

**ENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ “DR. NEWTON DA
COSTA BRANDÃO”**

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Ismael Cordeiro da Silva

Rafael Lopes Soares da Silva

São Paulo
2014

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ DR. “NEWTON DA
COSTA BRANDÃO BRANDÃO”**

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Ismael Cordeiro da Silva

Rafael Lopes Soares da Silva

Unidade de controle para o sistema de carga automotivo

Trabalho de Conclusão de Curso entregue à Fatec Santo André como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Orientador: Prof.
Luiz Vasco Puglia

Santo André
2014

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus pela perseverança na conquista de mais um objetivo e pela força e coragem encontrada nos momentos mais difíceis desta caminhada.

Agradecemos aos nossos pais, familiares (esposas e filhos) e amigos pelo apoio e compreensão, por caminharem ao nosso lado durante toda a jornada da nossa graduação, principalmente nos momentos em que estivemos ausentes, momentos estes que foram dedicados à realização deste trabalho.

Agradecemos também aos professores e amigos da Fatec Santo André, pelos conhecimentos e experiências de vida transmitidos que foram imprescindíveis e fundamentais para alcançarmos nossos objetivos.

”Conhecimento não é aquilo que você sabe, mas o que você faz com aquilo que você sabe.”
(Aldous Huxley).

Faculdade de Tecnologia de Santo André

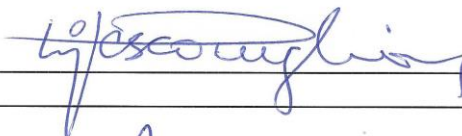
LISTA DE PRESENÇA
SANTO ANDRÉ, 07 DE JUNHO DE 2014

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA “Unidade de Controle do Sistema de Carga Automotiva” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. LUIZ VASCO PUGLIA



MEMBROS:

ENG. ANDERSON CAMPOS LIMA



PROF. MARCO AURÉLIO FRÓES



ALUNOS:

RAFAEL LOPES SOARES DA SILVA



ISMAEL CORDEIRO DA SILVA



RESUMO

A principal fonte de energia de veículos automotores é originária de um processo químico de transformação do poder calorífico existente no combustível em conjugado mecânico, resultando no movimento. Para iniciar este processo de transformação energética, que coloca um motor a explosão em movimento, é necessário um esforço inicial para disparo deste processo. Consagrado na indústria automobilística, um motor elétrico de corrente contínua, que recebe o nome de motor de partida, inicia a movimentação de todo o conjunto móvel do motor a combustão interna, até este alcançar a rotação de funcionamento, quando então o motor de partida pode ser desligado do processo. Para isso uma energia inicial se faz necessária, neste momento uma energia elétrica é gerada através de uma diferença de potencial (DDP) em um acumulador químico de alta capacidade, conhecido como bateria chumbo ácido automotiva, ou simplesmente bateria, que através do processo de oxirredução transforma a energia química acumulada em energia elétrica. A partir do momento que o motor a combustão entra em regime de funcionamento, também outro sistema entra em funcionamento, conhecido como sistema de carga. O alternador é um componente vital para um bom funcionamento deste sistema, sua função é gerar energia necessária para recompor a carga da bateria utilizada durante a partida, e suprir de energia elétrica dos componentes elétricos e eletrônicos do veículo durante o funcionamento do motor. Através da energia mecânica gerada pelo motor a combustão interna e transmitida através de correias e polias para o eixo do rotor do alternador, obtém-se a energia elétrica para o funcionamento do sistema. Porém para que esta energia possa ser utilizada no veículo é necessário passar por um sistema de retificação trifásico, e um sistema de controle de tensão, que tem como função administrar a tensão e corrente geradas no alternador, para que a tensão de saída permaneça dentro dos valores de tensão estabelecidos para um bom funcionamento, no caso de um sistema que utilize uma alimentação de 12V prevê-se uma flutuação de tensão entre 13.5V e 14.5V . O objetivo deste projeto é desenvolver um regulador de tensão simulado através de LABVIEW, que relacione os sinais de tensão da bateria, RPM e TPS e seja capaz de gerar um sinal PWM para que possa ser feito um maior controle sobre a carga da bateria para diversos regimes do motor a combustão interna proporcionando como consequência uma redução no consumo de combustível, emissões e ainda proporcione um maior rendimento e aproveitamento da carga gerada pelo alternador.

Palavras chaves: Acumulador químico, sistema de carga, alternador, PWM.

ABSTRACT

The main power source of motor vehicles is original from a chemical process -economic transformation of the existing heating value in the fuel into mechanical torque, resulting in motion. To begin this process of transformation of energy, which poses a combustion engine in motion, an initial effort is required to trigger this process. Enshrined in the automotive industry, an electric dc motor, which gets its name from the starter motor starts moving all mobile set of an internal combustion engine until it reaches the speed of operation, whereupon the starter may be disconnected from the process. For this initial energy is needed , this time an electric power is generated through a potential difference (DDP) in a chemical battery high capacity , known as automotive lead acid battery , or simply battery, which through redox process accumulated transforms chemical energy into electrical energy . From the moment you enter the combustion engine under operation, another system is in operation , known as system load . The alternator is a vital component for the proper functioning of this system, its function is to generate energy needed to replenish the battery power used during the match , and supply of electricity of the electric and electronic components of the vehicle during the functioning of the engine. Through the mechanical energy generated by the internal combustion engine and transmitted through belt and pulley to the rotor shaft of the alternator, you get the power for operating the system. But so that this energy can be used in the vehicle is necessary to pass through a system of three-phase rectification, and a system of voltage control, which is designed to manage the voltage and current generated by the alternator so that the output voltage remains within the voltage values established for a proper functioning, in the case of a system that uses a 12V floating one - ply voltage between 13.5V and 14.5V is foreseen. The objective of this project is to develop a simulated voltage regulator through LABVIEW, which relates the signs of battery voltage, RPM and TPS and be able to generate a PWM signal so that it can be a greater control over the battery for several the internal combustion engine speeds giving as a consequence a reduction in fuel consumption , emissions and still provide higher throughput and utilization of the load generated by the alternator .

Key words: Chemical battery, charging system, alternator, PWM

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS.....	14
LISTA DE ABREVIATURAS.....	15
1 INTRODUÇÃO	16
1.1. Motivação.....	17
1.2. Objetivos	17
1.3. Metodologia	18
1.4. Organização do Trabalho	18
2 CONCEITOS TEÓRICOS.....	19
2.1 Contexto histórico	19
2.2 Geração de energia	20
2.3 Sistema de carga	21
2.3.1 Alternador	22
2.3.1 .1 Gerador	22
2.3.1.2 Rotor	23
2.3.1.3 Estator	24
2.3.1.4 Conjunto retificador	25
2.3.1.5 Regulador de tensão	29
2.4 Dimensionamento de alternadores	31
2.5 Rendimento de um alternador	33
2.6 Baterias automotivas	34
2.6.1 Componentes que integram uma bateria.....	35
2.6.2 Princípio de funcionamento	38
2.6.3 Classificação de uma bateria	40

2.6.4	Processo de recarga de baterias	40
2.7	Fontes de alimentação.....	43
2.7.1	Regulação da tensão.....	43
2.7.2	Sinal PWM.....	45
2.8	Rendimento de motores a combustão interna	50
3.	PARTE PRÁTICA E MONTAGEM	51
3.1	Hardware	51
3.2	Software.....	57
3.3	Bancada de testes	63
4.	RESULTADOS OBTIDOS	68
4.1	Teste em bancada.....	68
4.2	Teste em automóvel	71
5.	CONCLUSÕES E PRÓXIMOS PASSOS.....	72
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
	APÊNDICE A – LISTA DE PUBLICAÇÕES	74

Lista de Figuras

Figura 1- Evolução e previsão da potência elétrica consumida (Fonte:www.Mecatrônica atual.com).....	20
Figura 2- Indução de corrente elétrica quando um campo é cortado(Senai-BA).....	21
Figura 3 - Esquema básico do sistema de carga(Senai BA).....	21
Figura 4- Alternador automotivo em corte (Manual de alternadores Bosch).....	22
Figura 5- formação do campo eletromagnético no rotor (Automotive Electrics and Automotive Electronics Barry Hollembeak).....	23
Figura 6- Aspecto do estator (Senai BA).....	24
Figura 7- Possíveis conexões para o estator. Lado direito estrela, lado esquerdo triângulo (Manual de Tecnologia Automotiva Bosch 25a Ed.).....	24
Figura 8- Formação das três fases (Manual de Tecnologia Automotiva Bosch 25a Ed.).....	25
Figura 9 – A esquerda Ligação do conjunto retificador com conexão em estrela e triângulo dos enrolamentos do estator a direita diodos e sua respectiva simbologia (Senai BA).....	26
Figura 10 – a esquerda forma de onda produzida em uma fase do estator (antes da retificação), a direita após a retificação. (o autor).....	26
Figura 11 - Retificação de um período completo de corrente alternada(Senai BA).....	27
Figura 12 - Aspecto da retificação com o uso de capacitores (Senai BA).....	27
Figura 13 – Ponte retificadora (Senai BA).....	28
Figura 14 – Esquema elétrico de um alternador automotivo (Apostila Técnica de Alternadores Bosch).....	29
Figura 15 – Controle da corrente de campo feito pelo regulador de tensão (Apostila Técnica de Alternadores Bosch).....	30
Figura 16– gráfico corrente X rotação (Apostila Técnica de Alternadores Bosch).....	33
Figura 17– Bateria automotiva (Senai BA).....	35

Figura 18 - Processo de carga e descarga fonte (conhecendo as baterias.....	39
Figura 19- Regulação linear da tensão de saída de uma fonte de tensão contínua.....	43
Figura 20– Definição de duty cycle.....	45
Figura 21– Ciclos de trabalho diferentes.....	46
Figura 22– Rendimento de um motor a combustão interna (Manual de Tecnologia Automotiva Bosch 25a Ed.).....	50
Figura 23– Regulador de Tensão Lm7812.....	51
Figura 24 – Regulador de Tensão Lm7806.....	52
Figura 25 – Circuito seguidor de tensão, Leitura da tensão de saída do alternador.....	53
Figura 26 – Circuito seguidor de tensão, Leitura do sinal do pedal.....	53
Figura 27 – Circuito seguidor de tensão, Leitura do sinal de Rotação.....	54
Figura28 – Circuito conversor , Frequência em Tensão.....	55
Figura 29– Circuito amplificador do sinal do conversor.....	55
Figura30– Circuito amplificador do sinal do pedal.....	56
Figura 31- Circuito de controle da corrente de campo do alternador.....	57
Figura 32- Fluxograma controle de carga.....	58
Figura33- Fluxograma priorização da condição de plena potência.....	59
Figura 34- fluxograma controle de demanda energética.....	60
Figura 35- Fluxograma condição de falha.....	61
Figura 36- Painel frontal LABVIEW.....	62
Figura37- Circuitos condicionadores de sinais e placa de interface.....	64
Figura 38- Regulador de tensão.....	64
Figura 39- Pedal acelerador e Inversor de frequência.....	65
Figura40- Motor elétrico acoplado ao alternador.....	66
Figura 41- Visão geral do projeto na bancada de carga e partida.....	67

Figura 42- Visão geral do projeto na bancada de carga e partida.....	68
Figura 43- Visão geral do projeto na bancada de carga e partida.....	70

Lista de Tabelas

Tabela 1. Somatório da Potência em Watts, consumidores contínuos ou de longa duração.....	31
Tabela 2. Somatório da Potência em Watts, consumidores de curta duração.....	32
Tabela 3. Corrente nominal de trabalho para potência determinada.....	32
Tabela 4. Estado de carga da bateria em função da densidade do eletrólito.....	37
Tabela 5. Tempo de recarga da bateria com corrente constante em função da tensão em vazio.....	41
Tabela 6. Tempo de recarga da bateria com tensão constante em função da tensão em vazio.....	41
Tabela 7 - Comparação entre a regulação linear e PWM.....	49
Tabela 8. Consumo de potência média em rotação de máxima potência.....	51
Tabela 9. Resultados do teste na bancada	69
Tabela 10. Resultados do teste no automóvel.....	71

Lista de Abreviaturas

DDP - Diferença de potencial

V - Tensão

Hz - Hertz

CI - Circuito integrado

RPM - Rotação por minuto

TPS - throttle position sensor (sensor de posição do acelerador)

PWM - Modulação por largura de pulso (pulse width modulation)

MCI - Motor de combustão interna

DELCO - Dayton Electrical Laboratory Company

CC - Corrente contínua

VCC - Tensão de corrente contínua

ABS - Anti Blocking system (sistema anti bloqueio)

MIT - Massachusetts Institute of Technology

SAE – Technology college

Pbo2 - peróxido de chumbo

Pb - chumbo esponjoso

MOSFETS – metal–oxide–semiconductor field-effect transistor

LABVIEW- Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

VI - Virtual instruments(instrumentos virtuais)

AC – Corrente alternada

1 Introdução

O automóvel possui circuitos elétricos e eletrônicos, painéis, dispositivos e instrumentos receptores que somente funcionam corretamente se a tensão do sistema for mantida dentro de limites estreitos. Principalmente considerando-se o fato de que a tensão produzida pelo alternador varia com a velocidade de rotação do rotor e também proporcionalmente à corrente de excitação do indutor. No caso do automóvel a velocidade de rotação varia de 700-900 RPM (marcha lenta), até 6000-7000 RPM. Como o alternador é movimentado pelo motor através do acoplamento entre as duas polias feito por correia, e existe uma relação de rotação entre estas polias de duas pra uma, cada rotação do motor corresponde à duas do alternador, o que faz com que a rotação no eixo do rotor fique entre 1400-1800 rpm podendo alcançar 12000-14000 RPM. Nessas condições a tensão de saída do alternador pode atingir valores na ordem de 250V, o que de forma alguma pode acontecer, pois danificaria todo o sistema elétrico e eletrônico do automóvel. Para solucionar este problema utiliza-se o regulador de tensão. Este dispositivo tem a função de controlar a tensão de saída do alternador através do controle da corrente de excitação da bobina do rotor. Para garantir o funcionamento correto de todo sistema e carga da bateria a tensão de saída do regulador deverá situar-se entre 13.5 e 14.5V. Portanto o funcionamento básico de um regulador de tensão é monitorar a tensão gerada pelo alternador, alimentando a bobina indutora enquanto essa tensão for inferior a 14.5V e cortando a alimentação se subir acima desse nível.

1.1. Motivação

A indústria automobilística produz automóveis para auxiliar no deslocamento e/ou transporte da população, de bens ou serviços. Atualmente os automóveis estão entre os bens de maior necessidade, expandindo sua relevância a diversos campos da natureza humana. Com o aumento da população mundial, a redução de custos de produção, a revolução dos materiais, e com técnicas de fabricação inovadoras, a frota de automóveis cresce a cada ano. Um conjunto de problemas inimagináveis na época da criação do automóvel, como a poluição, o barulho, os acidentes, os congestionamentos, são alguns dos problemas que enfrentamos devido ao grande número de automóveis nos centros urbanos. Nas ruas, essa frota provoca aumento médio de 5% na emissão anual dos cinco principais poluentes. O que implica no acréscimo de até 20% na procura pelos prontos-socorros para resolver problemas respiratórios, como crises de asma, e de até 10% nas internações.

De acordo com informações de empresas responsáveis pelas estradas brasileiras os 4 principais defeitos que fazem os veículos ficarem parados nas estradas são: superaquecimento, pneu furado, pane seca, e pane elétrica.

1.2. Objetivos

O objetivo do nosso trabalho é modernizar o controle do (funcionamento do sistema de carga), trazendo como resultado a diminuição no consumo de combustível e maior controle do sistema de carga em situações críticas de funcionamento.

1.3. Metodologia

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho consiste em uma estrutura de pesquisa, construção e desenvolvimento feito em 4 etapas:

-na primeira etapa, estudamos o funcionamento do sistema de carga, alternador automotivo e seus impactos sobre o motor a combustão interna.

-na segunda etapa, focamos no desenvolvimento de um sistema (software) para o controle do funcionamento do alternador automotivo de acordo com que atingíssemos os objetivos estabelecidos.

-na terceira etapa, desenvolvemos uma placa de condicionamento de sinais para a leitura e interpretação dos sinais. Nesta etapa utilizamos também uma placa da ARDUINO MEGA 2560 para realizar a comunicação via USB da placa de condicionamento de sinais com o LABVIEW, ferramenta utilizada para o desenvolvimento do software.

-na quarta etapa realizamos os testes comparativos entre os dois sistemas, regulador de tensão original e o desenvolvido.

1.4. Organização do trabalho

Este trabalho está dividido da seguinte forma: o capítulo 2 trata de uma revisão teórica dos conceitos utilizados nesse projeto, capítulo 3 mostra a metodologia para a criação do projeto, no capítulo 4 são descritos os ensaios e os resultados obtidos e no capítulo 5 a conclusão dos resultados obtidos e propostas futuras para novos desafios.

