

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS EMBARCADOS PARA A  
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

FILIPPE RUDNIK VIEIRA

**DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO PARA ALTERNADORES  
AUTOMOTIVOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2016

FILIPPE RUDNIK VIEIRA

## **DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO PARA ALTERNADORES AUTOMOTIVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização, apresentado ao Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para a Indústria Automotiva, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas

CURITIBA  
2016

## RESUMO

VIEIRA, Filipe R. **Dimensionamento Elétrico para Alternadores Automotivos**. 2016. 49f. Monografia (Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para a Indústria Automotiva), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

O presente trabalho visa buscar um meio robusto para o dimensionamento elétrico do alternador automotivo. A demanda elétrica embarcada automotiva continua aumentando, assim é importante prever gastos com projetos em fases iniciais e assegurar alimentação das cargas elétricas e recarregamento das baterias. A pesquisa resultou em três métodos de cálculo de alternador, em que, todos levam em consideração as cargas elétricas divididas pelo tempo em que ficam ligadas. Com estas informações foram criadas três planilhas de cálculo em um mesmo *template*, onde as entradas são a potência ou corrente unitária de cada consumidora e as saídas são as correntes nominais e de velocidade *idle* (marcha lenta) do alternador. Os resultados obtidos apresentaram grande variação entre as três metodologias. Para corrente mínima para alimentar todas as cargas teve uma variação de 68,97% e a corrente em velocidade marcha lenta de 81,01%. Para uma mesma aplicação, por um dos métodos seria necessário utilizar dois alternadores, enquanto pelos outros dois, apenas um. Os resultados encontrados permitiram encontrar um método que se aproximou mais da realidade e garantiu condições de suprimento elétrico e recarga de baterias. Entretanto, alguns pontos podem ser listados para melhorias em trabalhos futuros.

**Palavras chave:** Alternador. Cargas elétricas. Automotivo. Dimensionamento. Veículo.

## ABSTRACT

VIEIRA, Filipe R. **Electric Dimensioning to Automotive Alternators**. 2016. 49f. Monografia (Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para a Indústria Automotiva), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

The current paper aims to get a robust way to electric dimensioning of automotive alternator. Electric automotive embedded demand continues to increase, so it is important to predict project costs in early stages and ensure supply to electric loads and recharging batteries. The research has resulted in three methods of alternator calculation, in which all take into account electrical loads divided by the time in which they're linked. With this information were created three spreadsheets in a same template, where inputs are the power or current of each consumer unit and outputs are alternator nominal currents and alternator idle speed. The results obtained showed large variation between the three methodologies. For minimum current to feed all charges had a variation of 68.97% and current in idle speed of 81.01%. For the same application, by one of the methods would be necessary to have two alternators, while for the other two, only one. The results have made it possible to find a method that approached more from reality and guaranteed conditions of electric supply and recharging of batteries. However, some points could have been listed for improvements in future papers.

**Keywords:** Alternator. Electrical loads. Automotive. Dimensioning. Vehicle.

## LISTADE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diagrama demanda/fornecimento energia elétrica no veículo .....	12
Figura 2 – Diagrama demanda/fornecimento energia elétrica no veículo .....	17
Figura 3 – Partes componentes da bateria chumbo-ácido .....	19
Figura 4 – Bateria 170Ah .....	20
Figura 5 – Partes componentes do alternador .....	23
Figura 6 – Exemplo aplicação dimensionamento alternador .....	33
Figura 7 – Planilha para cálculo desenvolvida conforme autor 1 .....	36
Figura 8 – Planilha para cálculo desenvolvida conforme autor 2 .....	38
Figura 9 – Planilha para cálculo desenvolvida conforme autor 3 .....	40
Figura 10 – Curva saída três alternadores .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de lista das cargas de um veículo .....	28
Tabela 2 – Exemplo de lista das cargas de um veículo .....	30
Tabela 3 – Comparação dos resultados.....	41
Tabela 4 – Resumo para dados da planilha 1 no exemplo .....	42
Tabela 5 – Resumo para dados da planilha 2 no exemplo .....	43
Tabela 6 – Resumo para dados da planilha 3 no exemplo .....	44
Tabela 7 – Resultado da análise da viabilidade dos alternadores.....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ECU	<i>Electronic Control Unit</i>
Ah	Ampère Hora
RC	<i>Reserve Capacity</i>
CCA	<i>Cold Cranking Amps</i>
TCC	Total Cargas Contínuas
TCP	Total Cargas Prolongadas
TCI	Total Cargas Intermitentes
TCPI	Total Cargas Prolongadas e Intermitentes
RPM	Rotação Por Minuto

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1	TEMA	11
1.2	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	12
1.3	PROBLEMA	12
1.4	OBJETIVOS	13
1.4.1	Objetivo Geral	13
1.4.2	Objetivos Específicos	14
1.5	JUSTIFICATIVA	14
1.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	14
1.7	EMBASAMENTO TEÓRICO	15
1.8	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
<b>2</b>	<b>SISTEMA ELÉTRICO VEICULAR</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>BATERIA</b>	<b>18</b>
3.1	Partes componentes das baterias chumbo-ácido	18
3.2	Principais características das baterias automotivas	19
3.2.1	Capacidade <i>ampère-hora</i>	20
3.2.2	Capacidade de reserva (RC – <i>Reserve Capacity</i> )	20
3.2.3	Corrente de partida a frio (CCA – <i>Cold Cranking Amps</i> )	21
<b>4</b>	<b>ALTERNADOR</b>	<b>22</b>
4.1	Partes componentes dos alternadores	22
4.2	Principais características dos alternadores automotivos	23
4.3	Curvas de saída de corrente dos alternadores	23
4.4	Considerações mecânicas	25
<b>5</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DO ALTERNADOR CONFORME CARGAS/CONSUMIDORAS ELÉTRICAS</b>	<b>27</b>
5.1	Dimensionamento segundo autor 1	27
5.2	Dimensionamento segundo autor 2	29
5.3	Dimensionamento segundo autor 3	31
<b>6</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>34</b>
6.1	Características presentes nas três planilhas	34
6.2	Planilha segundo autor 1	35
6.3	Planilha segundo autor 2	37
6.4	Planilha segundo autor 3	39



6.5	Comparação entre os três resultados.....	41
6.6	Análise dos dados obtidos em relação a um alternador de exemplo.....	41
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será possível entender do que se trata o trabalho e como ele será executado para atingir o objetivo.

### 1.1 TEMA

Segundo a NBR 15570 (ASSOCIAÇÃO..., 2009, p. 7) os veículos de transporte de passageiros urbanos podem ser classificados segundo a sua capacidade de passageiros em: micro-ônibus, miniônibus, midiônibus, ônibus básico, ônibus *padron*, ônibus articulado e ônibus Bi-articulado.

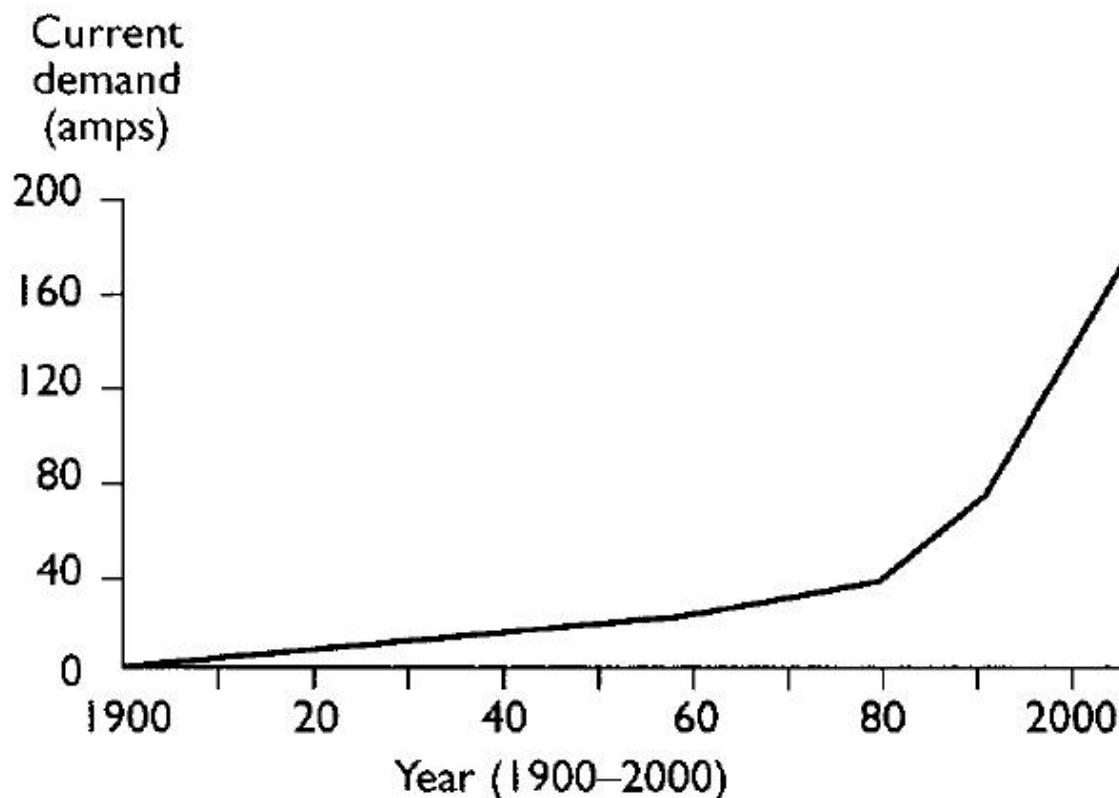
Segundo a ANFAVEA (2016, p. 26) o Brasil tem 23 fabricantes de automóveis, veículos comerciais leves, caminhões e ônibus.

Com estes dados acima é possível entender a diversidade de veículos que existem. Tanto pela quantidade de veículos produzidos nacionalmente pelas 23 fabricantes, quanto pela variedade que um veículo pode ter.

Novamente segundo ANFAVEA (2016, p. 57), em 2015 no Brasil foram fabricados 2.453.622 veículos com motor a combustão. Todos estes veículos possuem um sistema elétrico para comandar as suas funcionalidades. O alternador é o componente mantenedor dos dispositivos eletrônico em funcionamento e o responsável pela recarga da(s) bateria(s).

