em doze meses de operação levaria a uma economia de 159.361 kWh. Representa para a operadora uma economia de R\$ 81.274,11 (oitenta e um mil, duzentos e setenta e quatro reais e onze centavos) em energia elétrica ao ano, considerando que o preço o kWh em R\$ 0,51 (cinquenta e um centavos);
- O emprego somente do veículo A-100 não é viável em função da necessidade de paradas para as manutenções preditivas e corretivas.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações para trabalhos futuros dentro do tema apresentado, tem-se:

- Avaliado efeito da substituição do motor do ventilador sobre o consumo de energia elétrica;
- Redimensionar e substituir as borrachas de vedações da via elevada, de modo a reduzir possíveis vazamentos e avaliar a influência da substituição sobre o consumo de energia elétrica;
- Realizar um estudo para avaliar a viabilidade de implantação de painéis solares nos veículos A-100 e A-200.

REFERÊNCIAS

- AEROMÓVEL BRASIL S. A. **ABSA**: Introdução Sistema. Março, 2011.
- AEROMÓVEL BRASIL S. A. **ABSA**: Manual de Operação. Novembro, 2013.
- AEROMÓVEL BRASIL S. A. **ABSA**: Manual Manutenção e Propulsão. Março, 2014.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. ISBN 978-85-87491-10-7. Brasília, 2008.
- FRANÇA, F. de A. **Ventiladores**: Conceitos Gerais, Classificação, Curvas Características Típicas e Leis dos Ventiladores. Apostila do curso EM 712 - Sistemas Fluidomecânicos FEM/UNICAMP, 1999. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em712/sisflu09.doc.2007>>. Acesso em: 02 set. 2017.
- MOREIRA, B. A. **Análise da operação de sistemas de ventilação industrial visando à eficiência energética**. 2006. 100 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Ceará, CE, 2006.
- SOLER & PALAU. Soluções Inovadoras. **Manual técnico**. OTAM Ventiladores Industriais Ltda. Porto Alegre, RS, 2003. Disponível em: <<http://www.solerpalau.com.br/paginas/ver/Boletins>>. Acesso em: 10 set. 2017.
- R. NETO, H. X.; CURY, M. V. Q; BRANCO, J. E. C. **Sistema Metroferroviário Brasileiro**. 1. ed. Rio de Janeiro, 2006.
- SOMAX AMBIENTAL & ACÚSTICA LTDA. **Instalação, Operação e Manutenção**. Agosto de 2015.
- VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara de; CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de; PEREIRA, Rafael Henrique Moraes. **Transporte e Mobilidade Urbana**. Brasília, DF: CEPAL/IPEA, 2011.
- VOGES. **Catálogo Linha de Motores Elétricos Trifásicos**. Janeiro de 2010.