2 Conceitos teóricos

2.1 Contexto histórico

Com o início dos motores de combustão interna (MCI), ocorrido no final do século 19, iniciou-se um dos maiores desafios da indústria automotiva. A ignição da mistura ar-combustível, a melhor solução encontrada para este desafio foi um dispositivo que gerasse uma descarga elétrica dentro da câmara de combustão. Durante os primeiros anos da existência dos automóveis, o sistema elétrico foi somente utilizado para esta finalidade. Lâmpadas a óleo e acetileno eram utilizadas, sendo substituídas mais adiante por incandescentes. As baterias empregadas eram do tipo secas e chumbo-ácido, devido à ausência de geradores CC para fins automotivos. Foi em 1912, com o desenvolvimento dos primeiros motores de partida elétricos pela *Dayton Electrical Laboratory Company* (DELCO), o primeiro veículo com partida elétrica foi lançado e junto uma nova era na história do sistema elétrico automotivo se iniciou. Foi então que os primeiros geradores de CC com tensão nominal de 7V foram desenvolvidos, com o objetivo de fornecer energia para os sistemas de iluminação, ignição e carga da bateria. Por volta de 1955, com o desenvolvimento de um MCI V8 de alta taxa de compressão foi responsável pela transição do sistema elétrico em 6V/7V CC para 12V/14V CC, isto aconteceu pela necessidade de um sistema de ignição mais confiável, face aos requisitos mais exigentes de energia durante a partida dos novos motores. Atualmente aproximadamente cinco décadas após a implementação do sistema elétrico em 12V/14V CC, um cenário semelhante surge. Os fatores que mais contribuem para a crescente demanda energética nos últimos projetos são: a substituição de sistemas mecânicos ou hidráulicos por sistemas elétricos. Por exemplo, podemos destacar os sistemas de freios ABS (Anti Blocking System, sistema de freios que evitam o travamento das rodas durante as frenagens) e os sistemas *x-by-wire* (Tecnologia que utiliza sistemas elétricos ou eletromecânicos para controlar funções do veículo antes feitas por atuadores mecânicos, como freios, direção, acelerador e outros), Desta forma, prevê-se que a demanda por energia elétrica nos veículos automotores superará a capacidade de geração de um alternador do tipo 14V CC. Então na busca de possíveis soluções para este desafio, o aumento da tensão do sistema elétrico dos automóveis, apresenta-se como uma solução atraente, porem complexa. Desde o início dos anos 90, Institutos e Sociedades internacionais, como o MIT (*Industry consortium on advanced automotive electrical / electronic componentes and systems*) e a SAE (*Dual / higher voltage study*

group), vêm promovendo encontros entre os fabricantes de veículos e os principais fornecedores automotivos e entre os principais estudos publicados a partir destes fóruns, destaca-se o estabelecimento do barramento de tensão em 42V CC como o futuro padrão para o setor automotivo.

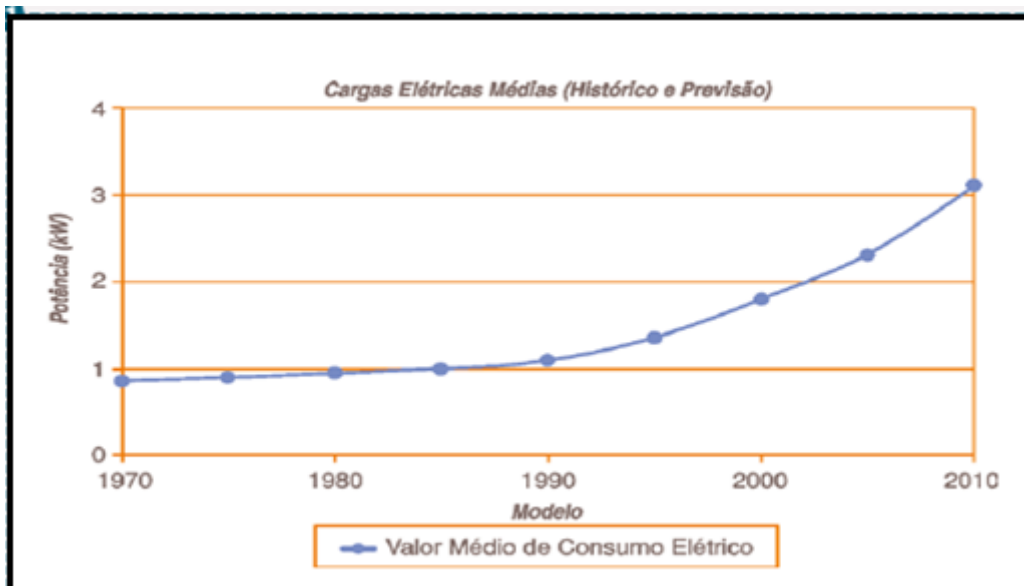


Figura 1- Evolução e previsão da potência elétrica consumida (Fonte:www.Mecatrônica atual.com).

2.2 Geração de energia

A energia elétrica pode ser gerada: por atrito, reação química ou por um campo magnético variável sobre um condutor. Sempre que um condutor elétrico for "cortado" ou "corta" um campo magnético, aparece sobre esse condutor uma corrente elétrica. O campo magnético pode ser criado de duas maneiras: através de ímãs permanentes a partir de materiais, como o aço enrijecido, que tem a propriedade de reter o campo magnético quando submetido a ele ou através de eletroímãs, isto é, ímãs criados por meio de corrente elétrica. Sempre que uma corrente elétrica flui através de um condutor, aparece ao seu redor um campo magnético. As linhas de campo magnético têm forma circular e podem ser visualizados como um cilindro cheio, tendo a extensão do fio. A intensidade desse campo depende da quantidade de corrente elétrica que flui sobre o condutor. Quanto maior for a corrente elétrica, maior será a intensidade do campo magnético, porém esse campo é muito fraco e não pode ser usado para esse propósito. Então se

embobinarmos esse condutor as linhas de força do campo magnético de cada espira se combinarão e formará um campo mais denso e forte. A produção do campo magnético através de corrente elétrica é um fenômeno reversível e graças a este fenômeno foi possível a criação do alternador que pode ser considerado o principal componente do sistema de carga.

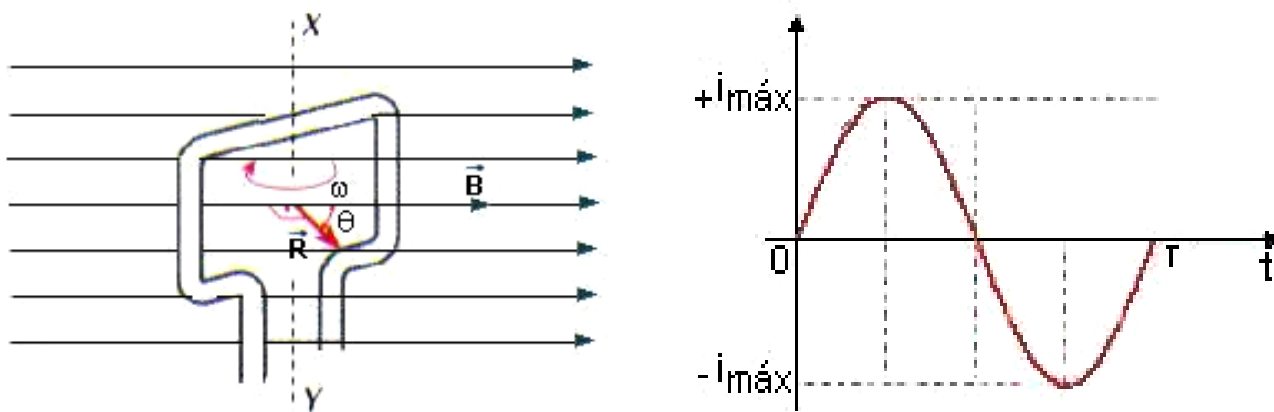


Figura 2- Indução de corrente elétrica quando um campo é cortado (Senai-BA)

2.3 Sistema de carga

As funções do sistema de carga são: recompor a carga da bateria gasta durante a partida e fornecer energia aos componentes elétricos durante o funcionamento do motor. O sistema de carga pode ser dividido em 3 partes: bateria, alternador e sistema elétrico.

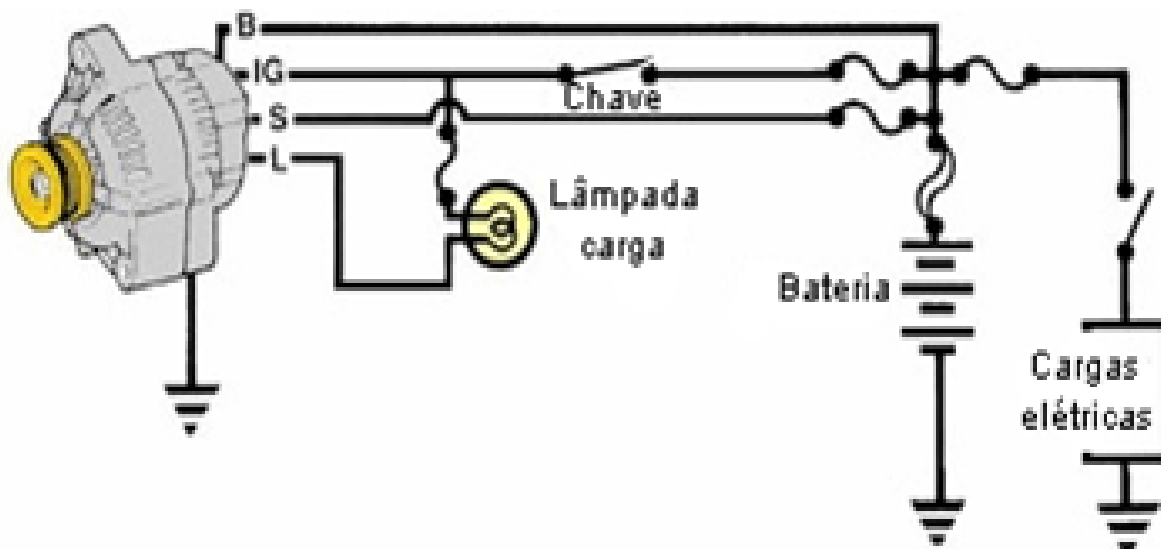


Figura 3 - Esquema básico do sistema de carga (Senai BA)

2.3.1 Alternador

Componente responsável por transformar uma energia mecânica proveniente do MCI em elétrica é constituído por um gerador de corrente alternada, e um sistema eletrônico composto por um conjunto retificador e um regulador de tensão.

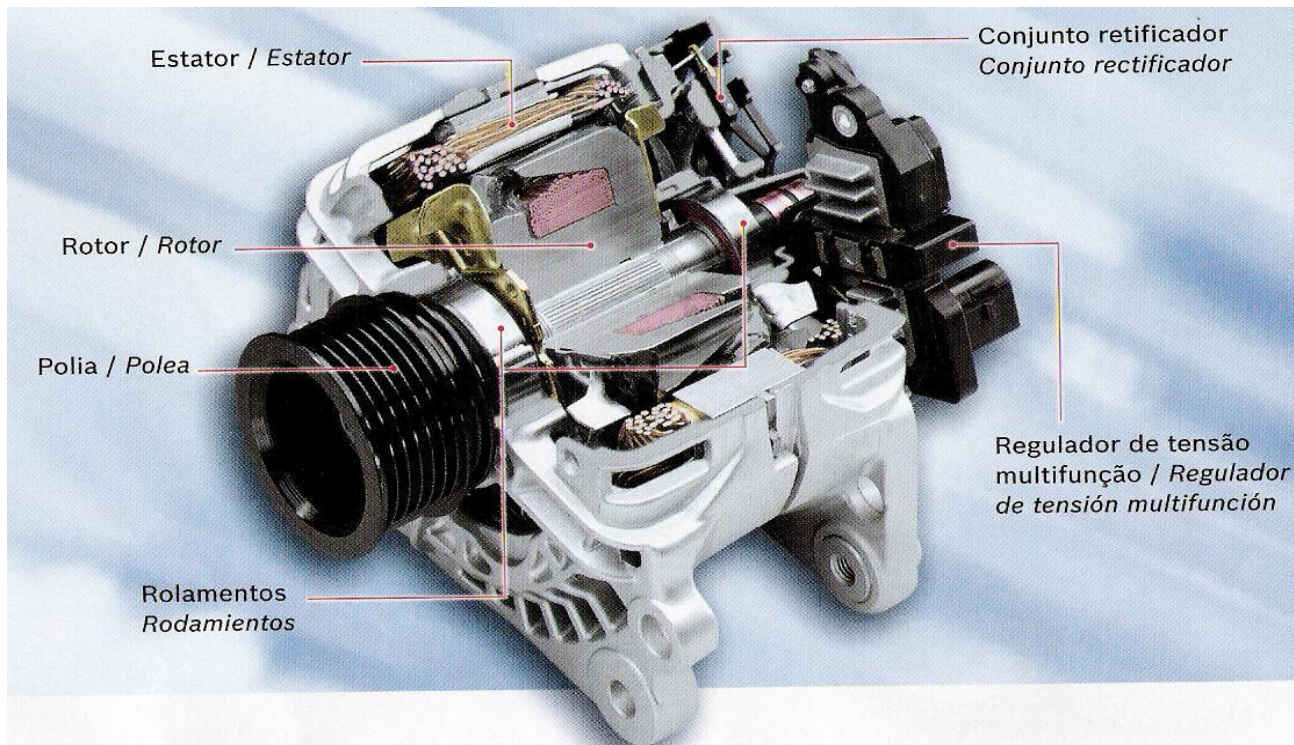


Figura 4- Alternador automotivo em corte (Manual de alternadores Bosch).

2.3.1.1 Gerador

No gerador temos basicamente dois componentes: rotor onde é produzido o campo eletromagnético e o estator que fica em volta do rotor com um espaçamento menor que 1mm isto para que o campo eletromagnético maximizado.

2.3.1.2 Rotor

O campo magnético é produzido no rotor. Constituído por um eixo onde através de polia e correia recebe uma energia mecânica proveniente do MCI, uma bobina indutora com sentido de enrolamento coincidindo com o de rotação imposta ao eixo do rotor e com cada extremidade do enrolamento ligada a um anel condutor (coletores) que com a utilização de escovas torna possível o controle da circulação de corrente no enrolamento do rotor, proporcionando assim o aparecimento de um campo magnético. Dois núcleos polares são instalados em volta da bobina um de cada lado dando origem aos polos (Norte e Sul) fazendo o surgimento de linhas de força eletromagnética que fluem de um polo para o outro.

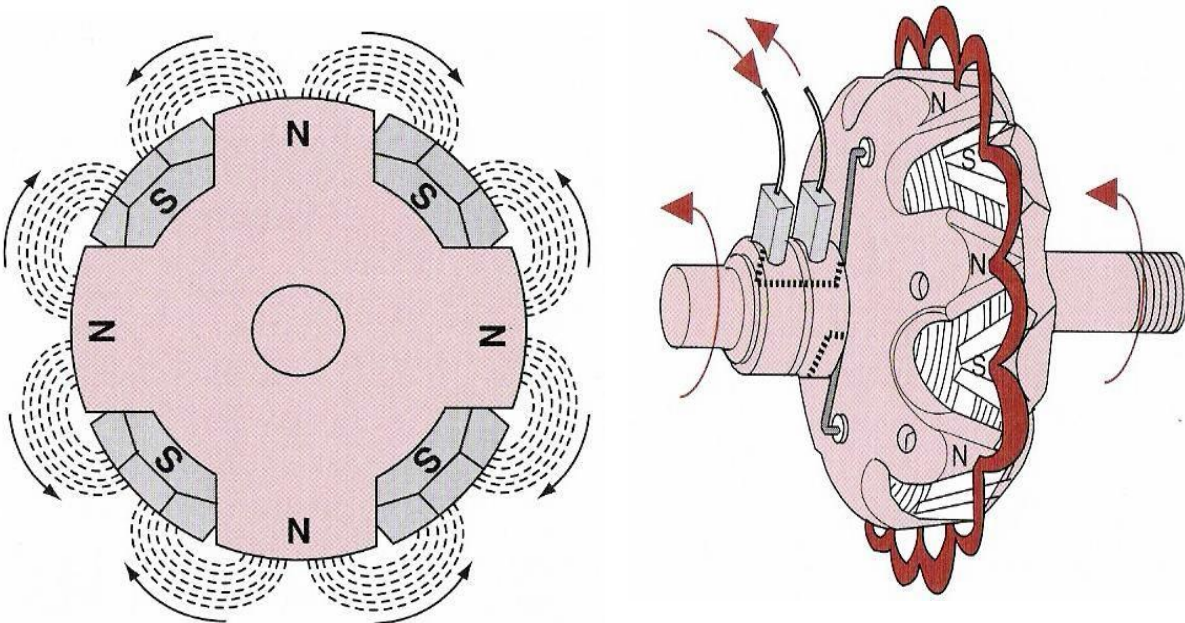


Figura 5- formação do campo eletromagnético no rotor (Automotive Electrics and Automotive Electronics Barry Hollembeak)

2.3.1.3 Estator

Circundando o rotor está montado o estator, possui três grupos independentes de enrolamentos sendo um responsável por cada fase onde será induzida a energia elétrica trifásica. Cada grupo de enrolamento possui um número de bobinas múltiplo do número de pares de pólos do rotor, então uma corrente alternada é induzida em três fases distintas U, V, W arranjadas convenientemente de tal maneira que a soma instantânea será sempre nula.