A Figura 1 mostra a evolução da exigência sobre o fornecimento de energia pelo alternador pelo passar dos anos e uma previsão para o futuro (DENTON, 2004, p. 128).

Figura 1 – Diagrama demanda/fornecimento energia elétrica no veículo



Fonte: LEE; CHOI; SUNWOO, 2002.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho pretende estudar o balanceamento elétrico automotivo, entre as cargas elétricas e baterias presentes nos veículos. Os veículos do estudo serão de motor a combustão que tenham seus sistemas de recarregamento de baterias e alimentação de cargas elétricas providos por um ou mais alternadores. O estudo visa também veículos em operação e também veículos em fase de projeto.

## 1.3 PROBLEMA

Como todo produto lançado por uma empresa, este busca atender as necessidades de seus clientes.

Quando falamos do produto veículo, por exemplo, ônibus que é utilizado para o transporte de pessoas é fundamental garantir a segurança. O sistema elétrico do veículo mantém boa parte dos sistemas de segurança ligados e prontos para que

seus sensores enviem sinais para as ECUs (*Electronic Control Unit*) para que haja o comando e evite que o ônibus tombe, capote ou até mesmo colida numa manobra.

O aumento de demanda elétrica embarcada continua aumentando com o passar dos anos. Novos recursos de conforto, entretenimento e segurança, mais sensores e sistemas de controle e monitoramento remoto são novas consumidoras elétricas instaladas em carros, ônibus e caminhões.

Em mercados globalizados, veículos produzidos em um país, atravessam o globo para transitar em diversos países, dessa forma, do ponto de vista do sistema elétrico veicular, aqueles devem possuir estruturas para a alimentação elétrica robusta o suficiente para, por exemplo, de ônibus:

- Atender legislações de determinado país, estado ou município;
- Fornecer eletricidade para ônibus com dois eixos até bi-articulados;
- Fornecer eletricidade para ônibus de um ou dois andares;
- Atender a demanda elétrica de *motorhomes*;
- Estar apto para variações de cargas presentes no diferentes tipos de ônibus divididos por utilização, como: rodoviários, urbanos, fretamento, etc.

Ou seja, quanto maior a complexidade e variação do sistema elétrico veicular, mais crítico ele será em relação à quantidade de energia fornecida. À vista disso, esse trabalho irá focar em achar um método de cálculo robusto para cobrir a demanda de corrente elétrica dos veículos nas mais diversas configurações e operações.

## 1.4 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho, relativos ao problema anteriormente apresentado.

### 1.4.1 Objetivo Geral

Procurar a melhor estratégia de dimensionamento de alternador para sistemas elétricos automotivos com motor de combustão, onde o alternador funciona como mantenedor das cargas elétricas e cargas de bateria.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar a composição do sistema elétrico veicular;
- Listar as metodologias para dimensionamento de alternador publicadas;
- Avaliar qual metodologia mais se aproxima da realidade;
- Desenvolver um *template* (modelo) no software Microsoft Excel para a entrada de dados usando as metodologias.

#### 1.5 JUSTIFICATIVA

Devido à importância do sistema elétrico veicular, visa-se encontrar um modelo para que possa ser utilizado em veículos atuais já em operação, em que o cliente/proprietário precise instalar novas cargas elétricas por vários tipos de necessidades, como: obsolescência de cargas antigas que precisem ser substituídas por um modelo mais novo e com consumo elétrico maior; uma nova demanda legal na localidade de operação (instalação de ar condicionado ou novo sistema de tratamento de emissões, em veículos pesados (ônibus e caminhões) por exemplo).

Em relação a projetos em andamento e futuros pretende-se antecipar novas necessidades elétricas. Em fases avançadas de projetos é custoso em termos de dinheiro e de tempo fazer alterações para que sejam instalados mais alternadores ou baterias, que sejam trocados componentes elétricos ou que haja espaço no chassi e/ou veículo completo para o reposicionamento de componentes e rotas de cabos elétricos. A antecipação é importante em relação ao escopo do projeto, pois para projetos para múltiplas localidades pode ser que se torne inviável para certo país e esta restrição torne todo o projeto inviável de comercialização.

#### 1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Considerando a classificação da pesquisa da vista de natureza, esta pesquisa é do tipo aplicada, pois deseja-se que a planilha com o cálculo de dimensionamento do alternador seja utilizada em projetos atuais e futuros.

Em relação aos objetivos macros ou propósitos ela é explicativa, pois busca achar as razões e os fatores que interferem no funcionamento e dimensionamento dos sistemas elétricos veiculares.

Já para o método aplicado, ela é bibliográfica, pois tem como objetivo levantar em livros, artigos científicos, catálogos e outras fontes informações referentes ao correto dimensionamento de alternadores em um veículo.

## 1.7 EMBASAMENTO TEÓRICO

Em relação ao sistema elétrico veicular artigos científicos e livros foram utilizados como referencial teórico. No tema bateria, foram utilizadas referências do fabricante de bateria chumbo ácido JOHNSON CONTROLS (2010), livros de Linden e Reddy (2002, L), Khan (1996) e Denton (2004), além de artigos científicos.

Já para a teoria de alternadores livros de VanDelder (2013) e DENTON (2004), catálogos de fabricantes de alternador como Bosch (2015) e McLaren (2014) e outros artigos científicos.

Principalmente para o cálculo de dimensionamento dos alternadores foram utilizados três livros de Denton (2004, Bosch (2005) e Bosch (1988).

## 1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho terá a estrutura apresentada abaixo.

**Capítulo 1 - Introdução:** serão apresentados o tema, as delimitações da pesquisa, o problema, os objetivos da pesquisa, a justificativa, os procedimentos metodológicos, as indicações para o embasamento teórico e a estrutura geral do trabalho.

**Capítulo 2 – Sistema Elétrico veicular:** é apresentado os principais componentes de um sistema elétrico veicular.

**Capítulo 3 – Bateria:** Serão apresentados a definição de bateria, o tipo de bateria utilizada nos veículos, suas partes constituintes e as principais características das baterias para a escolha em projetos.

**Capítulo 4 – Alternador:** Serão apresentados a definição de alternador, as partes constituintes dos alternadores, as suas principais características, as curvas de saída de corrente e algumas considerações mecânicas.

**Capítulo 5 – Dimensionamento do Alternador Conforme Cargas/Consumidoras Elétricas:** Irá descrever os métodos de dimensionamento de alternadores de acordo com os três autores pesquisados, características comuns e próprias de cada metodologia, diferentes equações e exemplos dados.

**Capítulo 6 – Apresentação e Análise dos Resultados:** neste capítulo são descritas as características comuns e não comuns entre as três planilhas criadas, é testado em cada planilha um mesmo exemplo de cargas elétricas de um ônibus rodoviário, também avaliado o resultado dos cálculos com um exemplo de alternadores e feita a comparação e avaliação entre os três métodos de cálculo.

**Capítulo 5– Considerações finais:** neste capítulo estarão presentes as respostas para as perguntas e as soluções para os objetivos apresentados na introdução. Também como foram obtidas as soluções do trabalho realizado. Por último, haverá indicações de melhorias para serem desenvolvidas em trabalhos futuros.

## 2 SISTEMA ELÉTRICO VEICULAR

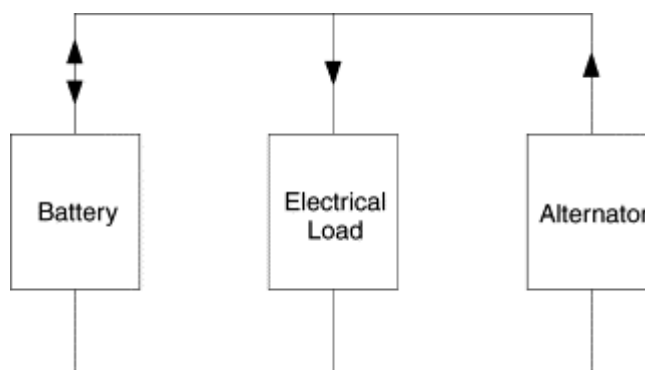
O Sistema elétrico de um automóvel é constituído geralmente de três componentes principais (WALDMAN; GURUSUBRAMANIAN; FIORENTINI; CANOVA, 2015, p. 21):

- Bateria
- Alternador
- Cargas elétricas

Quase sem exceção, automóveis utilizam sistema elétrico de 12V. Já para caminhões e ônibus, geralmente são utilizados sistemas de 24V. Assim é possível que para uma mesma potência, a corrente elétrica necessária seja a metade do que em um sistema 12V. Outro ponto positivo é a redução dos comprimentos dos chicotes elétricos e das quedas de tensão nos mesmos (DENTON, 2004, p. 150)

A Figura 2 mostra um esquema simplificado das conexões entre os três principais componentes.

**Figura 2 – Diagrama demanda/fornecimento energia elétrica no veículo**



Fonte: LEE; CHOI; SUNWOO, 2002.



### 3 BATERIA

Uma bateria é um dispositivo capaz de converter energia química em energia elétrica através de um processo de óxido-redução dos seus materiais. Em um sistema recarregável é possível reverter o processo e recarregar a bateria através da transferência de elétrons de um material para outro (LINDEN; REDDY, 2002).

Segundo KHAN (1996), para um sistema elétrico veicular, as baterias tem algumas funções, como:

- Armazenar energia gerada pelo(s) alternador(es).
- Realizar a partida do motor.
- Fornecer energia para as cargas do veículo quando necessário, ou seja, quando o alternador não estiver conseguindo suprir a demanda ou mesmo quando estiver desligado.
- Funcionar como estabilizador de tensão para todo o sistema elétrico.

Para Denton (2004, p. 110), principalmente quando se trata de custo, as baterias de chumbo-ácido são as mais adequadas para o uso veicular.