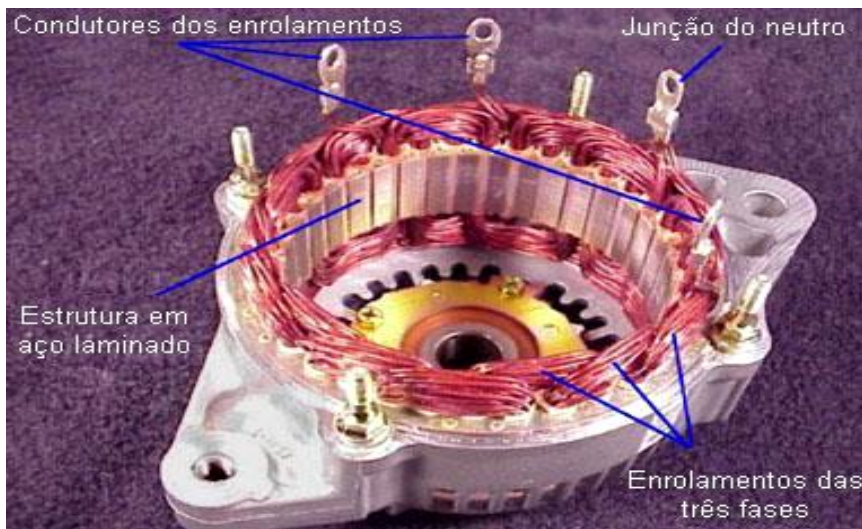


Figura 6- Aspecto do estator (Senai BA).

A ligação dos três enrolamentos pode ser feita em estrela ou triângulo porem o mais utilizado é no formato de estrela.

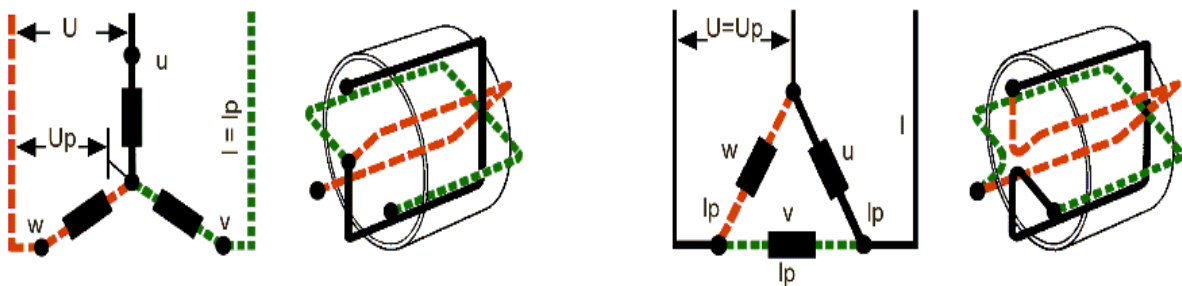


Figura 7- Possíveis conexões para o estator. Lado direito estrela, lado esquerdo triângulo (Manual de Tecnologia Automotiva Bosch 25a Ed.)

Na figura seguinte, podemos ver o comportamento da corrente elétrica em cada uma das três fases durante o funcionamento do alternador.

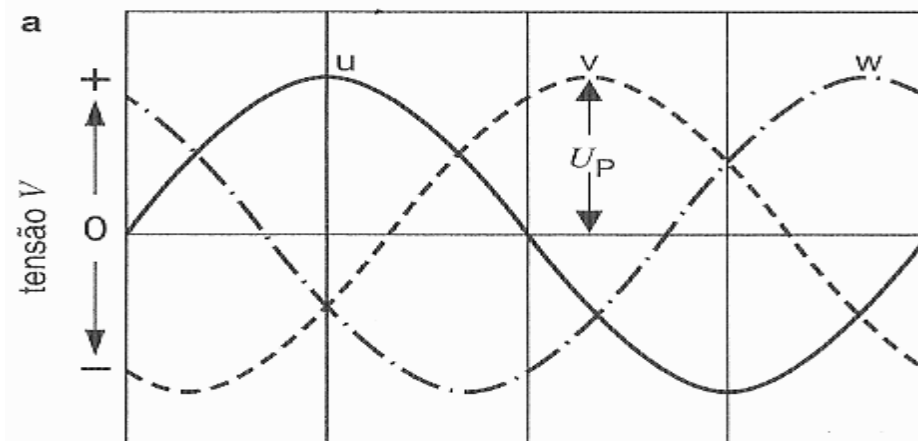


Figura 8- Formação das três fases (Manual de Tecnologia Automotiva Bosch 25a Ed.)

Alguns alternadores possuem uma conexão para instalação do tacômetro (conta-giros) do motor. Essa saída é retificada em meia onda e serve principalmente para motores Diesel, essa saída geralmente é identificada pela letra W e pode ser determinada pela seguinte fórmula:

$$\text{Eq.1} \quad f = \frac{pn}{60}$$

Onde,

f – frequência em Hz;

n – rotação do alternador em rotações por minuto (rpm);

p – número de par de polos (um rotor de 12 garras, possui 6 pares de polos).

2.3.1.4 Conjunto retificador

Pelo fato do alternador gerar uma corrente alternada criou-se a necessidade de um sistema de retificação, que tem como objetivo transformar a corrente de saída em contínua. O

sistema de retificação mais utilizado no setor automotivo é o trifásico ele possui 6 diodos retificadores, que pela forma como são ligados correspondem a 3 diodos positivos e 3 negativos. Onde a principal característica dos diodos é permitir a passagem de corrente elétrica em um único sentido, ou seja, no sentido que indica o seu símbolo.



Figura 9 – A esquerda Ligação do conjunto retificador com conexão em estrela e triângulo dos enrolamentos do estator a direita diodos e sua respectiva simbologia (Senai BA).

Cada fase da corrente alternada depois que atravessar os diodos fica convertida em corrente contínua pulsante, um fenômeno que chamamos de retificação da corrente.

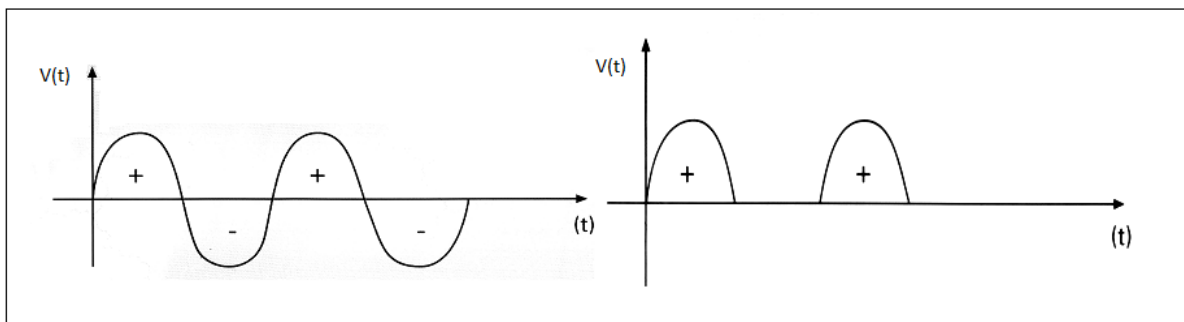


Figura 10 – a esquerda forma de onda produzida em uma fase do estator (antes da retificação), a direita após a retificação. (O autor)

A retificação de um período completo da corrente trifásica fornecida pelo alternador fica levemente ondulada e pode ser considerada como corrente contínua, como mostra a figura.

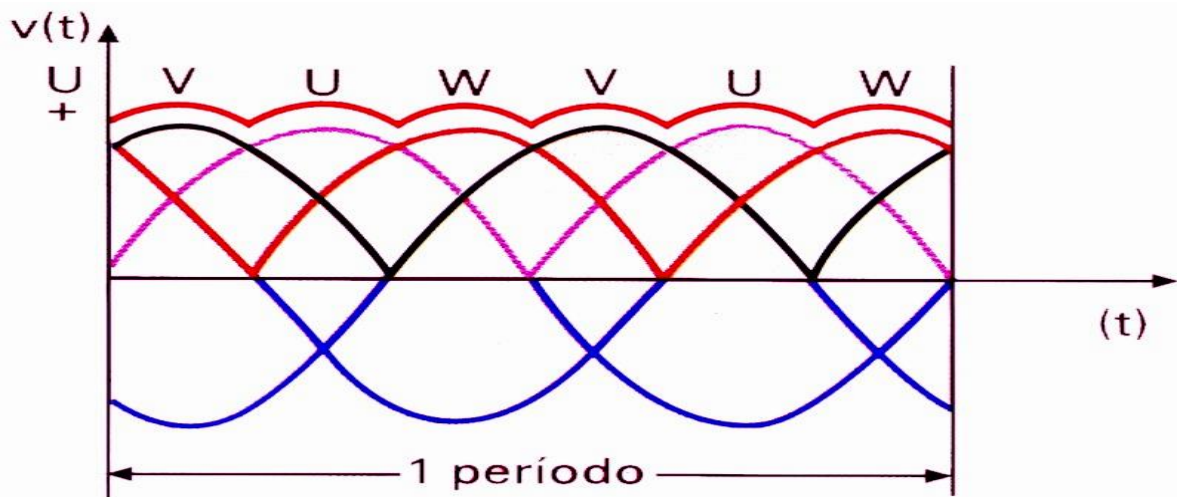


Figura 11 - Retificação de um período completo de corrente alternada (Senai BA)

Para que se consiga suavizar essa ondulação, é possível utilizar um capacitor ligado entre o massa e linha positiva. Este componente armazena energia na subida e descarrega-la nas descidas, diminuindo o ripple. Porém mesmo com esse cuidado, ondulações podem ser observadas com o uso de um osciloscópio, no entanto elas não representam problemas, pois são pequenas.

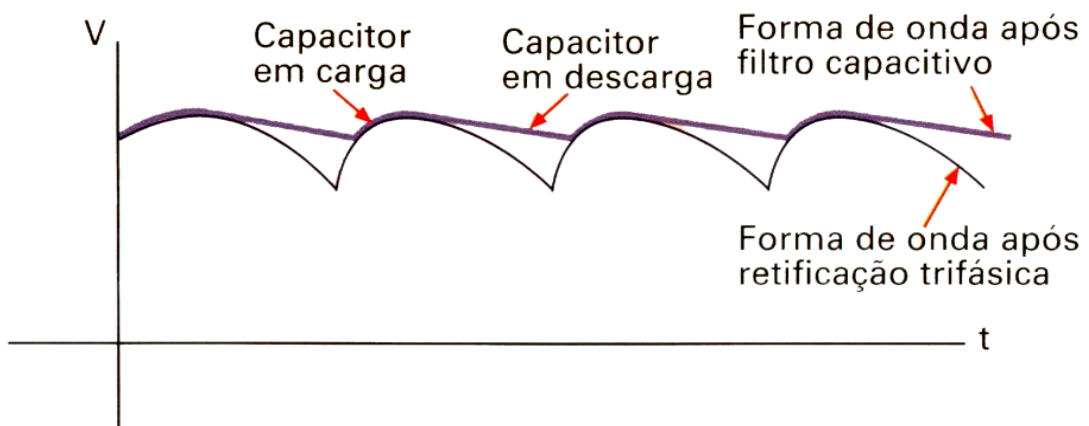


Figura 12 - Aspecto da retificação com o uso de capacitores (Senai BA).

Os diodos são montados em chapas dissipadoras de calor que têm boa condutibilidade térmica, pois os mesmos têm um limite de temperatura de trabalho de cerca de 130°C. Para garantir uma temperatura adequada, os diodos possuem aletas de refrigeração.



Figura 13 – Ponte retificadora (Senai BA).

2.3.1.5 Regulador de tensão

A corrente induzida no estator é proporcional ao campo magnético e à velocidade do rotor. O campo magnético do rotor é proporcional ao número de espiras e à corrente de excitação, portanto através da corrente de excitação podemos controlar o funcionamento do alternador e isso é feito através do regulador de tensão. Responsável por controlar a tensão de saída do alternador age no controle da corrente de campo no rotor para atingir seu objetivo. Em alguns alternadores (com nove diodos), a corrente de excitação do campo magnético é desviada do seu próprio estator, retificada pelos diodos retificadores de excitação e os diodos negativos. Por isso, seu início de funcionamento deve ser feito com uma pré-excitação externa, através da chave de ignição e lâmpada indicadora de carga.

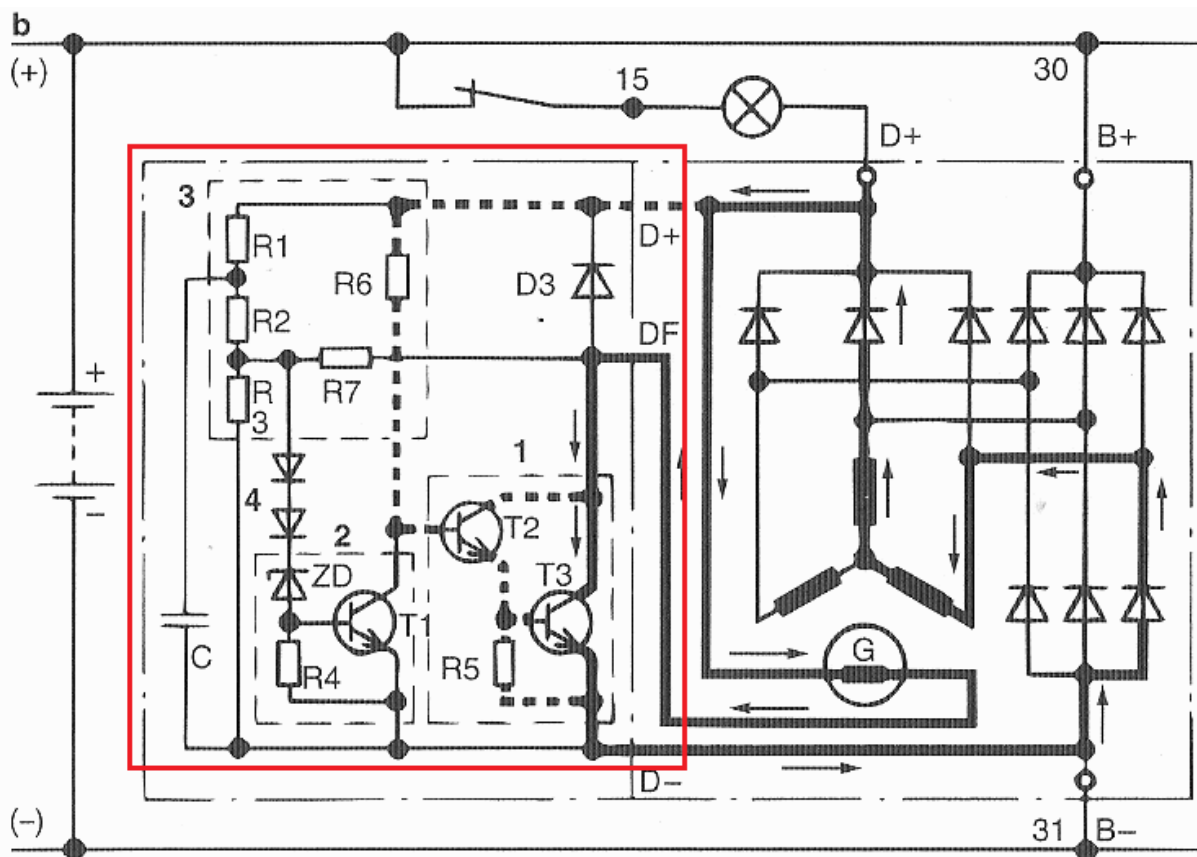


Figura 14 – Esquema elétrico de um alternador automotivo (Apostila Técnica de Alternadores Bosch).

No gráfico abaixo é possível observar o controle da corrente de campo no rotor feita pelo regulador de tensão com o objetivo de controlar da tensão de saída do alternador.

Regulagem da corrente de excitação I_{exc}

A relação do fator operacional, T_E , e do tempo de repouso T_A , é padrão para o fator da corrente média de excitação I_m .

O aumento da corrente de excitação ocorre ao longo da curva *a*, a queda ao longo da curva *b*.

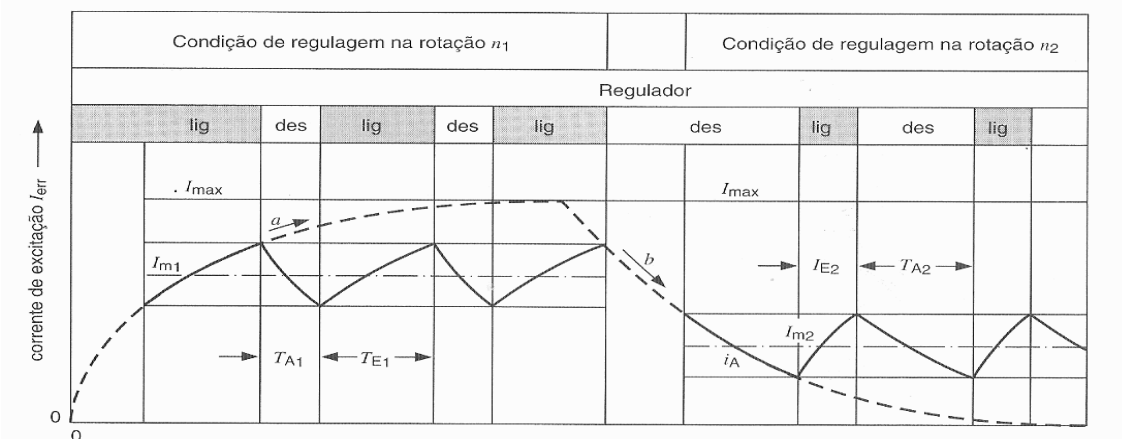


Figura 15 – Controle da corrente de campo feito pelo regulador de tensão (Apostila Técnica de Alternadores Bosch).

2.4 Dimensionamento de alternadores

O alternador é dimensionado de acordo com as especificações de demanda energética do veículo e tensão de alimentação do sistema. Para o cálculo da corrente do alternador utilizamos a somatória dos consumidores instalados no veículo.

Exemplo: Cálculo de potência do alternador para um sistema de alimentação 12V. A primeira coisa a ser realizada é somatória dos consumidores contínuos ou de longa duração nesta utilizando o fator de multiplicação igual a 1.

1. Demanda de potência (em 14 V) de todos os consumidores contínuos ou de longa duração	
Dispositivos e equipamentos elétricos Fator 1,0	Potência W
Sistema de ignição	20
Bomba elétrica de combustível	70
Injeção eletrônica de combustível	100
Autorádio	12
Farol baixo	110
Lanternas de delimitação	8
Lanternas traseiras	10
Luz da placa	10
Iluminação dos instrumentos	10
Potência 1	$P_{w1} = 350 \text{ W}$

Tabela 1. Somatório da Potência em Watts, consumidores contínuos ou de longa duração Fonte (notas de aula de carga e partida)

Na segunda os consumidores de curta duração são somados. Nesta etapa deve-se ter atenção para o fator de multiplicação que varia de acordo com o consumidor.

Dispositivos e equipamentos elétricos	Valor Real W	Fator*	Potência avaliada W
Ventoinha para calafetação e/ou ventilação	80	0,5	40
Limpador de pára-brisa	60	0,25	15
Ventoinha do radiador		0,1	
Farol alto adicional		0,1	
Luz de freio	42	0,1	4,2
Luz de sinalização	42	0,1	4,2
Faróis de neblina	70	0,1	7
Lanternas de neblina	35	0,1	3,5
Potência 2	$P_{w2} = 134 \text{ W}$		

Tabela 2. Somatório da Potência em Watts, consumidores de curta duração Fonte (notas de aula de carga e partida).

Por fim some as duas potências e com o auxílio de uma tabela escolha a corrente de trabalho do alternador

P_W (em 14 V) W	350... < 450	450... < 550	550... < 675	675... < 800	800... < 950
I_N	A 45	55	65	75	90

Tabela 3. Corrente nominal de trabalho para potência determinada Fonte (notas de aula de carga e partida)

2.5 Rendimento de um alternador

A corrente de saída do alternador é o produto da corrente de campo no rotor e a rotação imposta a ele. No gráfico podemos observar o rendimento de um alternador em relação a rotação imposta a ele.

Curvas características de um alternador trifásico tipo N1.

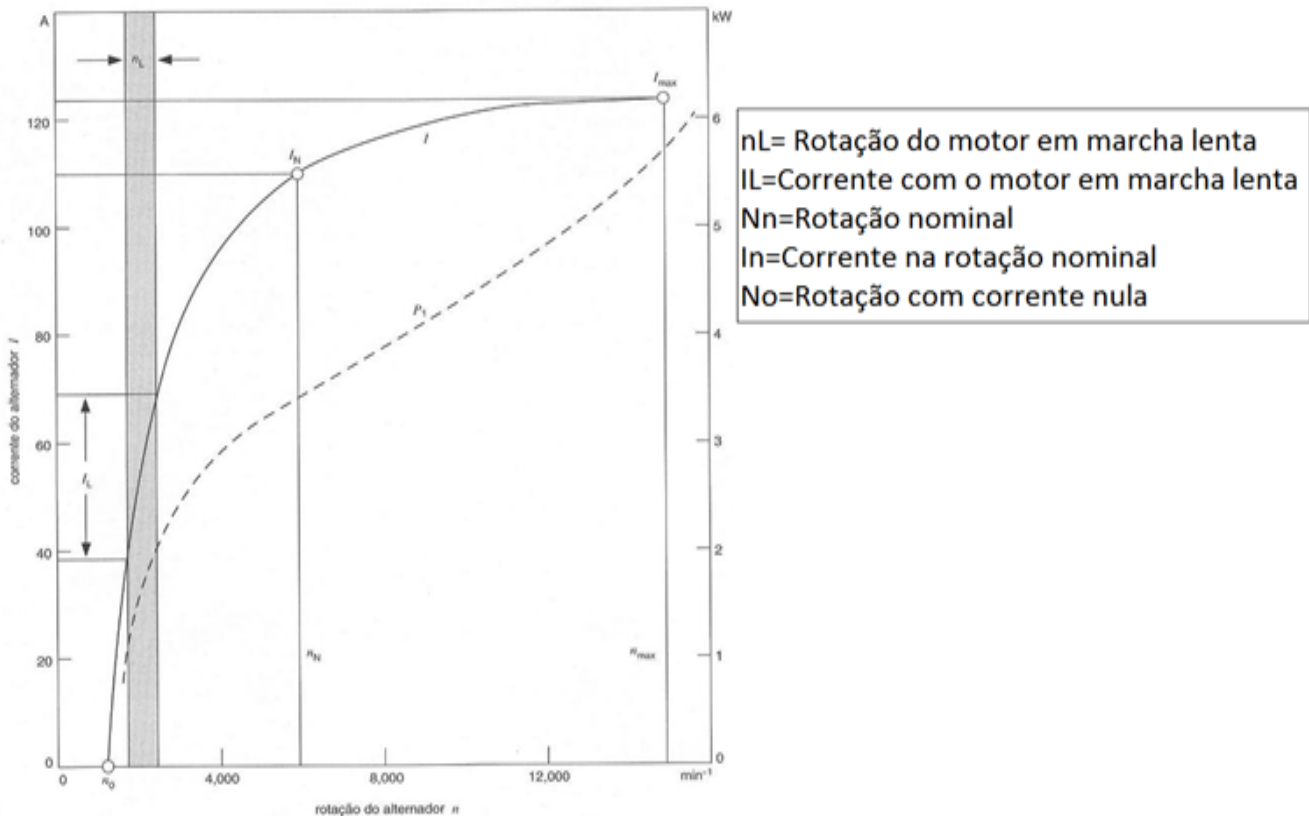


Figura 16 – gráfico corrente X rotação (Apostila Técnica de Alternadores Bosch).

Analisando o gráfico é possível entender alguns problemas que costumam acontecer em situações de utilização severa do sistema de carga automotivo, quando em baixas rotações são utilizados um grande número de consumidores, que acabam superando o valor de corrente gerada pelo alternador em rotação de marcha lenta. Este tipo de situação é comum em grandes congestionamentos no período da noite e em dias chuvosos.

2.6 Baterias automotivas

A bateria de Chumbo Ácido foi inventado por um francês chamado Gaston Planté (1834-1889) em 1859, mas as baterias para automóveis foram desenvolvidas por Emile Alphonse Fauré em 1881.

A bateria é um dispositivo de armazenamento de energia química que tem a capacidade de transformar essa energia em energia elétrica quando ocorre uma diferença de potencial (DDP). Neste tipo de bateria é possível também fazer a transformação de energia elétrica em química novamente.

Suas principais funções são:

- Prover energia suficiente para os sistemas de ignição e injeção eletrônica no momento da partida;
- Suprir a energia necessária para o funcionamento de componentes que poderão ser utilizados sem que o motor esteja em funcionamento;
- Funcionamento similar ao de um capacitor, absorvendo picos de tensão do sistema para que os componentes principalmente os eletrônicos (mais sensíveis) não sejam danificados;
- Fornecer corrente quando a demanda de energia do automóvel exceder a capacidade do sistema de carga;

2.6.1.1 Componentes que integram uma bateria

1. Caixa a prova de ácido (feito de borracha rígida ou plástico);
2. Elementos da bateria
3. Placas positivas
4. Placas negativas
5. Separadores
6. Bornes
7. Solução de Bateria ou eletrólito (mistura composta de ácido sulfúrico e água)

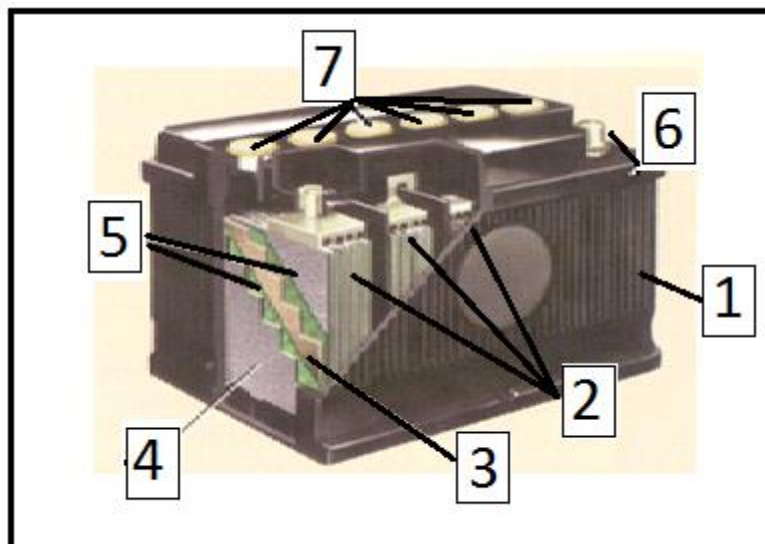


Figura 17 – Bateria automotiva (Senai BA)

- **Bornes**

São pontos de conexão entre a bateria e os circuitos consumidores externos. As baterias são equipadas com um borne positivo e outro negativo, ambos em chumbo. O borne positivo possui o sinal mais (+) gravado e é, de uma maneira geral, de cor mais escura e de maior diâmetro do que o borne negativo, que possui o sinal menos (-) gravado.

- **Caixa de bateria**

Feita de (Polipropileno) um material resistente principalmente a ação do ácido, é geralmente dividida em 6 células onde são acomodadas as placas positivas e negativas com separadores entre elas.

- **Células ou elementos**

É um conjunto de placas e separadores agrupados, ligados em paralelo. Os elementos de bateria estão apoiados sobre pontes, sem tocar no fundo da caixa. Esse espaço existente é utilizado para receber a sedimentação de resíduos que se fragmentam das placas, evitando um curto-circuito entre elas. O elemento ou célula é composto de placas e separadores. Uma bateria possui 6 células e cada uma é responsável por uma tensão de 2,1 V fazendo assim que uma bateria 100% carregada possui uma tensão de 12,6V.

- **Placas**

As placas positivas e negativas são chapas gradeadas (compostas de uma liga de chumbo anti-mônio), coberta de material ativo. O material ativo usado nas placas positivas é o peróxido de chumbo (PbO₂). Nas placas negativas, o material ativo usado é o chumbo esponjoso (Pb). Atualmente, alguns fabricantes de baterias utilizam uma liga de elementos de chumbo e cálcio para fazerem estas grades.

- **Separadores**

Por motivo de redução de espaço, as placas positivas e negativas são montadas muito próximas umas das outras devido a isto a utilização de um material para fazer a separação destas placas é inevitável. O material utilizado é uma folha de polietileno que não oxida e é altamente resistente ao ácido, impedindo que uma placa encoste na outra, o que geraria um curto entre as placas e perda da bateria. Por outro lado não deve impedir a circulação dos íons por isto é feita de um material poroso pelo qual o eletrólito circular livremente entre as placas.

Eletrólito

Tem a função de preencher os espaços vazios, circula entre os poros das placas e separadores. Quando o ácido sulfúrico é diluído na água as moléculas se dividem e tornam o eletrólito condutivo e capaz de possibilitar a reação química durante a carga e descarga da bateria. Quando a bateria está totalmente carregada a solução fica com aproximadamente 36% ácido e 64% água (por peso) e é dito que sua densidade é de $1,260\text{g/cm}^3$ à temperatura de $26,5^\circ\text{C}$. Porém à medida que a bateria vai se descarregando, a quantidade de ácido sulfúrico (H_2SO_4) vai diminuindo, enquanto aumenta a quantidade de água. Desta forma a densidade do eletrólito também diminui durante o processo de descarga

Densidade a $26,5^\circ\text{C}$	Estado de carga
$1,260 - 1,280\text{ g/cm}^3$	100%
$1,230 - 1,250\text{ g/cm}^3$	75%
$1,200 - 1,220\text{ g/cm}^3$	50%
$1,170 - 1,190\text{ g/cm}^3$	25%
$1,140 - 1,160\text{ g/cm}^3$	Baixa capacidade
$1,110 - 1,130\text{ g/cm}^3$	Descarregada

Tabela 4. Estado de carga da bateria em função da densidade do eletrólito

2.6.2 Princípio de funcionamento

Entre as placas positivas, negativas e o eletrólito ocorre uma reação química que provoca um desequilíbrio de cargas entre as placas, tornando as carregadas, uma positivamente e outra negativamente e assim permanecem até que um circuito externo é conectado, entre os bornes positivo e negativo da bateria iniciasse uma (DDP), um fluxo de corrente que desloca os elétrons das placas negativas até as positivas, provocando uma reação química de descarga.



Os sulfatos (SO₄) vão para as placas enquanto que os óxidos vão para o ácido. Neste momento uma parte do eletrólito rompe as ligações e uma cobertura de sulfato de chumbo é depositados sobre as placas. Dando origem ao fenômeno conhecido como (Sulfatação da bateria). A característica mais importante da bateria é sem dúvida a capacidade de reversão das reações químicas. Através de um gerador de corrente elétrica, dínamo ou alternador, ligados em paralelo com a bateria provocando um fluxo de corrente no sentido contrário, e assim dando origem a uma reação química reversa de carga na bateria até que a bateria torne a ficar com 100% da carga.

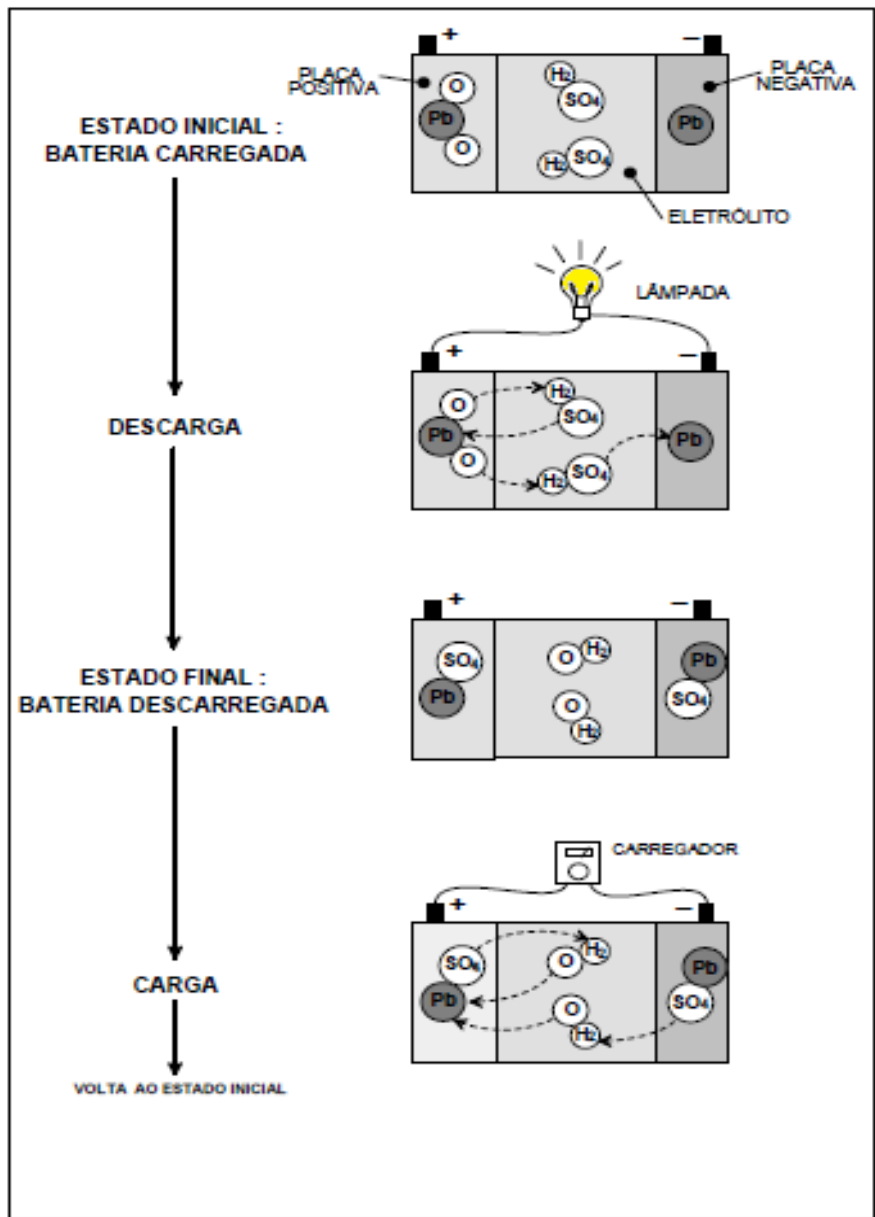


Figura 18 - Processo de carga e descarga Fonte (Conhecendo as baterias)

2.6.3 Classificação de uma bateria

As baterias são classificadas segundo vários critérios de desempenho. Estes critérios são normalizados em termos de tempo, grandeza elétrica e temperatura.