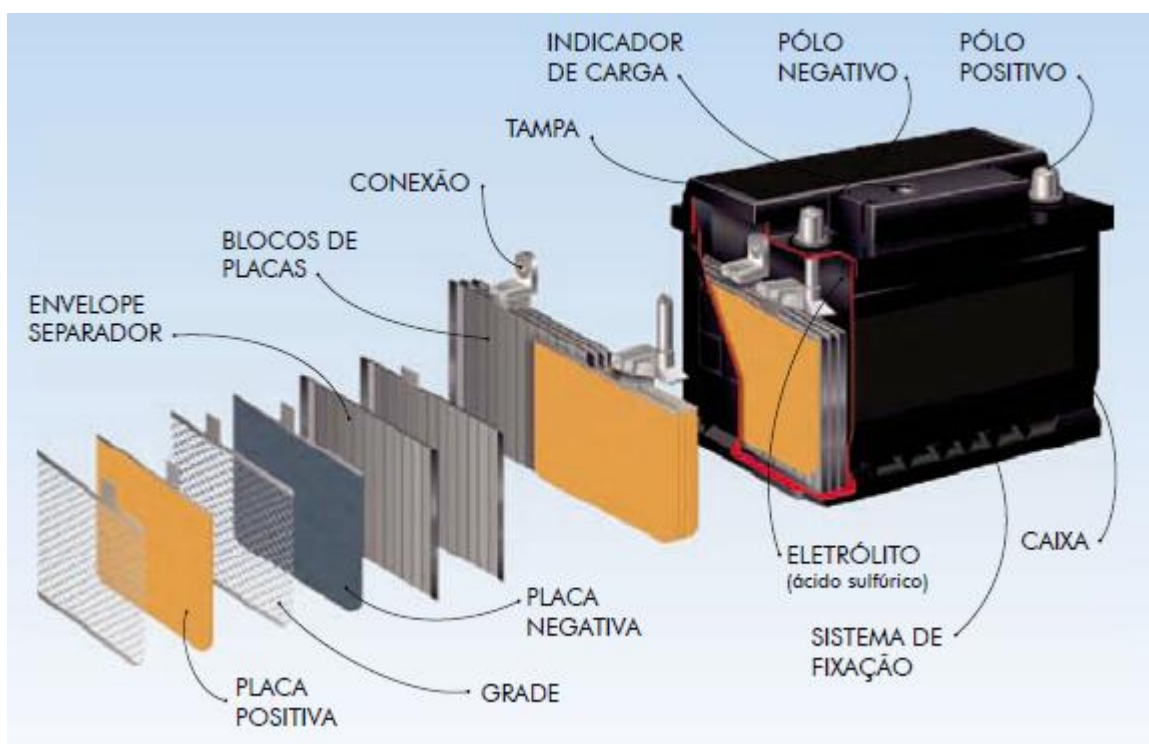
#### 3.1 Partes componentes das baterias chumbo-ácido

A Figura 3 mostra as partes que compõe a bateria de chumbo-ácido (JOHNSON CONTROLS, 2010). São elas:

- Caixa: acomoda os blocos de placas. Para baterias automotivas geralmente possui 6 vasos de 2,1V compondo 12,6V.
- Tampa: impede que vaze eletrólito ou que o mesmo seja contaminado.
- Pastilhas antichamas: impede que faíscas elétricas danifiquem a bateria e também permite a eliminação de gases produzidos na utilização da bateria.
- Indicador de carga: permite o acompanhamento do nível de carga.
- Bloco de placas
- Grade: faz a condução elétrica na bateria e condiciona a massa ativa. São feitas de liga de chumbo.
- Massa ativa: responsável por guardar a energia da bateria.

- Placa: conjunto da massa ativa e grade.
- Separadores: Mantém o isolamento entre as placas positivas e negativas.
- Conexões: Conectam placa positiva com placa positiva e placa negativa com placa negativa dentro do bloco e também ligam em série bloco a bloco para obter os 12,6V.
- Pólos terminais: Interface com os cabos do veículo.
- Eletrólito: solução de ácido sulfúrico.

**Figura 3 – Partes componentes da bateria chumbo-ácido**



Fonte: JOHNSON CONTROLS, 2010, p. 5

### 3.2 Principais características das baterias automotivas

A Figura 4 mostra uma imagem de uma bateria usada tipicamente para veículos pesados. Esta bateria possui as seguintes características: C20 170Ah, RC 330min e CCA 1000A (HELIAR, 2016).

**Figura 4 – Bateria 170Ah**

Fonte: HELIAR (2016)

### 3.2.1 Capacidade *ampère-hora*

É a capacidade que a bateria tem de fornecer corrente elétrica por um determinado tempo. A base de tempo mais utilizada pelos fabricantes de bateria é 20 horas. Por exemplo: uma bateria de 44Ah está apta para fornecer 2,2A por 20h antes de estar completamente descarregada (DENTON, 2004, p.112).

O teste para determinar qual a capacidade de corrente da bateria é realizado por n horas. No final do teste é verificado se o nível de tensão está acima do mínimo especificado e assim é determinado o CR (*current rating*) da bateria. Exemplos de CR são C2, C4, C8, C10, etc (MARCHILDON; DOUMBIA; AGBOSSOU, 2015, p. 1443).

### 3.2.2 Capacidade de reserva (RC – *Reserve Capacity*)

É a capacidade que a bateria tem de fornecer 25A até que cada célula da bateria chegue ao nível de 1,75V, para uma temperatura de 25°C. Esta informação é utilizada para indicar quanto a bateria pode suprir a demanda elétrica do veículo caso o sistema de recarga da bateria não esteja funcionando (DENTON, 2004, p.112).

### 3.2.3 Corrente de partida a frio (CCA – *Cold Cranking Amps*)

Indica a habilidade que a bateria possui para dar a partida em um motor em baixas temperaturas. O CCA pode ser definido por qualquer fabricante ou padrão com diferentes valores críticos ou condições. Por exemplo, o CCA de uma bateria nova e carregada totalmente de 12V pode ser definido como a quantidade de corrente elétrica que pode ser fornecida em uma temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$  enquanto a tensão é de pelo menos 7,5V. Quanto maior for o CCA de uma bateria, melhor será o seu poder de dar a partida do motor (KARAMI; KARIMI; MAHDIPOUR, 2006, p. 936).

## 4 ALTERNADOR

Um alternador é um dispositivo que através do efeito de indução eletromagnética transforma energia mecânica em energia elétrica (DENTON, 2004, p.16).

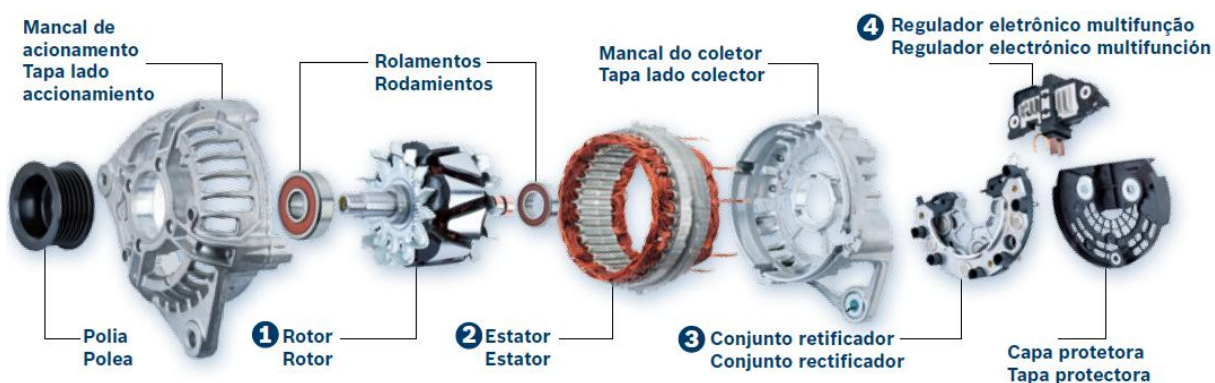
Segundo VanDelder (2013), o alternador é conectado ao motor por uma correia e quando entra em movimento faz com que o alternador comece a transformar a energia mecânica em energia elétrica.

### 4.1 Partes componentes dos alternadores

A Figura 5 mostra as partes que compõe o alternador (BOSCH, 2015). São elas:

- Rotor: é um par de rodas polares que possuem em seu interior bobinas de cobre sobre um eixo de aço. Recebe a tensão da bateria, esta tensão irá induzir uma corrente elétrica nas bobinas. O campo magnético produzido pela corrente vai induzir a produção de corrente elétrica do alternador.
- Estator: são bobinas de fios de cobre que revestem um núcleo de aço. Aqui é produzida a corrente elétrica.
- Conjunto retificador ou placa de diodos: O sistema elétrico veicular precisa de corrente e tensão contínua. O retificador faz isso, transforma alternado em contínuo.
- Regulador eletrônico de tensão: Mantém a tensão do alternador sempre constante durante seu funcionamento.

Figura 5 – Partes componentes do alternador



Fonte: BOSCH (2015).

#### 4.2 Principais características dos alternadores automotivos

Os alternadores devem possuir algumas características importantes para atender o sistema elétrico veicular (DENTON, 2004, p.128):

- Garantir que todas as cargas elétricas tenham suas demandas atendidas.
- Atender toda a demanda de corrente que a(s) bateria(s) necessitarem.
- Funcionar em velocidade *idle* (marcha lenta).
- Manter sempre o mesmo nível de tensão.
- Ter um bom custo benefício entre peso e potência.
- Ser resistente à contaminação, ser silencioso e ser confiável.
- Demandar baixo nível de manutenção.
- Fornecer indicação de funcionamento correto.

Alternadores para veículos são projetados para tensões de 14V e 28V para que seja possível carregar baterias de 12V e 24V (BOSCH, 2005).