- Ampère x hora (A.h): este é o critério mais usado. Baseia-se na corrente que a bateria pode fornecer constantemente durante 20 horas de descarga à temperatura de 26,5° C sem que sua tensão "caia" abaixo de 10,5 volts. Por exemplo: Uma bateria que consegue fornecer 3,0 A continuamente durante 20 horas, é classificada como bateria 60 A.h (3A x 20 horas = 60 Ah);
- Watt: é a potência máxima que pode ser consumida a 18° C pelo motor de partida;
- Desempenho a frio(corrente de partida a frio – C.C.A.): Baseia-se na corrente máxima que a bateria pode fornecer durante 30 segundos de partida, mantendo a tensão maior que 7,2 volts;
- Reserva de capacidade: é o tempo máximo que uma bateria pode manter um fornecimento de 25 A a 26,5° C sem ficar abaixo de 10,2 volts (é dado em minutos).

2.6.4 Processo de recarga de baterias

- **Recarga com corrente constante**

Neste método a corrente de recarga deve ser igual a 10% da capacidade de corrente nominal em Ah, durante um tempo variável entre 4,5 a 15 horas, conforme a tabela abaixo

:

TENSÃO DA BATERIA EM VAZIO (V)	TEMPO DE RECARGA (h)
12,0 a 12,2	4,5
11,8 a 11,99	7,0
11,5 a 11,79	9,0
11,0 a 11,49	11,0
Descarregada	15,0

Tabela 5. Tempo de recarga da bateria com corrente constante em função da tensão em vazio

Para fazer a leitura da tensão da bateria a vazio, de acordo com a tabela anterior, deve-se aguardar aproximadamente uma hora coma bateria em repouso, ou realizar uma descarga na bateria com uma corrente de 200 A, durante 15 segundos em média e logo em seguida fazer a medição.

- **Recarga com tensão constante**

Neste a corrente inicial deve ser de 25 A e a tensão 14,4 V. O tempo de carga varia de acordo com o estado de carga da bateria.

TENSÃO DA BATERIA EM VAZIO (V)	TEMPO DE RECARGA (h)
12,0 a 12,2	6 a 12
11,8 a 11,99	10 a 16
11,5 a 11,79	16 a 20
11,0 a 11,49	20 a 24
Descarregada	24 a 30

Tabela 6. Tempo de recarga da bateria com tensão constante em função da tensão em vazio

Caso seja necessário recarregar mais de uma bateria alguns cuidados devem ser tomados:

- Posicionar as baterias de forma que haja um espaçamento mínimo de 20 mm;
- Colocar no circuito baterias de mesma capacidade e mesmo estado de carga;
- As baterias devem ser ligadas em série;

Cuidado: Instruções específicas acompanham cada carregador de bateria e devem ser seguidas na íntegra. As instruções de segurança fornecidas pelo fabricante não devem ser desconsideradas pelo operador.

Durante a recarga

Durante o processo de recarga da bateria é importante o controle da temperatura da caixa de bateria, onde a mesma não deve ultrapassar 50° C evitando assim a perda de água o que pode vir a danificar a bateria, a aceleração dos processos químicos da bateria o que pode provocar um aumento na taxa de auto descarga.

Auto descarga: descreve o fato que toda bateria se descarrega mesmo que nenhum consumidor esteja ligado a nela, um dos fatores que afetam este processo são os materiais utilizados nas grades.

Ex. Baterias que utilizam grades de cálcio-prata passam por um processo de auto descarga mais lento do que as que utilizam antimônio.

Fontes de Alimentação

As fontes de alimentação atuais podem ser classificadas em dois grandes grupos: Linear ou com regulação por chaveamento. Desse modo o que denomina-se fonte chaveada é na verdade um conversor estático de corrente alternada em corrente contínua com regulação por chaveamento. Todos os circuitos eletrônicos requerem uma fonte de tensão contínua confiável e com determinado grau de estabilização para seu perfeito funcionamento, em equipamentos de pequeno porte tal alimentação é obtida através de pilhas ou baterias, mas no caso mais geral utiliza-se energia disponível na rede elétrica local utilizando-se de um conversor para a forma adequada, nos casos mais gerais utiliza-se um conversor estático (ou seja, não rotativo) chamado de fonte de alimentação.

Regulação da tensão

Para alimentar equipamentos eletrônicos não basta apenas ter tensão contínua mas é necessário regula-la para que eles tenham funcionamento estável. Esta regulação pode ser feita através de reguladores lineares ou então controlando-se o tempo de condução de um elemento semicondutor. Abaixo diagrama de blocos da regulação linear da tensão de saída de uma fonte de tensão contínua.

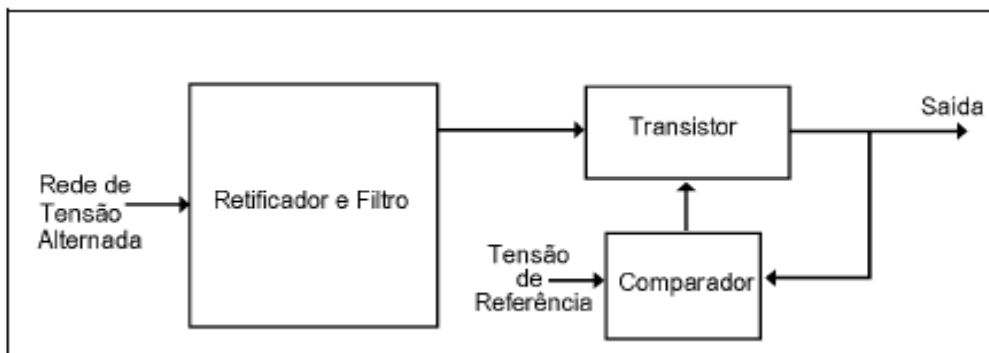


Figura 19- Regulação linear da tensão de saída de uma fonte de tensão contínua (Curso de Engenharia Elétrica – UFPR)

A regulação linear caracteriza-se pelo controle da condutividade de um transistor, ajustando-se dessa forma a, intensidade da corrente fornecida e obtendo-se a regulação. Após a retificação da tensão alternada, existe um elemento semicondutor (transistor) cuja condutividade pode ser ajustada. A tensão de saída é constantemente comparada com uma tensão de referência e, dessa forma, o transistor age como um elemento de resistência variável e absorve qualquer variação de tensão. Por operar em sua região linear, o transistor apresenta uma dissipação de potência

elevada e é o maior responsável pelo baixo rendimento nesse tipo de regulador. Como consequência é necessário usar dissipadores de calor volumosos e pesados. Apesar das aparentes desvantagens da regulação linear, é possível obter-se tensão de saída extremamente estável e a resposta a transitórios é excelente. Além disso, o funcionamento do transistor em região linear faz com que o circuito não emita qualquer tipo de interferência eletromagnética de alta frequência. Em face disso os reguladores lineares, apesar de serem a princípio indicados somente em baixas potências, encontram também aplicações em sistemas de telecomunicações onde há problemas de ruído.

Fonte PWM

Outra maneira de se obter a regulação da tensão de saída de uma fonte de tensão contínua é através do chaveamento de um dispositivo semiconductor em frequência elevada, funcionando como interruptor eletrônico que é conhecida como fonte chaveada ou fonte PWM.

Interruptor Eletrônico: é um transistor operando em condição de corte (desligado) e saturação (ligado). Apesar das primeiras fontes chaveadas usarem transistores bipolares, esses foram logo substituídos pelos MOSFETs, que operam em frequência mais elevada com baixas perdas e permitem simplificar o circuito de chaveamento. Para evitar a produção de ruído audível, é necessário que a frequência de chaveamento do interruptor eletrônico seja maior que 20 kHz.

Controle de Alta Frequência: é responsável pelo controle do tempo de condução do interruptor eletrônico. Normalmente o controle é feito através de um comparador, que recebe uma amostra da tensão de saída e compara-a com uma tensão de referência. Para garantir o isolamento entre a saída da fonte e o sistema elétrico, normalmente é usado um acoplador óptico entre a saída e o circuito de controle. Na maioria dos circuitos se a tensão de saída estiver baixa, o interruptor eletrônico é comandado a permanecer conduzindo por um tempo maior; se estiver alta, o comando determinará um tempo mais curto de condução. Por esse motivo o controle é chamado por largura de pulso (PWM) e muitas vezes as fontes chaveadas são também conhecidas como Fontes PWM.

2.7 Sinal PWM

PWM, ou modulação por largura de pulso é um método usado para gerar um sinal analógico através de uma fonte digital. Um sinal PWM é composto por dois componentes principais que definem o seu comportamento: um ciclo de trabalho e uma frequência. O ciclo de trabalho descreve a quantidade de tempo que o sinal está em estado alto (on) na forma de uma porcentagem do tempo total do que é necessário para completar um ciclo. A frequência determina o quão rápido o PWM completa um ciclo (ou seja, 1.000 Hz seria 1000 ciclos por segundo), e portanto, o quão rápido ele alterna entre estados ligado e desligado. Ao ligar e desligar um sinal digital em um ritmo rápido o suficiente, e com um certo ciclo de trabalho, a saída se comportará como um sinal analógico de tensão constante quando fornecer energia aos dispositivos, ou seja PWM é uma técnica para a entrega de potência parcial a uma carga através de meios digitais, outras formas de entregar potência parcial a uma carga pode ser utilizando potenciômetro ou reostato. O conceito de ciclo de trabalho ou ciclo de acionamento, é aplicado geralmente, aos sinais pulsados retangulares ou trem de pulsos repetitivos, de frequência fixa. A seguir podemos ver como é definido um duty cycle.

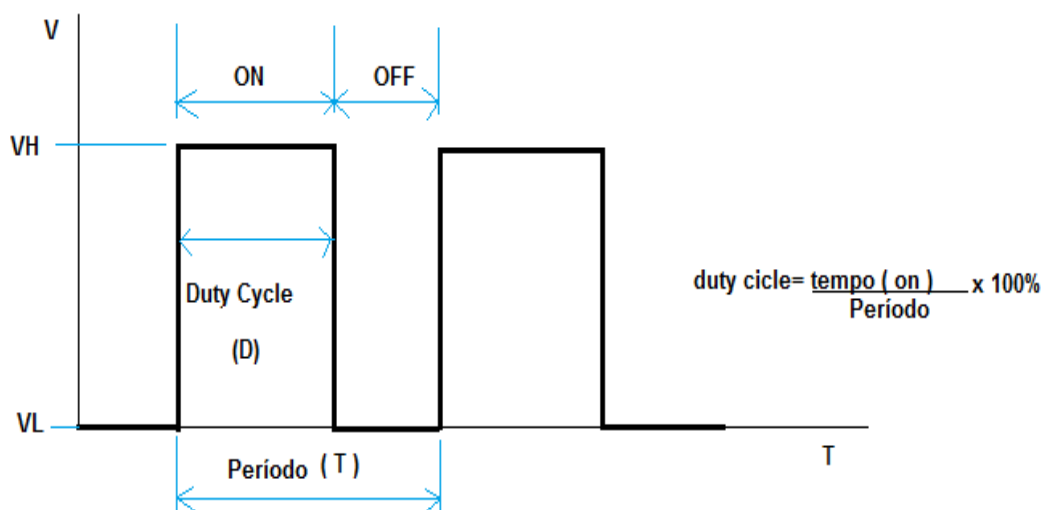


Figura 20 – Definição de duty cycle.

Exemplo: Para criar um sinal de 3V dado uma fonte digital que pode ser, ligado (on) 5 V ou desligado (off) em 0V, você pode usar PWM com um ciclo de trabalho de 60 %, o que gera 5V 60 % do tempo. Se o sinal digital é um ciclo suficientemente rápido, então a tensão observada na saída parecerá ser a tensão média. Se o sinal baixo digital é 0V (que é geralmente o caso), a tensão média pode ser calculada tomando a alta tensão digital multiplicado pelo ciclo de trabalho, ou a $5V \times 0,6 = 3V$. Seleção de um ciclo de trabalho de 80 % produziria 4V, 20 % produziria 1V, e assim por diante. A figura abaixo mostra exemplos de ciclos de trabalho diferentes.

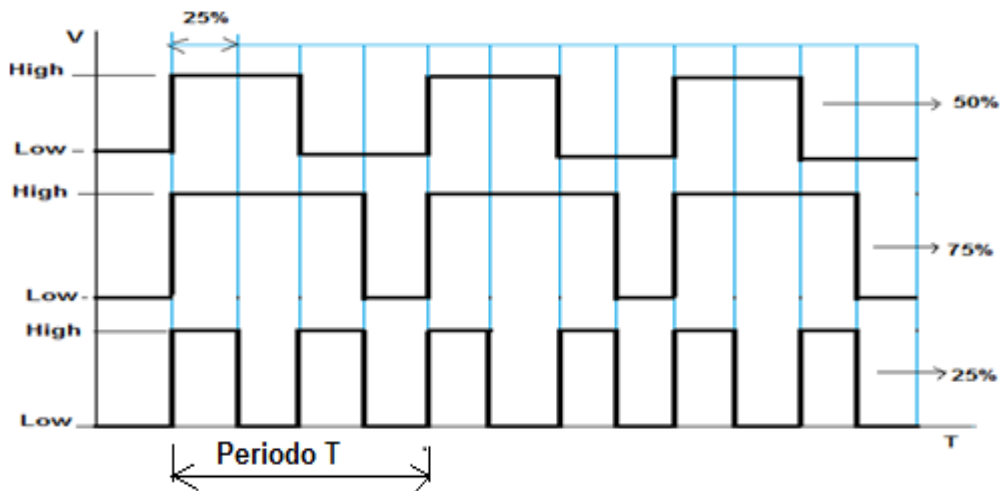


Figura 21 – Ciclos de trabalho diferentes.

- **Vantagens do uso do Sinal PWM**

Valor proporcional à média do ciclo de trabalho (Duty cycle).

Baixo consumo de energia utilizado em transistores usados para chavear o sinal.

Comutação rápida, possível devido a MOSFETS e transistores de potência a velocidades superiores a 100 kHz.

O sinal digital é resistente ao ruído.

Menos calor dissipado em comparação ao uso de resistores para valores de tensão intermediária.

- **Desvantagens do uso do sinal PWM**

Custo.

Complexidade do circuito.

Interferência de Radiofrequência.

Picos de tensão.

Ruído eletromagnético gerado pela alta frequência de comutação.

Sinais PWM são utilizados para uma grande variedade de aplicações de controle. A sua principal utilização é para o controle de motores de corrente contínua, mas também pode ser usado para controlar válvulas, bombas, sistemas hidráulicos e outros componentes mecânicos. A frequência do sinal de PWM que necessita de ser fixado dependerá da aplicação e o tempo de resposta do sistema que está a ser alimentado. Alguns sistemas podem precisar de frequências mais rápidas dependendo do tipo de resposta deseje

Comparações entre as fontes PWM e Fontes Lineares

De acordo com todas as literaturas estudadas, as fontes PWM são sistemas eletrônicos muito mais complexos do que aquelas onde se usa a regulação linear. À primeira vista, portanto, não ficam evidentes as razões de sua rápida aceitação pelo mercado. A principal vantagem das fontes chaveadas está relacionada ao funcionamento do interruptor eletrônico. A potência elétrica é definida como o produto entre a tensão e a corrente:

$$P = V \cdot I \qquad \text{Eq. 2}$$

Onde:

P = Potência , V = Tensão, I = Corrente

Desse modo, quando um transistor está operando como um controlador de corrente (funcionamento na região linear) é evidente que o produto V.I da Equação 2 não é nulo, ou seja, há uma certa potência sendo dissipada na forma de calor. Já se o transistor é levado a operar como um interruptor, tem-se as seguintes situações: Interruptor “Aberto”: de modo idealizado um interruptor “aberto” não terá qualquer fluxo de corrente. Portanto na Equação 2 o produto será nulo, independentemente do valor da tensão.

- Interruptor “Fechado”: nesse caso há um fluxo de corrente pelo interruptor mas, sob o ponto de vista ideal, a tensão é nula. Ou seja, novamente o produto descrito na Equação 4 será nulo.

Na verdade os transistores empregados na função de interruptor eletrônico apresentam uma pequena tensão entre seus terminais quando são colocados no estado de saturação, de forma que na prática há uma certa dissipação de potência. Também as transições entre os estados “aberto” → “fechado” e “fechado” → “aberto” (comutação de condução e de corte) não ocorrem de forma instantânea e portanto há também uma dissipação de potência nesses instantes de chaveamento. Mesmo assim, a dissipação observada nas fontes chaveadas é muito inferior àquela que seria obtida com o uso da regulação linear. Ou seja, além da eficiência da fonte chaveada ser maior, a diminuição da potência dissipada melhora sensivelmente a relação de potência de saída por peso ou potência por volume. A tabela abaixo mostra, de forma resumida, a comparação entre a regulação Linear e PWM.

Parâmetro	Regulação Linear	Regulação PWM
Eficiência	Pode chegar a 50%, mas normalmente é da ordem de 25%.	Mesmo nas fontes mais simples é superior a 65%; em projetos de alta qualidade é superior a 95%.
Temperatura do Componente	O transistor usado como regulador opera em alta temperatura, atingindo frequentemente 80°C. Os demais componentes acabam também aquecendo-se e o tempo de vida útil é diminuído.	Como a dissipação é menor, é mais fácil manter a temperatura do transistor usado como interruptor em níveis baixos.
Ondulação da Tensão de Saída	É muito baixa, como resultado da operação do transistor em região linear.	O uso de alta frequência introduz uma ondulação adicional. Para obter-se o mesmo nível de ondulação da regulação linear, é necessário um projeto cuidadoso.
Resposta a Transientes	É muito rápida, devido à utilização do transistor em região linear.	Para ter-se resposta rápida, é necessário usar frequência de chaveamento elevada e circuitos de comando sofisticados.
Emissão de Rádio Interferência	É praticamente nula.	O uso do interruptor eletrônico operando em alta frequência produz ruído e faz com que sejam necessárias blindagem e filtragem.
Confiabilidade	Como o número de componentes eletrônicos é reduzido, a confiabilidade é aparentemente alta. No entanto, caso a dissipação de potência do transistor regulador não seja adequada, pode-se ter temperaturas elevadas que afetam a confiabilidade.	Devido à complexidade do circuito e ao alto número de componentes, a confiabilidade é naturalmente baixa. O uso de circuitos integrados que reúnem várias das funções da fonte chaveada aumenta a confiabilidade.

Tabela 7 - Comparação entre a regulação linear e PWM. (Curso de Engenharia Elétrica – UFPR)

2.8 Rendimento do motor a combustão interna

A potência entregue pelo motor a combustão de um automóvel é determinada pelo torque da embreagem e pela rotação. O torque da embreagem é o resultado do torque gerado pelo processo de combustão, porém reduzido pelo torque de atrito que são perdas por atrito no motor e as provocadas pela troca de carga, necessárias para o acionamento de conjuntos secundários, onde podemos destacar a utilizada para acionar o gerador automotivo.

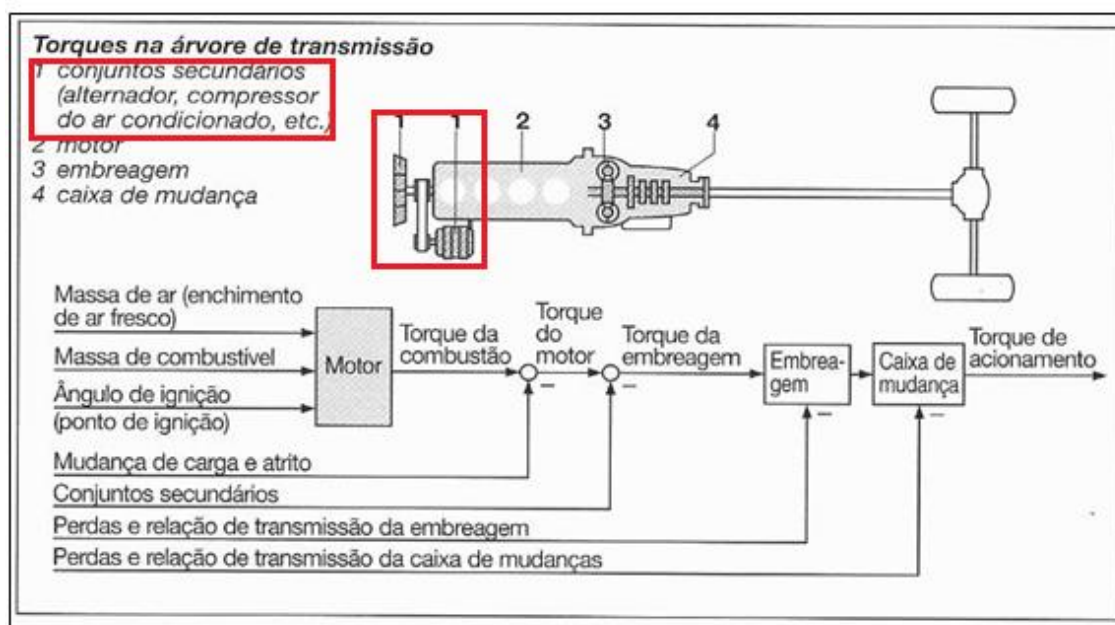


Figura22 – Rendimento de um motor a combustão interna (Manual de Tecnologia Automotiva Bosch 25a Ed.)

A tabela abaixo nos mostra um exemplo do consumo de potência média gasta para a transmissão de carga necessária para movimentar um conjunto de sistemas secundários de um veículo comercial.

Acessórios	Consumo de potência média em rotação max.potência (%potência bruta)
Ventilador	8.0-15.0%
Alternador	0.5-2.0%
Compressor	0.5-1.0%
Direção hidráulica	0.5-1.0%
Ar condicionado	5.0-10%

Tabela 8. Consumo de potência média em rotação de máxima potência

3 Parte pratica e montagem

3.1 Hardware

Fontes de Alimentação.

Este trabalho foi iniciado com a construção de um hardware que possibilita a estabilização e redução das tensões e sinais à um nível que pudesse ser lido e interpretado adequadamente pelo circuito de controle sem que este seja danificado por tensões acima da que pode suportar. O primeiro circuito montado foi um regulador de tensão positiva com o CI Lm7812 que rebaixa a tensão de saída do alternador de aproximadamente 14V, estabilizando-a em 12V, o que evita que os demais circuitos sejam danificados com variações bruscas de tensões vindas do alternador.

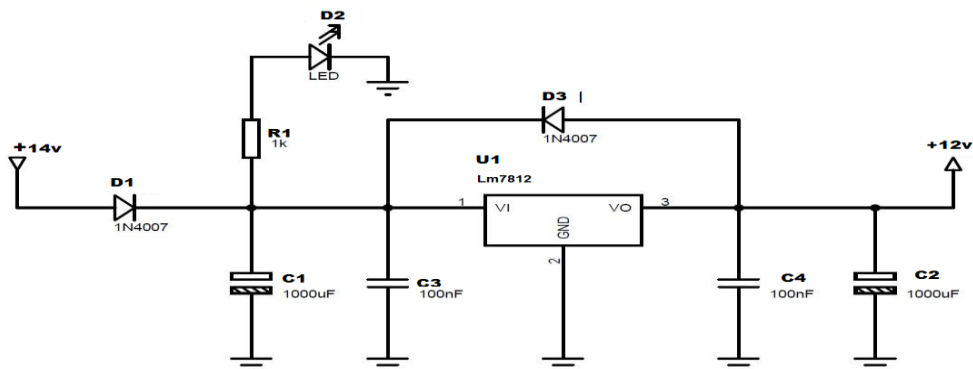


Figura 23 – Regulador de Tensão Lm7812

A seguir foi montado outro regulador de tensão com o Ci Lm7805 para fornecer uma tensão de saída de 5v, para circuitos que funcionam com uma alimentação máxima de 5v.

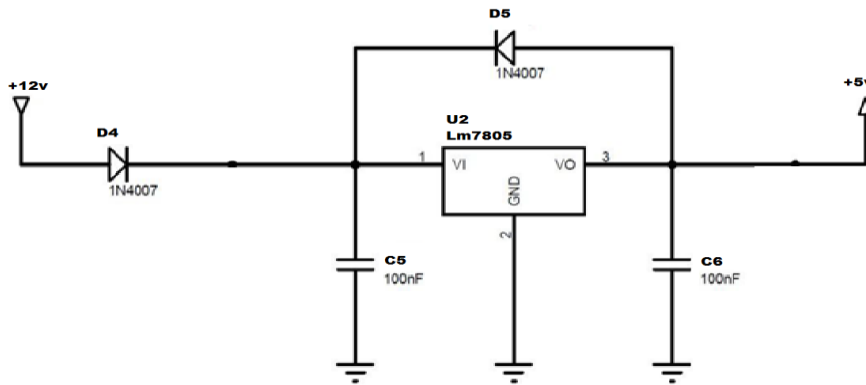


Figura 24 – Regulador de Tensão Lm7806.

Condicionadores de Sinais.

Os circuitos dos condicionadores de sinais foram montados sob o critério de propiciar isolamento elétrico entre o circuito elétrico de potência e o circuito da parte de controle e principalmente garantir que os valores de tensão que devem ser lidos pelo circuito de controle não ultrapassem os cinco volts, que é a máxima suportada pelo circuito da placa que faz a leitura dos sinais. Neste trabalho foi utilizado um único circuito integrado para leitura dos sinais, o LM324, que é composto por quatro amplificadores operacionais independentes e inseridos em um só encapsulamento, pode ser alimentado com 3 até 32V, e pode fornecer até 40mA de corrente de saída (INSTRUMENTS ,2004).

Foram utilizados na configuração de buffer ou seguidor de tensão, o que acentua a característica de promover a isolação entre circuitos deste tipo de montagem.

O primeiro circuito é mostrado a seguir:

Neste circuito a tensão de entrada de 0 a 16V passa pelo divisor de tensão de 10 e 4K7 e entra para o operacional com uma proporção de 0 a 5V, o operacional mantém a mesma proporção na saída, o diodo D8 garante que a tensão não exceda os 5V na entrada.

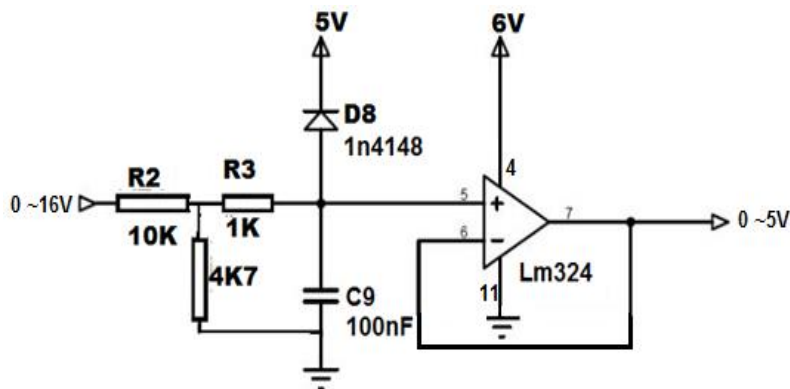


Figura 25 – Circuito seguidor de tensão, Leitura da tensão de saída do alternador.

O circuito a seguir faz a leitura do sinal do pedal de aceleração com uma tensão de 0 a 10V. Passando pelo divisor de tensão formado pelos resistores R5 e R7, é reduzida para 0 a 5V para o operacional para ser lido na sua saída.

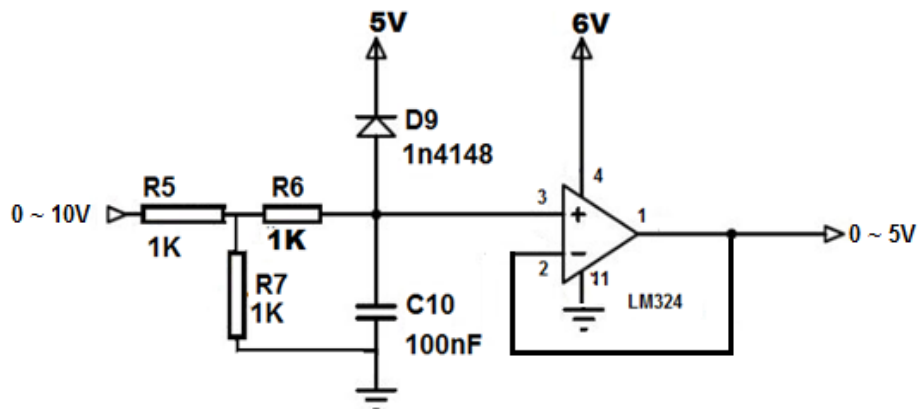


Figura 26 – Circuito seguidor de tensão, Leitura do sinal do pedal.

O próximo circuito faz a leitura do sinal de rotação que chega através de uma tensão de 0 a 5V na entrada do operacional.

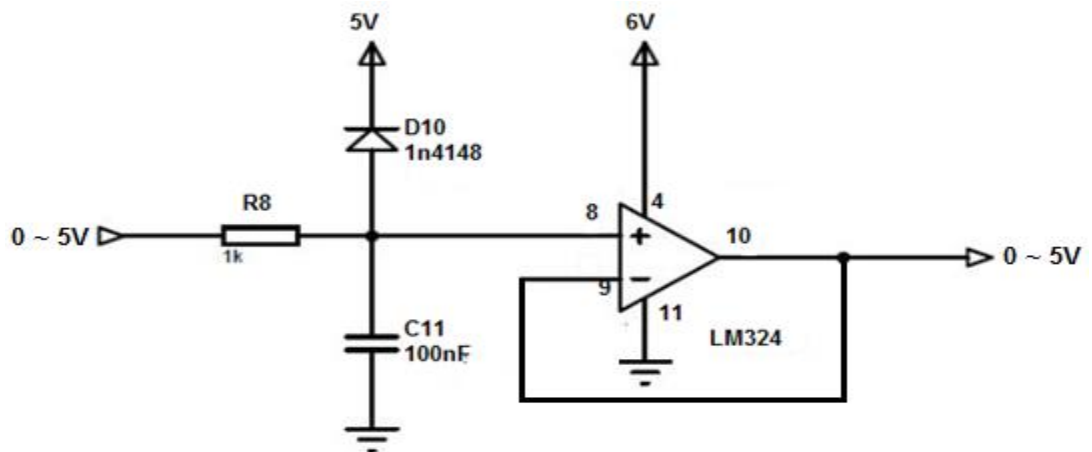


Figura 27 – Circuito seguidor de tensão, Leitura do sinal de Rotação.

Captura do sinal de rotação.

Para fazer a leitura do sinal de rotação utilizado no projeto, foi adotado a estratégia de capturá-lo diretamente do alternador, retirando um sinal de frequência do tipo onda senoidal de uma das fases gerada na saída de uma das três bobinas do conjunto, quando o eixo do alternador está girando, variando a rotação, varia a frequência do sinal aquisitado, este é tratado e adequadamente convertido em níveis proporcionais de tensão que serão lidos pela parte de controle do projeto, para tratamento deste sinal foi montado um circuito elétrico que utiliza um circuito integrado, o Lm2917 que basicamente converte a variação de frequência em variação de tensão conforme mostra a figura abaixo.

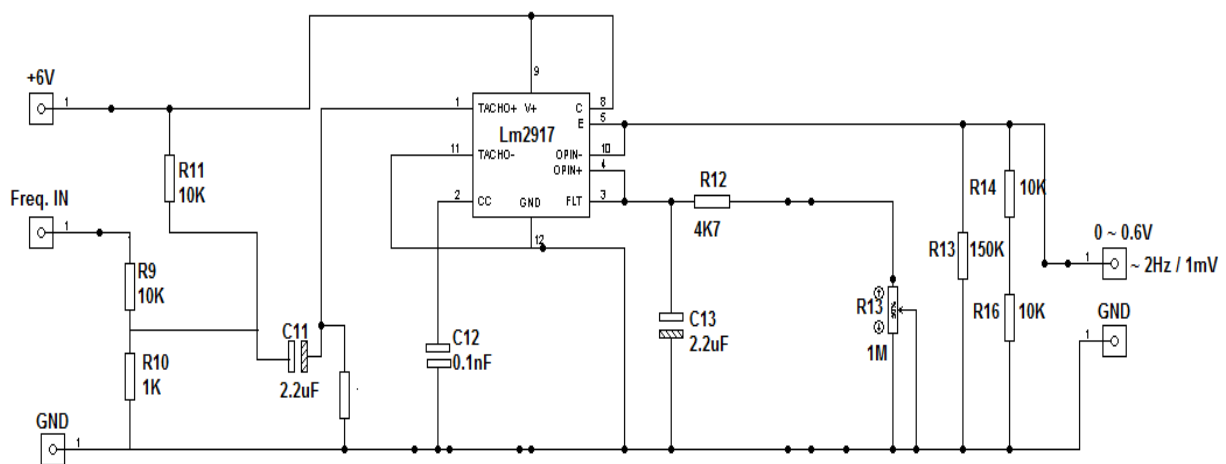


Figura 28 – Circuito conversor, Frequência em Tensão.