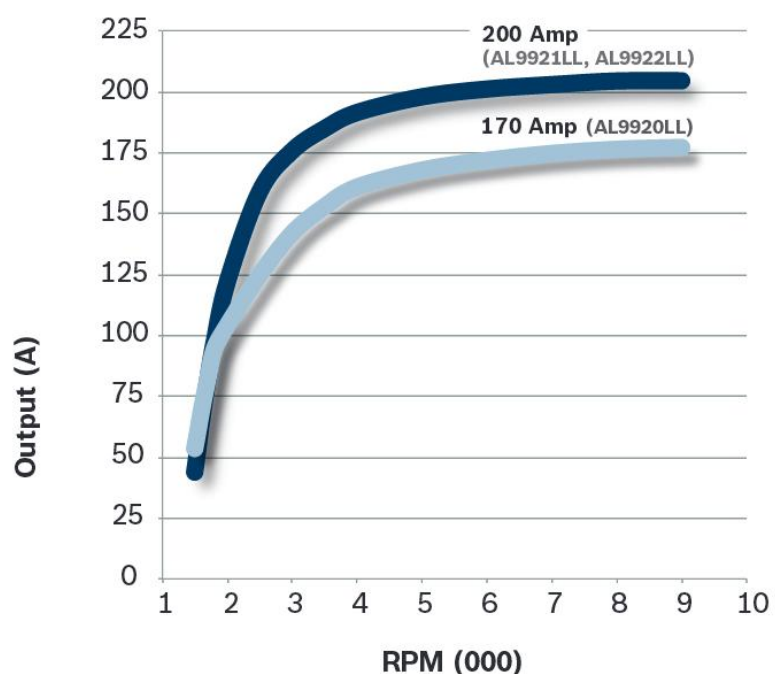
#### 4.3 Curvas de saída de corrente dos alternadores

A corrente nominal do alternador é aproximadamente o valor de corrente que ele é capaz de gerar, pois a corrente gerada pelo alternador varia de acordo com a velocidade do mesmo e esta velocidade é diretamente afetada pela relação entre a

polia do alternador e a polia do motor devido a diferença de diâmetro (BELL, 2014, p. 212).

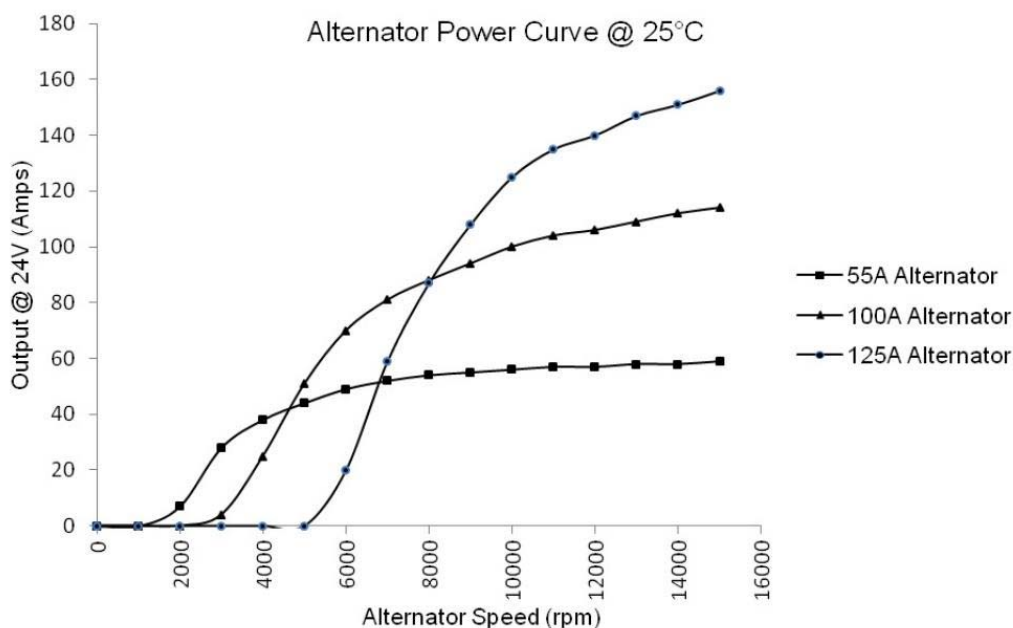
O Gráfico 1 e o Gráfico 2 representam duas curvas de saída de corrente de dois alternadores diferentes. O eixo vertical representa a velocidade do alternador, já o eixo vertical a saída de corrente do alternador. O Gráfico 1 possui duas curvas que mostram o comportamento de um alternador de 170A e outro de 220A. O Gráfico 2 possui três curvas que mostram o comportamento de alternadores de 55A, 100A e 125A.

**Gráfico 1 – Curvas de saídas de alternadores 170A e 220A**



Fonte: BOSCH (2011)

Gráfico 2 – Curvas de saídas de alternadores 55A, 110A e 125A



Fonte: MCLAREN (2014)

#### 4.4 Considerações mecânicas

A polia do alternador e a polia do motor possuem diâmetros diferentes, como estão conectados por uma mesma correia pode-se afirmar que possuem velocidades diferentes. A taxa de transmissão entre as polias pode ser definida como mostra a equação (1). Para carros a taxa R está entre 2,5 e 3,5 e para caminhões, aproximadamente 5 (CHICHARRO et al, 2009, p. 1).

$$R = \frac{D_E}{D_A} = \frac{\omega_A}{\omega_E} \quad (1)$$

Em que:

R = taxa

$D_E$  = diâmetro da polia do motor

$D_A$  = diâmetro da polia do alternador

$\omega_A$  = velocidade do alternador

$\omega_E$  = velocidade do motor



Para Denton (2004, p. 143), o alternador deve funcionar o mais rápido possível em velocidade *idle*, mas não se deve passar da velocidade máxima quando o motor estiver na sua velocidade máxima.

Reduzindo o diâmetro da polia do alternador é possível obter mais corrente em velocidade *idle*. Entretanto, esta redução pode fazer com que o alternador gire tão rápido, que quando o motor esteja na sua velocidade máxima, o alternador possa ser danificado. Outra consequência da redução é a redução de área de contato com a correia, assim aumentando as chances de escorregamento da correia (BELL, 2014, p. 213).

## 5 DIMENSIONAMENTO DO ALTERNADOR CONFORME CARGAS/CONSUMIDORAS ELÉTRICAS

Como citado no capítulo anterior, uma das características de um ou mais alternadores é garantir que todas as cargas elétricas recebam corrente elétrica suficientemente.

### 5.1 Dimensionamento segundo autor 1

Para Denton (2004) as cargas elétricas do veículo podem ser divididas em três grupos: cargas contínuas, cargas prolongadas e cargas intermitentes. Para saber qual alternador escolher em relação à saída de corrente deve-se somar a potência de cada uma das cargas do veículo e também a potência necessária para a recarga da bateria.

A Tabela 1 mostra um exemplo de consumidoras de um veículo divididas entre os seus grupos. Na primeira coluna estão listadas as consumidoras, na segunda a potência de cada carga, na terceira e quarta colunas é possível ver a corrente elétrica para um alternador de saída 14V e 28V.

É utilizado um fator 0,1 para as cargas intermitentes devido ao curto período de tempo em que realmente estão usando toda a sua potência.

A demanda das consumidoras é a soma das cargas contínuas, cargas prolongadas e cargas intermitentes (já multiplicado pelo fator 0,1). Para o exemplo dado, temos a equação 2 (considerando a coluna de alternador de saída 14V):

$$180 + 260 + 170 = 610W (43A) \quad (2)$$

Tabela 1 – Exemplo de lista das cargas de um veículo

Continuous loads	Power (W)	Current at 14V	28V
Ignition	30	2.0	1.0
Fuel injection	70	5.0	2.5
Fuel pump	70	5.0	2.5
Instruments	10	1.0	0.5
<b>Total</b>	<b>180</b>	<b>13.0</b>	<b>6.5</b>
Prolonged loads	Power (W)	Current at 14V	28V
Side and tail lights	30	2.0	1.0
Number plate lights	10	1.0	0.5
Headlights main beam	200	15.0	7.0
Headlights dip beam	160	12.0	6.0
Dashboard lights	25	2.0	1.0
Radio/Cassette/CD	15	1.0	0.5
<b>Total (Av. main &amp; dip)</b>	<b>260</b>	<b>19.5</b>	<b>9.5</b>
Intermittent loads	Power (W)	Current at 14V	28V
Heater	50	3.5	2.0
Indicators	50	3.5	2.0
Brake lights	40	3.0	1.5
Front wipers	80	6.0	3.0
Rear wipers	50	3.5	2.0
Electric windows	150	11.0	5.5
Radiator cooling fan	150	11.0	5.5
Heater blower motor	80	6.0	3.0
Heated rear window	120	9.0	4.5
Interior lights	10	1.0	0.5
Horns	40	3.0	1.5
Rear fog lights	40	3.0	1.5
Reverse lights	40	3.0	1.5
Auxiliary lamps	110	8.0	4.0
Cigarette lighter	100	7.0	3.5
Headlight wash wipe	100	7.0	3.5
Seat movement	150	11.0	5.5
Seat heater	200	14.0	7.0
Sun-roof motor	150	11.0	5.5
Electric mirrors	10	1.0	0.5
<b>Total</b>	<b>1.7kW</b>	<b>125.5</b>	<b>63.5</b>

Fonte: DENTON (2004, p. 129)

Para fazer o balanceamento correto entre consumidoras e bateria, com a capacidade de fornecimento do alternador alguns passos devem ser seguidos.

1. Somar a potência de todas as cargas elétricas contínuas e prolongadas. Seguindo o exemplo temos  $P_1 = 400W$ .
2. Calcular a corrente elétrica para 14V ( $I = P_1 / 14 = 31,5A$ ).
3. Determinar a potência intermitente  $P_2 = 170W$  (Potência de todas as cargas intermitentes multiplicadas pelo fator 0,1).
4. Somar as potências para obter a potência total,  $P_T = 610W$  ( $P_1 + P_2$ )
5. Calcular a corrente total,  $610 / 14 = 44A$ .

O valor de saída de corrente para um automóvel deve ser 1,5 a demanda total de corrente. No exemplo, a corrente 44A multiplicada por 1,5 teremos 66A. Este valor provavelmente não é um valor comercial de alternador, então se deve escolher o imediatamente acima, neste caso o de 70A. Para veículos comerciais que possuem maiores baterias e motores de partida provavelmente um alternador com uma saída de corrente maior será necessário.

Para finalizar a verificação do alternador é preciso analisar se a saída de corrente do alternador será suficiente para alimentar as cargas contínuas, prolongadas e demanda da bateria em velocidade *idle*. O fator de 1,5 deve ser aplicado novamente. No exemplo, a corrente 31,5A multiplicada por 1,5 teremos 47A.