Circuitos amplificadores.

Este circuito foi montado com o propósito de amplificar o sinal de saída do conversor de frequência em tensão a fim de torna-lo mais adequado para leitura, para tal foi utilizado um amplificador operacional Lm358.

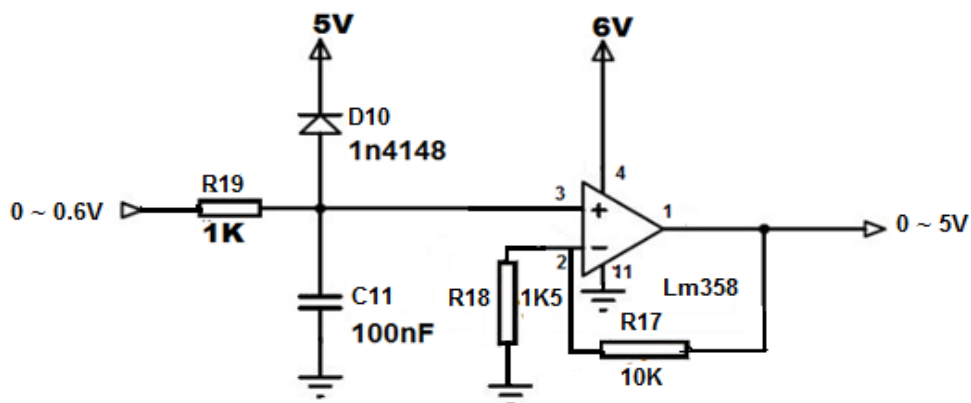


Figura 29 – Circuito amplificador do sinal do conversor.

O circuito abaixo tem a função de amplificar o sinal do pedal do acelerador que foi reduzido para ser lido pela parte de controle e precisa ser amplificado novamente para atuar na aceleração do motor elétrico e abertura da válvula borboleta, conforme figura 8.

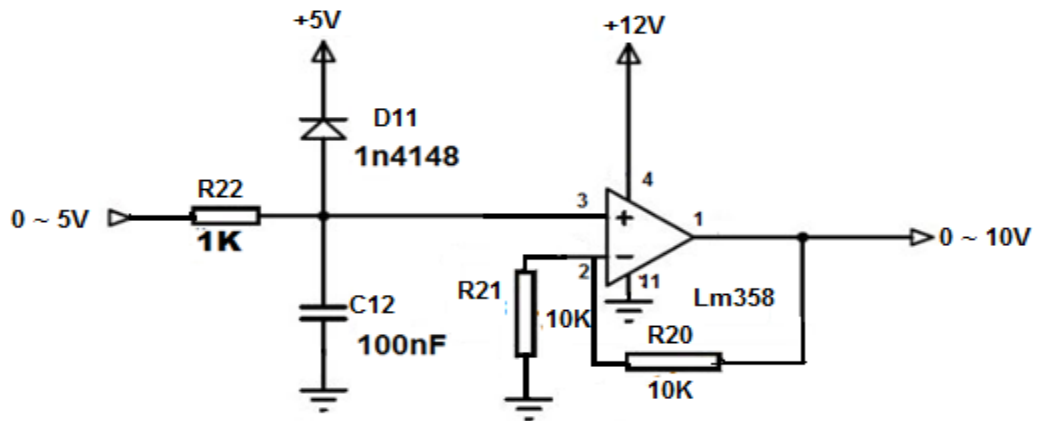


Figura 30 – Circuito amplificador do sinal do pedal.

Circuito de controle

O circuito a seguir faz o controle da corrente da bobina de campo do alternador, através de um transistor mosfet IRFZ34N, ele suporta um dreno de corrente de até 29A. Modulando um sinal de tensão por PWM no Gate do transistor é feito controle de passagem de corrente do dreno para a fonte, conforme ilustrado na figura 8.

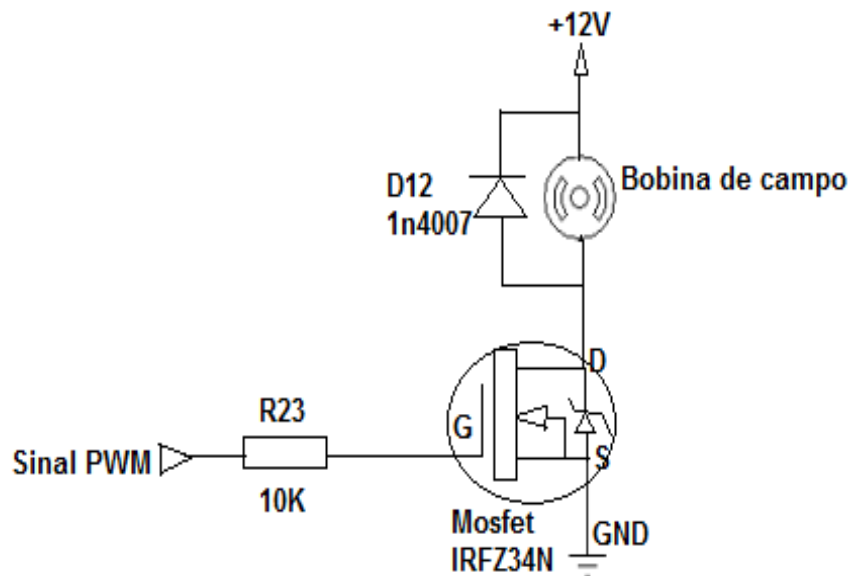


Figura 31 - Circuito de controle da corrente de campo do alternador.

3.2 Software

Para a criação do software utilizamos a ferramenta LABVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) é uma linguagem de programação gráfica originária da National Instruments. Os principais campos de aplicação do LabVIEW são a realização de medições e a automação. A programação é feita de acordo com o modelo de fluxo de dados, o que oferece a esta linguagem vantagens para a aquisição de dados e para a sua manipulação. Os programas em LabVIEW são chamados de instrumentos virtuais ou, simplesmente IVs (Ou VI no Inglês). São compostos pelo painel frontal, que contém a interface, e pelo diagrama de blocos, que contém o código gráfico do programa. O programa não é processado por um interpretador, mas sim compilado. Deste modo a sua performance é comparável à exibida pelas linguagens de programação de alto nível. A linguagem gráfica do LabVIEW é chamada "G".

- Fluxograma do controle de carga

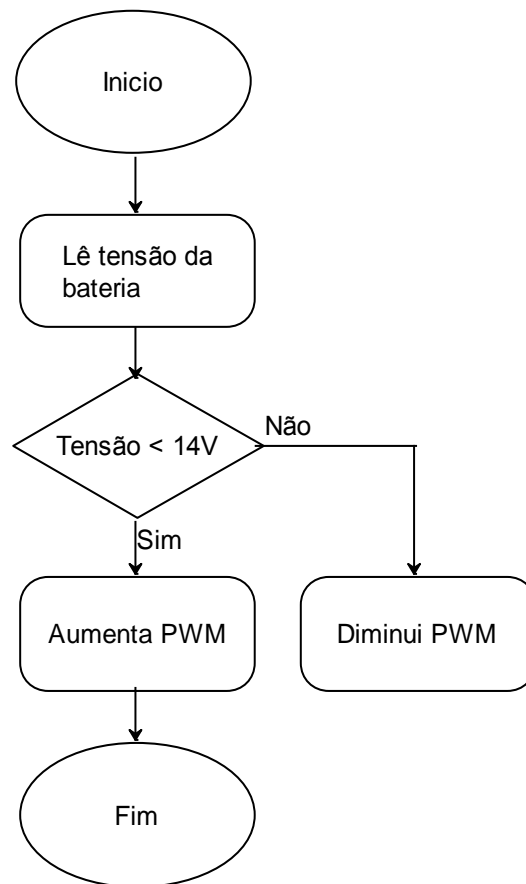


Figura 32 – Fluxograma controle de carga.

- Fluxograma redução do consumo de combustível

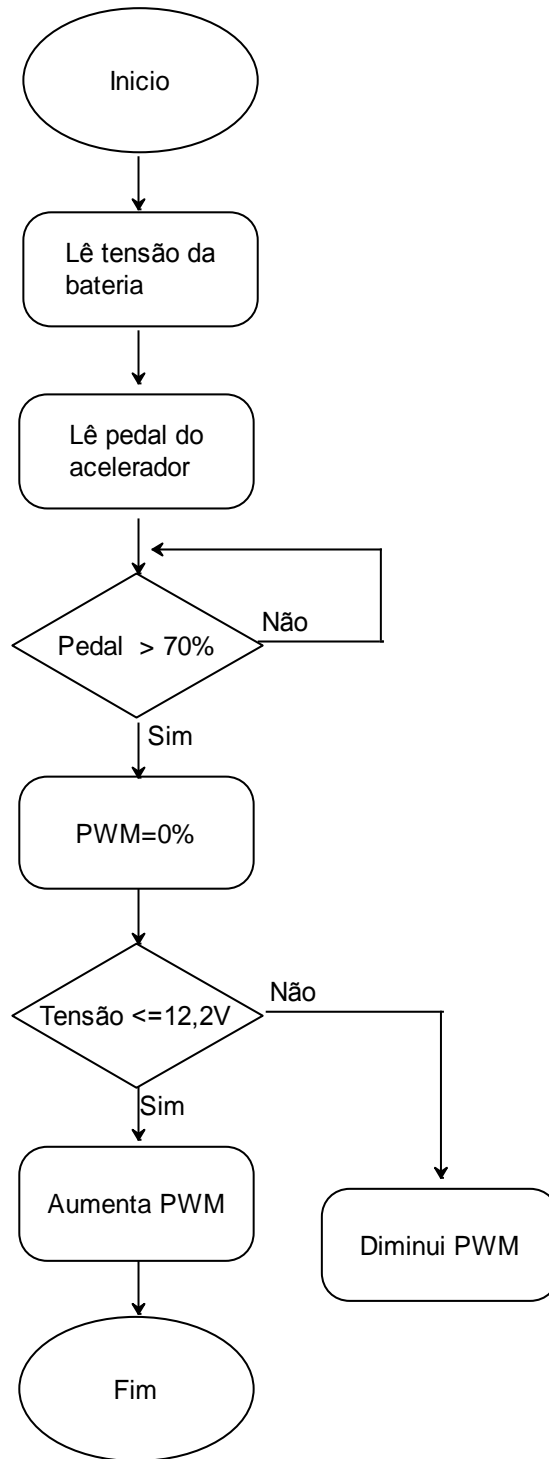


Figura 33 –Fluxograma priorização da condição de plena potência.

- Fluxograma controle de demanda energética

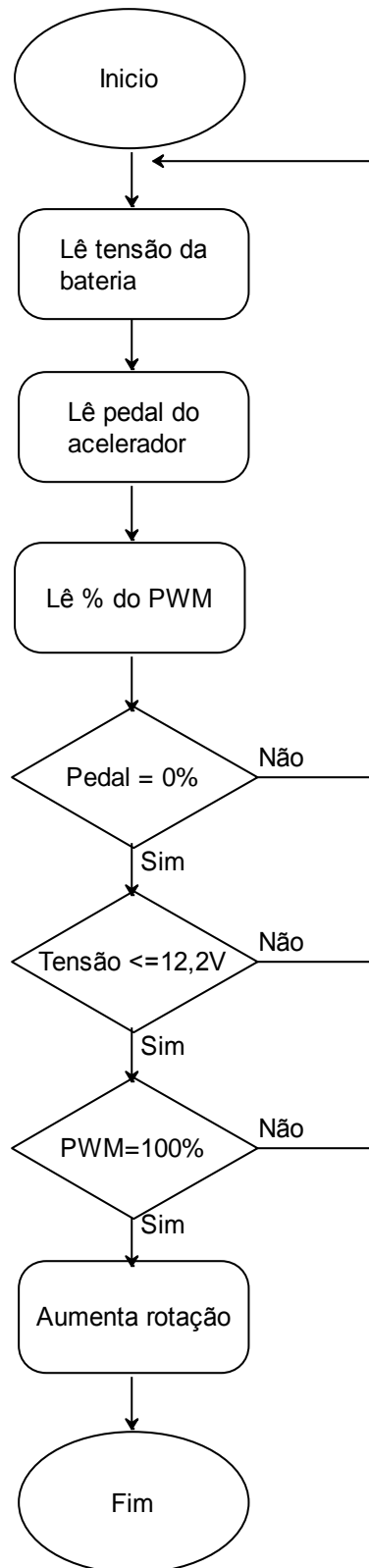


Figura 34 – fluxograma controle de demanda energética

- Fluxograma condição de falha

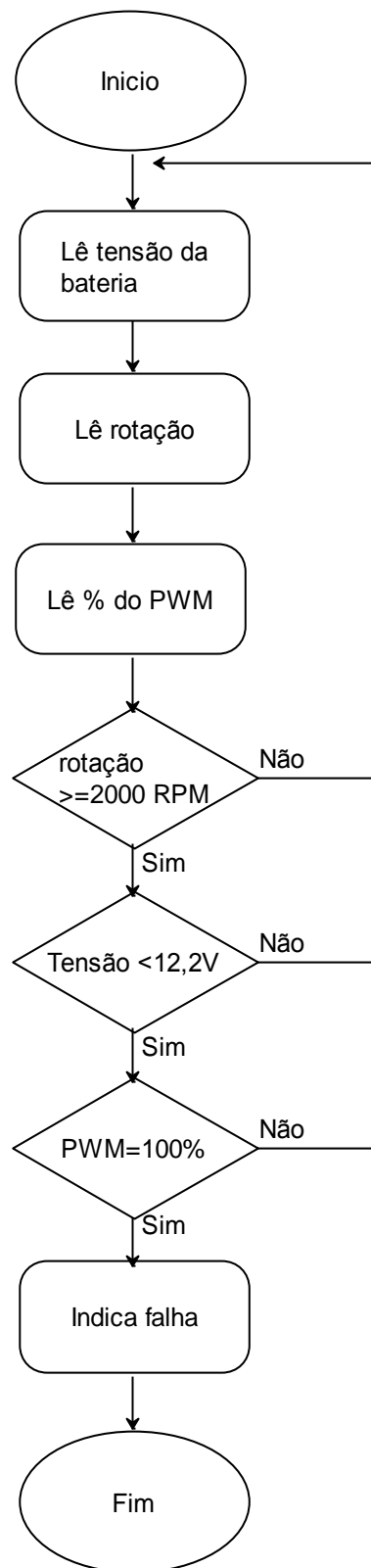


Figura 35 – Fluxograma condição de falha

Na figura seguinte temos o painel frontal do programa criado no LABVIEW

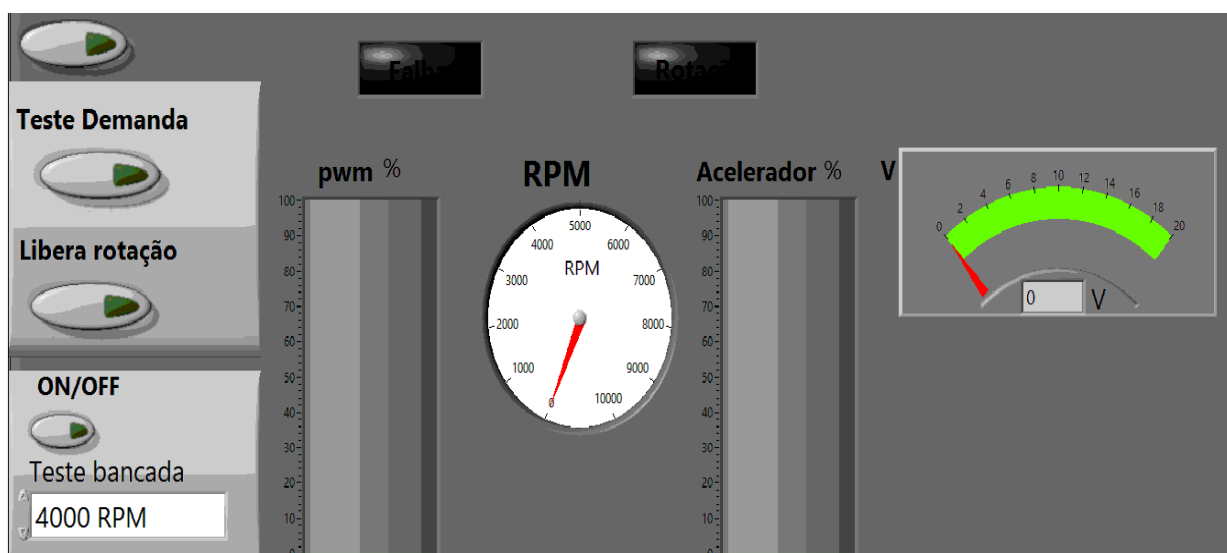


Figura 36 – Painel frontal LABVIEW

3.3 Bancada de testes

O objetivo da bancada é demonstrar o funcionamento de todo o sistema. Para isso utilizamos o kit que contém pedal e válvula borboleta já existente na FATEC. O sinal de posição do pedal de acelerador tem a função de controlar a abertura da válvula borboleta e a rotação do motor A.C da bancada. Para que o controle da corrente de campo do alternador, utilizamos a ligação das escovas do regulador de tensão original e desligamos toda a parte de controle, então através do programa e placa de condicionamento de sinais foi possível controlar a corrente de campo através de um sinal PWM, a abertura da válvula borboleta e controle da rotação do motor. O teste foi dividido em 3 etapas:

- Teste do controle da tensão de saída do alternador.
- Teste do funcionamento do sistema de prioridade de plena potência do motor.
- Teste do funcionamento do sistema de demanda energética.