Sabendo-se a corrente total, a corrente para velocidade *idle* e qual é a velocidade *idle* do veículo em questão deve-se consultar a curva característica do alternador.

## 5.2 Dimensionamento segundo autor 2

Em Bosch (2005) as cargas elétricas do veículo podem ser divididas em três grupos: consumidoras contínuas, consumidoras de longa duração e consumidoras de curta duração.

O uso de cada consumidora varia de acordo com o período do ano, como por exemplo, no inverno é utilizado com maior frequência aquecimento dos bancos, já no verão o ar condicionado. Alguns outros exemplos de utilização variável das consumidoras: o desembaçador de vidro utiliza uma potência de 2kW por um a três minutos; ar adicional que é jogado para pós combustão do gás de escape funciona

apenas nos três primeiros minutos após a partida; aquecimento de alguns pontos do veículos, ventiladores e luzes ficam ligados de acordo com a situação.

O funcionamento do alternador em marcha lenta (*idle*) também pode variar conforme a utilização do veículo. Um ônibus urbano faz mais paradas que um ônibus rodoviários, assim o veículo urbano irá permanecer mais tempo em *idle*, por consequência, mais tempo entregando menos corrente.

A Tabela 2 mostra um exemplo de consumidoras de um veículo divididas entre os seus grupos. Na primeira coluna estão listadas as consumidoras, na segunda a potência consumida e na terceira a potência consumida média. Na primeira linha onde as consumidoras estão listadas, temos as consumidoras contínuas. Na segunda linha temos as consumidoras de longa duração. Na terceira linha temos as consumidoras de curta duração.

**Tabela 2 – Exemplo de lista das cargas de um veículo**

Consumidoras	Potência consumida	Potência consumida média
Motronic, bomba elétrica de combustível	250W	250W
Rádio	20W	20W
Luz de estacionamento	8W	7W
Farol de luz baixa	110W	90W
Luz de placa, lanterna traseira	30W	25W
Luz de controle, instrumentos	22W	20W
Desembaçador do vidro traseiro	200W	60W
Calefação, ventilador	120W	50W
Ventoinha elétrica do radiador	120W	30W
Limpador do pára-brisa	50W	10W
Luz de freio	42W	11W
Luzes de sinalização	42W	5W
Faróis de neblina	110W	20W
Farol de neblina traseiro	21W	2W
Total		
Potência elétrica instalada	1145W	
Potência elétrica média		600W

Fonte: Adaptado de BOSCH (2005, p. 961)

### 5.3 Dimensionamento segundo autor 3

Em Bosch (1988) as cargas elétricas do veículo podem ser divididas em três grupos: cargas contínuas, cargas de longa duração e cargas de curta duração.

Para atingir o resultado desejado, escolher o alternador correto, deve-se seguir alguns passos:

- Separar as cargas nos três tipos.
- Multiplicar as cargas contínuas e de longa duração pelo fator 1,0.
- Somar as potências das cargas contínuas e das cargas de longa duração.
- Multiplicar as cargas de curta duração por um fator de acordo com o seu consumo estimado.
- Somar as potências das cargas de curta duração.

Com estes valores é possível determinar a potência total e também a corrente total, da seguinte forma:

- Somar as potências de todos os tipos de cargas, já multiplicadas pelos seus respectivos fatores. Assim tem-se a potência total.
- Dividir a potência total pela tensão do sistema elétrico. Assim tem-se a corrente total.

Para a verificação de funcionamento correto do alternador em velocidade *idle* devem-se seguir os seguintes passos

- Dividir a somatória das potências das cargas contínuas e longa duração pela tensão do sistema elétrico. Assim tem-se a corrente referente a estas cargas.
- Multiplicar a corrente pelo fator 1,3 para achar a corrente que o alternador precisará fornecer em velocidade *idle*.

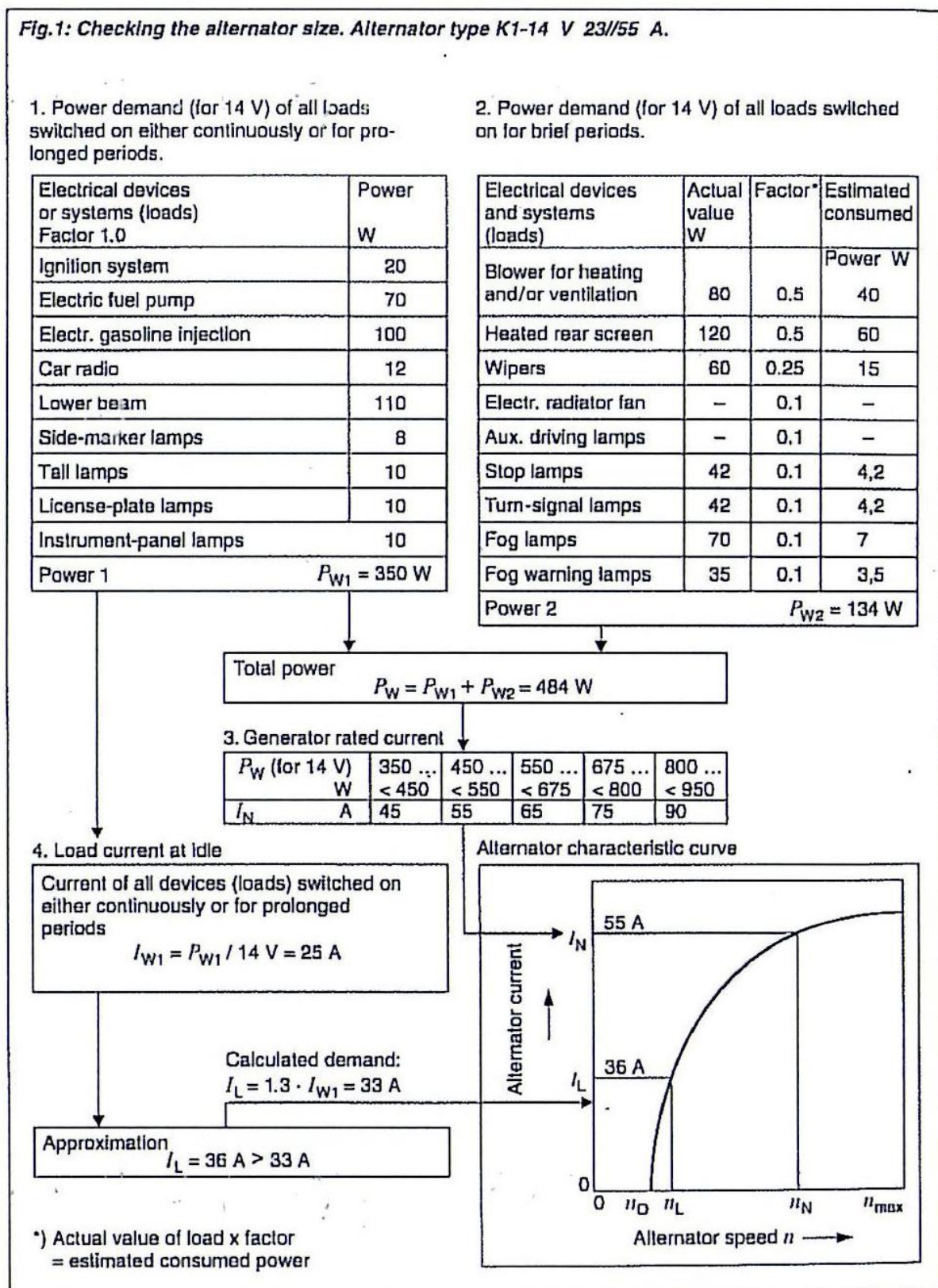
Este fator 1,3 foi determinado através de experiências práticas em automóveis. Mostrou-se eficiente tanto para a carga da bateria em velocidade *idle*, quanto para trajeto de curta distância.

A Figura 6 mostra um exemplo dado seguindo os passos acima citados. As duas tabelas nesta figura mostram a divisão entre os três tipos de cargas, a esquerda as carga contínuas e de longa duração, já a da direita as cargas de curta

duração, seus fatores de multiplicação e as potências já atualizadas pelos seus respectivos fatores.

Na parte inferior é possível ver o gráfico que representa a curva de saída do alternador. Onde o eixo horizontal representa a velocidade de rotação do alternador e o eixo vertical representa a corrente elétrica gerada pelo alternador. Com os valores de corrente encontrados nos cálculos, 55A para corrente necessária para atender todas as cargas em velocidade alta e 33A para atender as cargas em velocidade *idle*, mais a rotação do alternador em *idle* é possível verificar se o alternador atendeu ou não a demanda elétrica do exemplo. Neste caso, sim.

Figura 6 – Exemplo aplicação dimensionamento alternador





## 6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Utilizando a teoria apresentada nos capítulos anteriores pelos dois autores, foi feito uma planilha no *software* Microsoft Excel para ser utilizada como uma ferramenta na elaboração de projetos de sistemas elétricos veiculares.

Na aplicação atual será representado o cálculo de demanda elétrica para uma configuração de cargas para um ônibus rodoviário fabricado no Brasil. O mercado brasileiro de fabricantes de ônibus apresenta uma característica predominante onde uma empresa fabrica o chassi do ônibus e outra empresa coloca a carroceria naquele chassi.

### 6.1 Características presentes nas três planilhas

As planilhas têm como objetivo ser flexíveis para o dimensionamento de diversos sistemas, por essa razão, na parte superior da planilha foi deixado uma célula para a entrada da tensão de saída do alternador, conforme o tipo de veículo alvo do cálculo. No exemplo dado, 28V foi o valor de tensão de saída do alternador escolhido por ser o padrão dos veículos pesados (ônibus e caminhões) aqui no Brasil e em boa parte dos outros mercados mundiais.

As colunas foram dispostas para que a facilidade da entrada dos dados.

- Quantidade: a coluna onde se deve colocar a quantidade de cada carga presente no veículo.
- Potência unitária: a coluna onde se deve colocar a potência unitária em *watts* de cada carga.
- Corrente unitária: a coluna onde se deve colocar a corrente unitária em *ampères*. Está coluna é uma alternativa à coluna potência unitária. Caso no momento do preenchimento não se tenha a potência nominal.
- Total Potência: a coluna onde fica armazenada a multiplicação da potência unitária pela quantidade.
- Total Corrente: a coluna onde fica armazenada a multiplicação da corrente unitária pela quantidade, tanto se a entrada for com dados de potência ou de corrente.

No meio da planilha os tipos de cargas foram divididos em grupos e cada grupo tem uma célula onde está armazenado o total de corrente do grupo.

Na arte inferior da planilha ficam os resultados parciais e finais obtidos segundo a teoria apresentado por cada autor. Os resultados estão dentro de retângulos e com fontes maiores.

## 6.2 Planilha segundo autor 1

A Figura 7 mostra a planilha desenvolvida de acordo com a teoria explanada pelo primeiro autor. Assim, no meio estão divididos os três grupos de cargas em: cargas contínuas, cargas prolongadas e cargas intermitentes. As células de cada grupo que possuem a soma de corrente foram nomeadas desta forma: TCC (Total Cargas Contínuas), TCP (Total Cargas Prolongadas) e TCI (Total Cargas Intermitentes).

O cálculo da demanda total de corrente foi feito seguindo a equação (3).

$$TCC + TCP + (TCI \times 0,1) = 98 A \quad (3)$$

Foi realizado o cálculo conforme a equação (4) para determinar a mínima saída de corrente que um alternador precisará ter. Fator de cálculo utilizado foi de 1,5.

$$Demanda Total \times Fator de cálculo = 147 A \quad (4)$$

A equação (5) representa o cálculo feito para encontrar o limite mínimo de corrente que um alternador deve fornecer em velocidade *idle*.

$$(TCC + TCP) \times Fator de cálculo = 143 A \quad (5)$$

Figura 7 – Planilha para cálculo desenvolvida conforme autor 1

Ônibus Rodoviário					
Tensão do Alternador	=	28 V			
	Quantidade	Potência unitária (W)	Corrente unitária (A)	Total Potência (W)	Total Corrente (A)
<b>Cargas contínuas</b>					
consumo chassi	1		15	0	15,00
ar condicionado	1	1140		1140	40,71
Luzes itinerário	1	20		20	0,71
Farol baixo	2	60		120	4,29
Iluminação degraus	10	0,2		2	0,07
Luz de placa	2	2		4	0,14
				TCC =	<b>60,93</b>
<b>Cargas prolongadas</b>					
Limpador para-brisa	2	60		120	4,29
rádio	1	60		60	2,14
TV-monitor	4	40		160	5,71
tomadas 110V	4	100		400	14,29
Iluminação interna passageiros	60	3		180	6,43
Iluminação corredor	12	3		36	1,29
				TCP =	<b>34,14</b>
<b>Cargas intermitentes</b>					
sirene de ré	1	1		1	0,04
lavador para-brisa	2	20		40	1,43
Desembaçador vidro	2	60		120	4,29
Cafeteira	1	120		120	4,29
Buzina	1	150		150	5,36
Tomada 12V	1	50		50	1,79
Farol alto	2	60		120	4,29
farol de neblina	2	60		120	4,29
Luzes de ré	2	5		10	0,36
Luzes de freio	2	5		10	0,36
Luzes indicação posição	8	4		32	1,14
Iluminação bagageiro	6	0,5		3	0,11
Luzes de serviço	4	15		60	2,14
Iluminação motorista	3	10		30	1,07
Iluminação lavatório	1	20		20	0,71
				TCI =	<b>31,64</b>
Demanda total = TCC + TCP + (0,1 x TCI)				98 A	
Fator de cálculo		1,5			
Cálculo para determinar qual mínima saída nominal de corrente o alternador precisará ter (Demanda Total x Fator de cálculo)				147 A	
Cálculo para determinar se o limite de corrente em idle que o alternador deverá fornecer será suficiente ((TCC + TCP) x Fator de cálculo)				143 A	

Fonte: Autoria própria

### 6.3 Planilha segundo autor 2

A Figura 8 mostra a planilha implementada de acordo com a teoria presente no capítulo 5. Para melhorar a compreensão e comparação posteriormente, a nomenclatura dada pelo autor às cargas (consumidoras contínuas, consumidoras de longa duração e consumidoras de curta duração) foi alterada para a mesma nomenclatura utilizada na planilha exibida na Figura 7.

Uma nova coluna foi inserida para representar a frequência de utilização de cada carga, ou seja, o quanto ela estará consumindo corrente elétrica durante a operação do ônibus. Os valores preenchidos foram obtidos de dados pegos de veículos em operação.

Outra nova coluna também foi adicionada para armazenar a corrente total de cada carga já multiplicada pela sua quantidade, mas sem a frequência de utilização. Pois estes valores serão importantes para cálculos abaixo.

Para as cargas contínuas foram atribuídas frequências de utilização de 100%. Já para as outras duas classificações, valores entre 5% e 80%.

O cálculo da corrente de saída mínima para atender todas as cargas pode ser visto na equação (6).

$$\sum \text{Todas as correntes sem o fator de utilização} = 127 A \quad (6)$$

A equação (7) aponta o cálculo de verificação da capacidade do alternador fornecer corrente elétrica em velocidade *idle*.

$$TCC + TCP + TCI = 87 A \quad (7)$$

Figura 8 – Planilha para cálculo desenvolvida conforme autor 2

Ônibus Rodoviário						
Tensão do Alternador	=	28 V				
Quantidade	Potência unitária (W)	Corrente unitária (A)	Total Potência (W)	Frequência de Utilização (%)	Total Corrente s/ Freq. Utiliz. (A)	Total Corrente (A)
<b>Cargas contínuas</b>						
consumo chassi	1		0	100	15,00	15,00
ar condicionado	1	1140	1140	100	40,71	40,71
Luzes itinerário	1	20	20	100	0,71	0,71
Farol baixo	2	60	120	100	4,29	4,29
Iluminação degraus	10	0,2	2	100	0,07	0,07
Luz de placa	2	2	4	100	0,14	0,14
					TCC =	60,93
<b>Cargas prolongadas</b>						
Limpador para-brisa	2	60	120	50	4,29	2,14
rádio	1	60	60	50	2,14	1,07
TV-monitor	4	40	160	80	5,71	4,57
tomadas 110V	4	100	400	50	14,29	7,14
Iluminação interna passageiros	60	3	180	80	6,43	5,14
Iluminação corredor	12	3	36	80	1,29	1,03
					TCP =	21,10
<b>Cargas intermitentes</b>						
sirene de ré	1	1	1	5	0,04	0,00
lavador para-brisa	2	20	40	5	1,43	0,07
Desembaçador vidro	2	60	120	20	4,29	0,86
Cafeteira	1	120	120	10	4,29	0,43
Buzina	1	150	150	10	5,36	0,54
Tomada 12V	1	50	50	50	1,79	0,89
Farol alto	2	60	120	25	4,29	1,07
farol de neblina	2	60	120	10	4,29	0,43
Luzes de ré	2	5	10	5	0,36	0,02
Luzes de freio	2	5	10	10	0,36	0,04
Luzes indicação posição	8	4	32	10	1,14	0,11
Iluminação bagageiro	6	0,5	3	5	0,11	0,01
Luzes de serviço	4	15	60	5	2,14	0,11
Iluminação motorista	3	10	30	10	1,07	0,11
Iluminação lavatório	1	20	20	10	0,71	0,07
					TCI =	4,75

Cálculo para determinar qual mínima saída nominal de corrente o alternador precisará ter (Somatória potência total sem a frequência de utilização)

127 A

Cálculo para determinar se o limite de corrente em idle que o alternador deverá fornecer será suficiente (TCC + TCP + TCI)

87 A

Fonte: Autoria própria

#### 6.4 Planilha segundo autor 3

A Figura 9 apresenta a planilha elaborada de acordo com o que foi explanado pelo terceiro autor. Da mesma forma que foi feito para a planilha do segundo autor, a nomenclatura dada pelo autor às cargas (cargas contínuas, cargas de longa duração e cargas de curta duração) foi alterada para a mesma nomenclatura utilizada na planilha exibida na Figura 7.

Desta vez, os grupos das cargas prolongadas e das cargas intermitentes não foram representados separadamente. Conforme o terceiro autor, as cargas deveriam estar representadas no mesmo grupo para fins de cálculo. Dessa forma, antes existiam duas células com a somatória das correntes totais de cada grupo (TCP e TCI). Já agora, estão agrupadas dentro de TCPI (Total Cargas Prolongadas e Intermitentes).

A equação (8) apresenta a forma que o cálculo para obter a corrente de saída mínima que o alternador deve fornecer para todas as cargas conectadas e considerando a corrente de carga da bateria.

$$TCC + TCPI = 87 A \quad (8)$$

Para o cálculo da saída de corrente mínima que o alternador deve fornecer em velocidade *idle* fez-se necessário a utilização de um fator de cálculo. Nesse caso o fator utilizado foi de 1,3. A equação (9) constata isso.

$$TCPI \times \text{Fator de Cálculo} = 79 A \quad (9)$$

Figura 9 – Planilha para cálculo desenvolvida conforme autor 3

Ônibus Rodoviário						
Tensão do Alternador	=	28 V				
	Quantidade	Potência unitária (W)	Corrente unitária (A)	Total Potência (W)	Frequência de Utilização (%)	Total Corrente (A)
<b>Cargas contínuas</b>						
consumo chassi	1		15	0	100	15,00
ar condicionado	1	1140		1140	100	40,71
Luzes itinerário	1	20		20	100	0,71
Farol baixo	2	60		120	100	4,29
Iluminação degraus	10	0,2		2	100	0,07
Luz de placa	2	2		4	100	0,14
					TCC =	60,93
<b>Cargas prolongadas e intermitentes</b>						
Limpador para-brisa	2	60		120	50	2,14
rádio	1	60		60	50	1,07
TV-monitor	4	40		160	80	4,57
tomadas 110V	4	100		400	50	7,14
Iluminação interna passageiros	60	3		180	80	5,14
Iluminação corredor	12	3		36	80	1,03
sirene de ré	1	1		1	5	0,00
lavador para-brisa	2	20		40	5	0,07
Desembaçador vidro	2	60		120	20	0,86
Cafeteira	1	120		120	10	0,43
Buzina	1	150		150	10	0,54
Tomada 12V	1	50		50	50	0,89
Farol alto	2	60		120	25	1,07
farol de neblina	2	60		120	10	0,43
Luzes de ré	2	5		10	5	0,02
Luzes de freio	2	5		10	10	0,04
Luzes indicação posição	8	4		32	10	0,11
Iluminação bagageiro	6	0,5		3	5	0,01
Luzes de serviço	4	15		60	5	0,11
Iluminação motorista	3	10		30	10	0,11
Iluminação lavatório	1	20		20	10	0,07
					TCPI =	25,85

Fator de cálculo

1,3

Cálculo para determinar qual mínima saída nominal de corrente o alternador precisará ter (TCC + TCPI)

87 A

Cálculo para determinar se o limite de corrente em idle que o alternador deverá fornecer será suficiente (TCPI x Fator de cálculo)

79 A

Fonte: Autoria própria

## 6.5 Comparação entre os três resultados

Considerando que foram utilizadas as mesmas especificações das cargas elétricas, a Tabela 3 aponta os resultados obtidos pelas três metodologias de cálculo.

Tabela 3 – Comparação dos resultados

Método	Autor 1	Autor 2	Autor 3
<b>Corrente elétrica de saída do alternador para atender todas as cargas</b>	147 A	127 A	87 A
<b>Corrente elétrica de saída do alternador para velocidade <i>idle</i></b>	143 A	87 A	79 A

Fonte: Autoria própria

## 6.6 Análise dos dados obtidos em relação a um alternador de exemplo

Com os resultados da comparação foi possível cruzar os dados com o gráfico de saída de corrente de um alternador. Considerando as seguintes condições:

- Relação entre polia do alternador e polia do motor  $R = 3,0$
- Velocidade *idle* motor diesel  $\omega_I = 600$  RPM
- Velocidade máxima rotação motor  $\omega_E = 2500$  RPM
- Alternador com saída 28V

Com estas informações o primeiro passo dado foi calcular a velocidade de rotação do alternador quando o motor estiver em velocidade *idle*. A equação (10) representa o cálculo.

$$\omega_A = R \times \omega_I = 3,0 \times 600 = 1800 \text{ RPM} \quad (10)$$



O segundo passo foi verificar se, com a taxa R igual a três e velocidade máxima de rotação do motor igual a 2500 RPM, algum dos alternadores era adequado para a aplicação. A equação (11) mostra este cálculo:

$$\omega_{A\ MAX} = R \times \omega_E = 3,0 \times 2500 = 7500\ RPM \quad (11)$$

Para os dados obtidos pela primeira planilha podemos concluir que:

- Verificando a Figura 10 a velocidade máxima do alternador é compatível com os cinco modelos deste fabricante, pois a velocidade máxima encontrada foi de 7500 RPM e no gráfico temos o limite de 8000 RPM.
- Para a corrente de saída mínima que o alternador deve ter para atender todas as cargas apenas três modelos atendem a necessidade, são eles: alternadores de 160A, 190A e 200A.
- Muitos fabricantes disponibilizam a corrente de saída para certas velocidades em tabelas em seus catálogos. Caso não esteja tabelado o valor deve ser procurado no gráfico. Para o nosso exemplo temos a velocidade *idle* de 1800 RPM e nesta velocidade os cinco modelos de alternadores irão fornecer 82A, 95A, 88A, 90A e 90A, respectivamente. Assim nenhum atende a demanda.

**Tabela 4 – Resumo para dados da planilha 1 no exemplo**

<b>Velocidade máxima alternador</b>	7500 RPM	Os cinco modelos atendem
<b>Corrente saída mínima para atender todas as cargas</b>	147 A	Três modelos atendem (160A, 190A e 200A)
<b>Corrente elétrica de saída do alternador para velocidade <i>idle</i></b>	143 A	Nenhum modelo atende

Fonte: Autoria própria

Para os dados obtidos pela segunda planilha podemos concluir que:

- Verificando a Figura 10 a velocidade máxima do alternador é compatível com os cinco modelos deste fabricante, pois a velocidade

máxima encontrada foi de 7500 RPM e no gráfico temos o limite de 8000 RPM.

- Para a corrente de saída mínima que o alternador deve ter para atender todas as cargas apenas três modelos atendem a necessidade, são eles: alternadores de 160A, 190A e 200A. O alternador de 140A numericamente seria apto, mas olhando a sua curva teremos 127A para rotação do motor a partir de 1000 RPM e isso é uma faixa baixa.
- Para o nosso exemplo temos a velocidade *idle* de 1800 RPM e nesta velocidade os cinco modelos de alternadores irão fornecer 82A, 95A, 88A, 90A e 90A, respectivamente. Comparando os dados temos que os de 140A, 160A, 190A e 200A atenderiam, entretanto o de 160A está com valor muito próximo e não seria uma opção.

**Tabela 5 – Resumo para dados da planilha 2 no exemplo**

<b>Velocidade máxima alternador</b>	7500 RPM	Os cinco modelos atendem
<b>Corrente saída mínima para atender todas as cargas</b>	127 A	Três modelos atendem (160A, 190A e 200A)
<b>Corrente elétrica de saída do alternador para velocidade <i>idle</i></b>	87 A	Três modelos atendem (140A, 190A e 200A)

Fonte: Autoria própria

Para os dados obtidos pela terceira planilha podemos concluir que:

- Verificando a Figura 10 a velocidade máxima do alternador é compatível com os cinco modelos deste fabricante, pois a velocidade máxima encontrada foi de 7500 RPM e no gráfico temos o limite de 8000 RPM.
- Para a corrente de saída mínima que o alternador deve ter para atender todas as cargas todos os cinco modelos atendem a necessidade.
- Para o nosso exemplo temos a velocidade *idle* de 1800 RPM e nesta velocidade os cinco modelos de alternadores irão fornecer 82A, 95A, 88A, 90A e 90A, respectivamente. Comparando os dados temos que

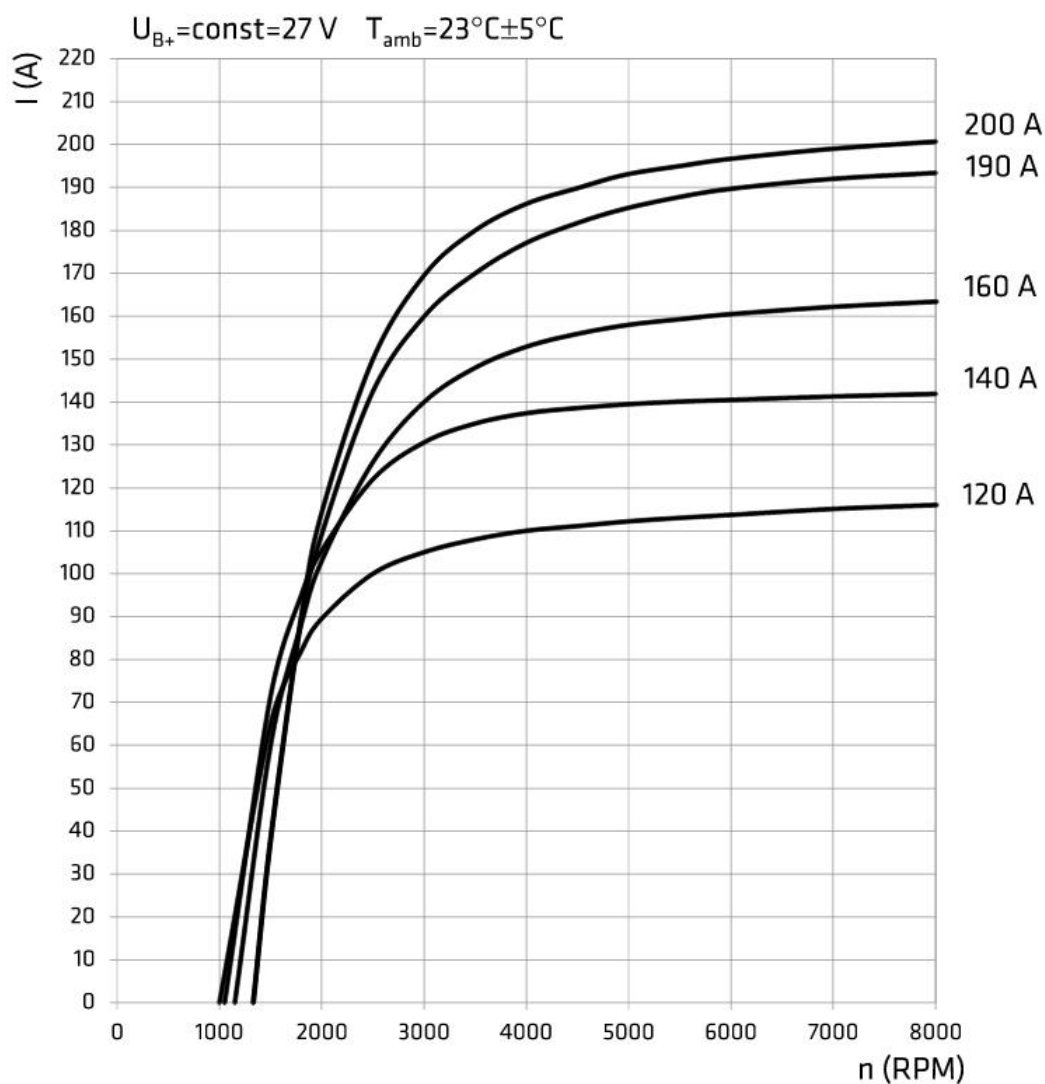
os cinco modelos atenderiam, entretanto o de 120A está com valor muito próximo e não seria uma opção.

**Tabela 6 – Resumo para dados da planilha 3 no exemplo**

<b>Velocidade máxima alternador</b>	7500 RPM	Os cinco modelos atendem
<b>Corrente saída mínima para atender todas as cargas</b>	87 A	Os cinco modelos atendem
<b>Corrente elétrica de saída do alternador para velocidade <i>idle</i></b>	79 A	Quatro modelos atendem (140A, 160A, 190A e 200A)

Fonte: Autoria própria

Figura 10 – Curva saída três alternadores



Type	$n_o$ (RPM)	$I$ (A) at 1800 RPM	$I$ (A) at 6000 RPM
28V 120A	1000	82	115
28V 140A	1050	95	140
28V 160A	1150	88	160
28V 190A	1350	90	190
28V 200A*	1350	90	197

A Tabela 7 agrupa as análises feitas nas Tabelas 4, 5 e 6, mas mostrando apenas os alternadores viáveis seguindo cada uma das planilhas.

**Tabela 7 – Resultado da análise da viabilidade dos alternadores**

	Planilha 1	Planilha 2	Planilha 3
Alternador 28V 120A	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>
Alternador 28V 140A	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<b>SIM</b>
Alternador 28V 160A	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>	<b>SIM</b>
Alternador 28V 190A	<b>NÃO</b>	<b>SIM</b>	<b>SIM</b>
Alternador 28V 200A	<b>NÃO</b>	<b>SIM</b>	<b>SIM</b>

Fonte: Autoria própria

Com relação ao exemplo apresentado neste trabalho, um projeto de ônibus rodoviário fabricado no Brasil, caso o engenheiro responsável seguisse o primeiro método de cálculo a solução dele seria

- Instalar dois alternadores em paralelo, ou;
- Fazer a instalação do ar condicionado independente do sistema ligado às outras cargas elétricas veiculares e recarga da bateria. Pois removendo da planilha o ar condicionado a corrente nominal iria à 86A e a corrente em *idle* à 82A. Dessa forma apenas o alternador de 120A não seria compatível.

Caso o engenheiro seguisse a orientação da segunda planilha ele teria três alternadores como opção de instalação e caso usasse a terceira planilha teria quatro opções de alternadores.

Comparando os resultados obtidos na Tabela 3 e na Tabela 6 é possível identificar grandes diferenças entre as diferentes teorias apresentadas.

Na Tabela 3, a informação de corrente de saída mínima do alternador para atender todas as cargas tem variação de 15,75% entre o primeiro e o segundo resultado, 45,98% entre o segundo e terceiro e importantes 68,97% entre o primeiro e terceiro. Referente à corrente de saída do alternador em velocidade *idle* tem-se variação de 64,37% entre o primeiro e o segundo resultado, 10,13% entre o segundo e terceiro e representativos 81,01% entre o primeiro e o terceiro.

Na Tabela 7, o primeiro resultado não seria possível utilizar nenhum dos alternadores utilizados no exemplo. O segundo teria suas opções de alternadores. Já o terceiro teria quatro opções para utilizar em seu projeto de sistema elétrico veicular.

Após utilizar os três métodos é possível concluir que o primeiro está mais distante da realidade, pois:

- Utiliza um fator fixo de 0,1 para cargas intermitentes. Em relação a operação do veículo cargas prolongadas também podem ter um grau de utilização diferente de 100%.
- Talvez a taxa de cálculo de 1,5 para corrente nominal e corrente em *idle* seja muito severa para toda e qualquer configuração de sistema elétrico veicular.

Referente ao segundo método é possível observar uma evolução, perante o primeiro, ao introduzir a frequência de utilização de cada carga também para cargas prolongadas e com valores variáveis conforme a aplicação. Esta introdução torna a solução mais próxima à realidade, entretanto não possui um valor de segurança que garanta uma porção da corrente do alternador para a recarga da bateria.

Por último, o terceiro já se mostrou uma maneira mais real. Observando veículos em campo, este último método é o que mais se aproxima, onde:

- É utilizada a frequência de utilização para que as cargas sejam representadas no cálculo mais próximas à realidade.
- Existe um fator de cálculo para assegurar corrente do alternador para cargas contínuas e recarga da bateria.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inicialmente neste trabalho foi estudada a composição do sistema elétrico veicular para poder entender o seu funcionamento. As referências foram obtidas principalmente de livros e artigos científicos.

Este trabalho também se propôs a pesquisar metodologias para o correto dimensionamento do alternador em um sistema elétrico veicular. Esse resultado foi alcançado listando três metodologias diferentes para cálculo de corrente nominal e de velocidade *idle* para o alternador. Com estes métodos foram geradas três planilhas dentro de um arquivo *template*, onde existem entradas de dados das cargas do veículo e saídas de correntes para a escolha do alternador.

Dentre as três metodologias a que mais se aproximou com a realidade foi a terceira. Esta conclusão foi contatada após aplicar nas três planilhas um mesmo grupo de cargas e em mesmas condições de instalação, simulando um veículo real. O primeiro método foi o pior dentre todos e não obteve sucesso utilizando apenas um alternador. O segundo método obteve resultados melhores que o primeiro, mas ainda não tão confiável quanto o terceiro. O último alcançou valores de correntes mais confiáveis tanto para a manutenção do funcionamento das cargas elétricas, quanto para a recarga da(s) bateria(s).

Após todas estas análises é possível afirmar que mesmo o terceiro método, que se apresentou o melhor entre os três, pode ser melhorado em trabalhos futuros. Um ponto a ser melhorado seria análise de funcionamento de cargas excludentes entre si, ou seja, são listadas com suas frequências de funcionamento no cálculo, mas nunca irão funcionar ao mesmo tempo. Outro ponto é a frequência de utilização de cada carga, pois pode variar com diversos fatores, e um estudo poderia ser feito para definir uma base de consulta ou definir estágios de ligações de cargas conforme a operação do veículo.

## 8 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15570**: informação e documentação- lombada - apresentação. Rio de Janeiro, 2009.

ANFAVEA. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuário.html>>. Acesso em: 1 fev. 2016.

LINDEN, David; REDDY, Thomas B. **Handbook of Batteries**. 3. Ed. McGraw-Hill, 2002.

KHAN, Iftikhar A. Power Electronics in Automotive Electrical Systems. **Power Electronics in Transportation**, IEEE, p. 32, 24-25 outubro 1996. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=565907>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

DENTON, T. **Automobile Electrical and Electronic Systems**. 3. ed. Butterworth-Heinemann, 2004.

JOHNSON CONTROLS. **Treinamento técnico em baterias automotivas**. Disponível em: <[http://www.manualdoautomovel.com.br/areatecnica/manuais\\_de\\_treinamento/manuais/material-de-apoio-heliar-250809.pdf](http://www.manualdoautomovel.com.br/areatecnica/manuais_de_treinamento/manuais/material-de-apoio-heliar-250809.pdf)>. Acesso em: 21 jan. 2016.

HELIAR. **Heliar frota super free RTP170TD**. Disponível em: <<http://www.heliar.com.br/pt-br/produtos/heliar-frota/rtp170td/>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

MARCHILDON, Jacques; DOUMBIA, Mamadou L.; AGBOSSOU, Kodjo. SOC and SOH Characterisation of Lead Acid Batteries. **Industrial Electronics Society, IECON 2015 - 41st Annual Conference of the IEEE**, p. 1442-1446, 9-12 novembro 2015. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=7392303&queryText=ampere%20hour%20capacity%20lead%20acid&newsearch=true>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

KARAMI, Hassan; KARIMI, Mohammad A.; MAHDIPOUR, Maryam. ANN modeling of cold cranking test for sealed lead-acid batteries. **Journal of Power Sources**, v. 158, n. 2, p. 936-943, 25 agosto 2006. Disponível em: <<http://www-sciencedirect-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S037877530501582X>>. Acesso em: 21 jan. 2016.



WALDMAN, Colin; GURUSUBRAMANIAN, Sabarish; FIORENTINI, Lisa; CANOVA, Marcello. A model-based supervisory energy management strategy for a 12V vehicle electrical system. **Control Engineering Practice**, v. 44, p. 20-30, novembro 2015. Disponível em: <<http://www-sciencedirect-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S096706611500101X>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

LEE, Wootaik; CHOI, Daeho; SUNWOO, Myoungcho. Modelling and simulation of vehicle electric power system. **Journal of Power Sources**, V. 109, N. 1, P. 58-66, 15 junho 2002. Disponível em: <<http://www-sciencedirect-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0378775302000332>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

VANGELDER, Kirk T. **Fundamentals of automotive technology**: Principles and practice. Jones & Bartlett Learning, 2013.

BOSCH. **Alternadores, motores de partida e principais componentes**. Campinas, SP, 2015. 209 p. Disponível em: <[http://br.bosch-automotive.com/media/parts/download\\_2/motores\\_eletricos/Cat\\_Linha\\_Eletrica\\_RM\\_2015-2016\\_LowRes.pdf](http://br.bosch-automotive.com/media/parts/download_2/motores_eletricos/Cat_Linha_Eletrica_RM_2015-2016_LowRes.pdf)>. Acesso em: 20 jan. 2016.

BOSCH. **Manual de tecnologia automotiva**. Tradução: Helga Madjderey, Gunter W. Prokesch, Euryale de Jesus Zerbini e Suely Pfeferman. 25. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

BELL, Joseph A. **Modern Diesel Technology**: Electricity and Electronics, 2. ed. Delmar Cengage Learning, 2014.

BOSCH. Long Haul Extreme Alternators, 2011. Disponível em: <<https://www.boschautoparts.com/documents/11100/0/0/873d1bb3-efb-4a54-97d7-ccde5f3d19b8>>. Acesso em: 27 mar. 2015.

MCLAREN. G-Type Alternator: 24V (up to 125 Amps), 2014. Disponível em: <<http://www.mclarenelectronics.com/Content/Products/G-Type%20Alternator%2024V/G-Type%20Alternator%2024V.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2015.

CHICHARRO, J.M.; MORALES, A.L.; MORENO, R.; NIETO, A.J.; PINTADO, P. Sensorless automotive engine speed measurement by noise analysis. **Mechatronics, 2009. ICM 2009. IEEE International Conference on**, p. 1-4, 14-17 abril 2009. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=4957125>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

**BOSCH. Automotive Electric/Electronic Systems.** 1. ed. Alemanha, 1988.

MAHLE. Reliable, Efficient power supply: Alternators, 2015. Disponível em: <[http://www.letrika.mahle.com/media/att/15/04/09/Mahle\\_alternators.pdf](http://www.letrika.mahle.com/media/att/15/04/09/Mahle_alternators.pdf)>. Acesso em: 20 jan. 2016.