Foi possível fazer um teste comparativo entre os dois reguladores de consumo de corrente elétrica do motor AC da bancada que será mencionado no capítulo 4.

Esta figura mostra a montagem dos circuitos para condicionamento e interpretação de sinais conjugada com a placa de interface software e hardware. O conjunto completo é utilizado para substituir um regulador de tensão convencional no projeto.

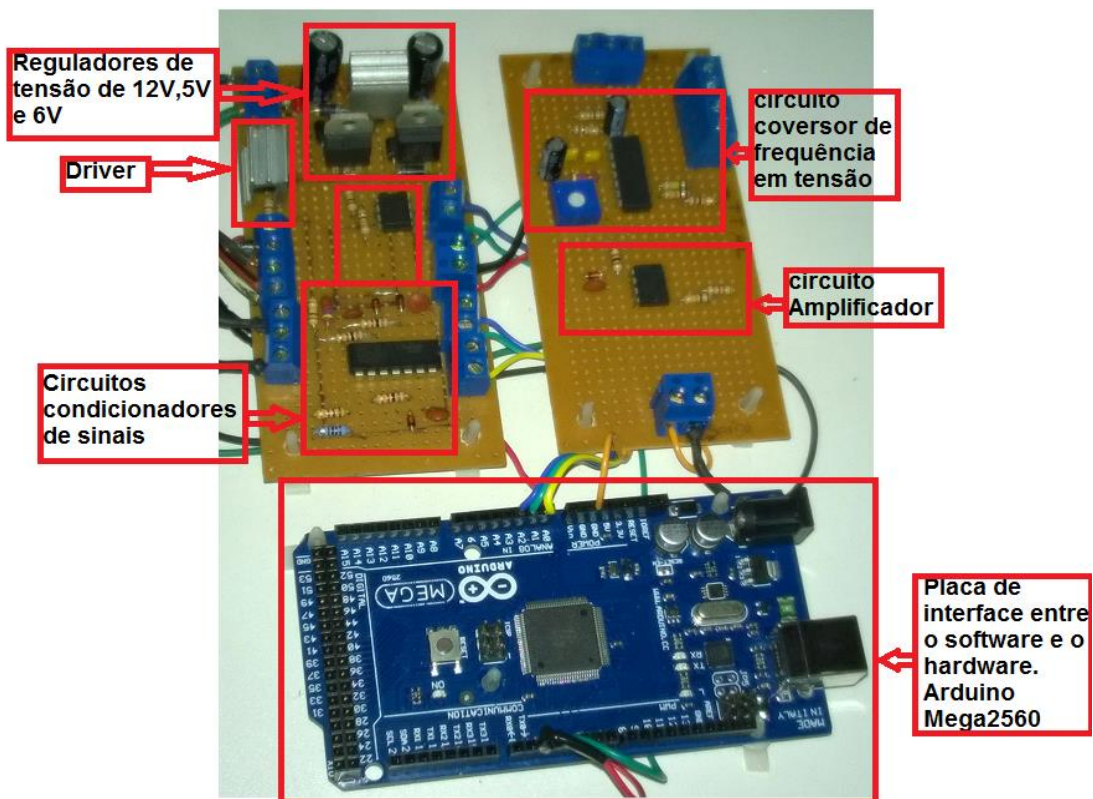


Figura 37. Circuitos condicionadores de sinais e placa de interface.

Abaixo temos o regulador de tensão utilizado para a realização dos testes comparativos.



Figura 38. Regulador de tensão.

A seguir é mostrado um kit didático da FATEC, pedal acelerador e válvula borboleta, um inversor de frequência para controlar a velocidade do motor elétrico da bancada de testes controle feito através do sinal externo com variação de 0 a 10V, conforme pedido no manual de instruções do equipamento, este sinal é gerado pela nossa unidade de controle após a leitura da posição do pedal do acelerador, além do controle da rotação do motor utilizado este sinal também para o controle da abertura da válvula borboleta.

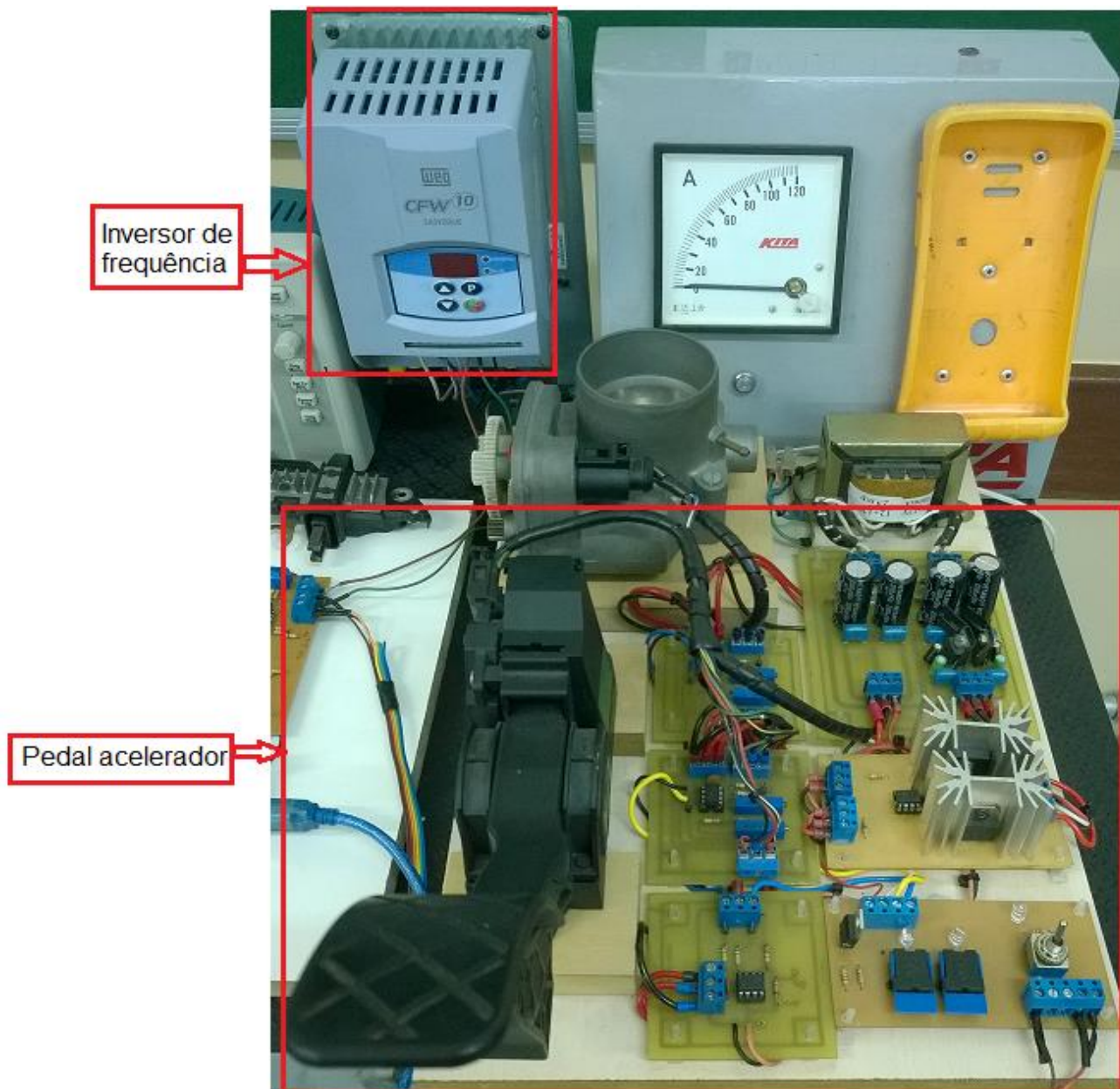


Figura 39. Pedal acelerador e Inversor de frequência.

A figura a seguir mostra o motor elétrico de 3CV e rotação máxima de 3500 RPM com diâmetro da polia de 175mm e um gerador de 120 A com diâmetro da polia de 50mm isto equivale a uma relação de 3,5 para 1, a cada volta da polia do motor da bancada equivale a 3,5 voltas da polia do alternador. A rotação máxima de um automóvel fica em torno de 6000 RPM a relação de polias motor e alternador é de 2 para 1 isto nos dá uma rotação máxima no alternador por volta de 12000RPM então como o nosso objetivo é fazer com que o teste em bancada fosse o mais próximo do original a relação de 3,5 para 1 atendeu nossas expectativas.

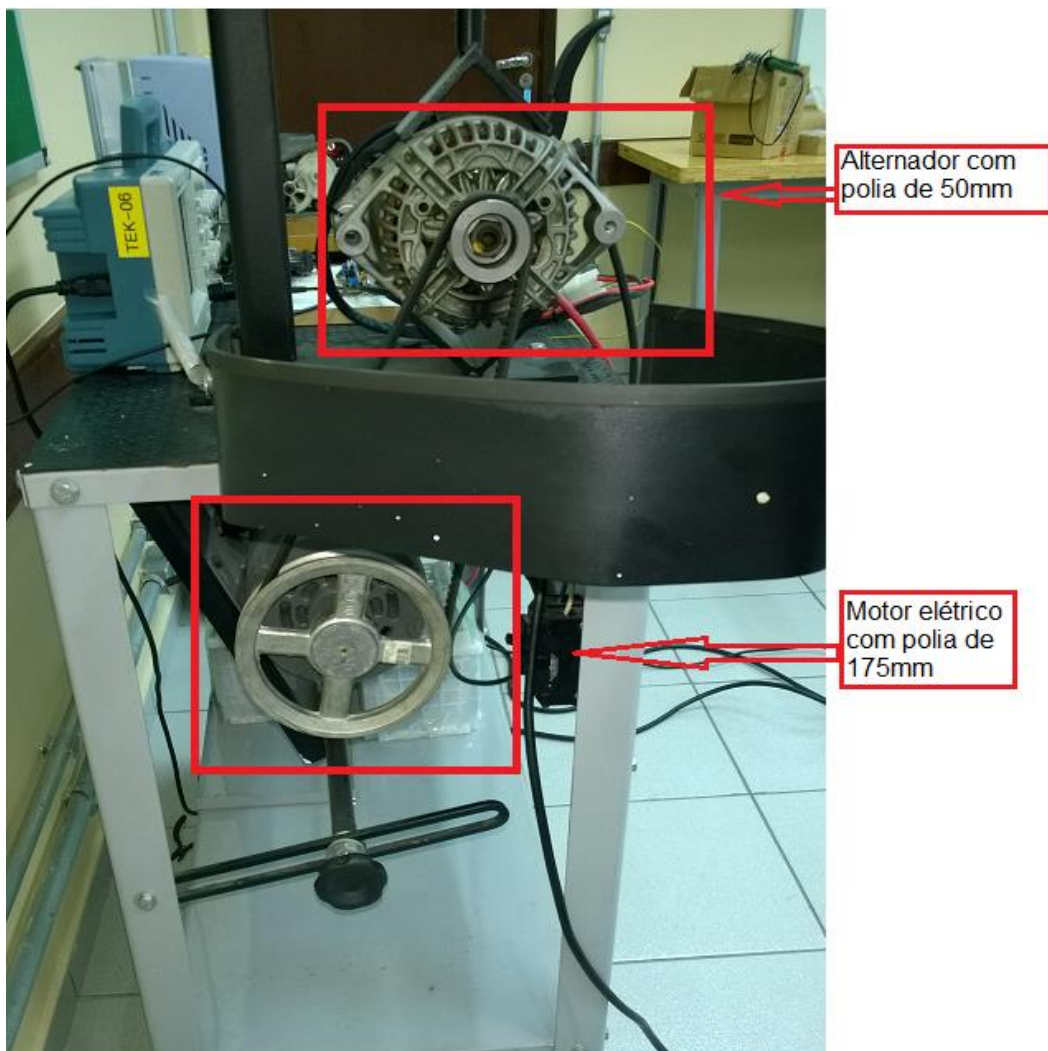


Figura 40. Motor elétrico acoplado ao alternador.

Abaixo temos uma visão geral do projeto na bancada de carga e partida da Fatec Santo André.



Figura 41. Visão geral do projeto na bancada de carga e partida.

4 Resultados obtidos

Com o objetivo de analisar o funcionamento e desempenho da nossa unidade de controle realizamos testes na bancada de carga e partida da FATEC Santo André e em um automóvel GM Corsa 1994, o sistema utilizado no automóvel é o mesmo da bancada, porém no automóvel temos somente os sinais de tensão da bateria e TPS para então fazer o controle da corrente de campo do alternador. Para mensurar o desempenho da unidade de controle que fizemos utilizamos método de comparação entre os dois sistemas. Estes testes tiveram como objetivo mostrar o quanto de energia o alternador consome e o desempenho do motor a combustão interna em relação a torque e potência. Para o teste de consumo de corrente do motor da bancada desenvolvemos um sistema de controle da rotação do motor através do LABVIEW este ficou no mesmo painel frontal do sistema utilizado para o controle do funcionamento do alternador.

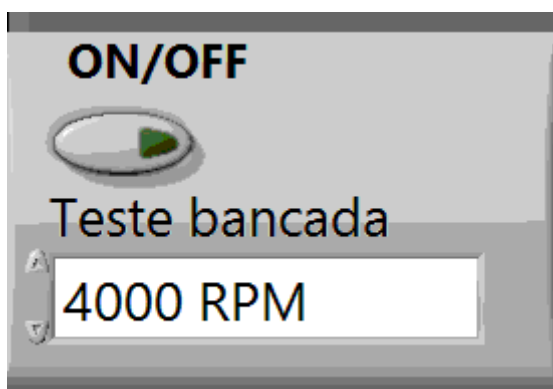


Figura 42. Seleção de rotações no painel frontal para o teste na bancada.

4.1 Teste em bancada

Para este instalamos um motor elétrico DC em paralelo com a bateria, com o objetivo de fazer o alternador entrar em um funcionamento similar ao real quando instalado no automóvel. Então para diferentes rotações do alternador medimos a corrente consumida pelo motor AC da bancada. Através deste valor é possível analisar o consumo de energia que o alternador utilizou do motor da bancada de testes de carga e partida. Para então compararmos o desempenho dos dois sistemas, os testes foram repetidos por três vezes e posteriormente calculado a média,

através destes valores foi possível mostrar a tabela abaixo. Quando o teste for realizado no regulador com tecnologia PWM para a rotação de 10000RPM o mesmo entrara na estratégia de sinal de posição do pedal de acelerador maior que 70%. Esta estratégia foi desenvolvida com o objetivo de diminuir o consumo de combustível.

Comparação dos sistemas

Rotação (RPM)	Regulador original (A)	Regulador PWM (A)	Resultado %
3000	0,5	0,5	Igual
4000	1,73	1,7	Regulador PWM 1,73% menor
6000	2,0	1,9	Regulador PWM 5% menor
8000	2,13	2,1	Regulador PWM 1,4% menor
10000	2,5	2,26	Regulador PWM 9,6% menor

Tabela 9. Resultados do teste na bancada

Portanto através dos resultados obtidos é possível observar a diminuição no consumo de energia do motor da bancada principalmente na condição de 10000RPM com a estratégia de sinal de posição do pedal de acelerador maior que 70% .

Teste de funcionamento

No teste de demanda energética o objetivo era demonstrar uma situação critica do funcionamento do sistema de carga, que acontece quando em rotações de marcha lenta são utilizados um grande numero de consumidores elétricos, este tipo de situação é cada vez mais comum emgrandes cidades pois acontece principalmente em noites chuvosas e com bastante transito.

Porém devido a limitações impostas pelo motor AC e o inversor de frequência da bancada não foi possível demonstrar esta situação pois em baixas rotações quando a corrente de campo do rotor aumenta para compensar a baixa rotação a corrente do motor AC também aumenta porque neste momento o alternador oferece maior resistência para girar e como proteção o inversor acaba desligando o motor AC da bancada.

Porém desenvolvemos um teste via software, através de um botão no painel frontal nós limitamos o PWM do controle da corrente de campo do rotor para 20% a partir deste momento foi possível mostrar a limitação de geração de energia do alternador em baixas rotações, sendo possível observar a tensão de saída do alternador diminuindo, com um outro botão nós liberamos a função de controle da demanda energética onde a rotação do alternador sobe para 4000 RPM o objetivo deste teste é demonstrar que a tensão de saída do alternador é o produto entre rotação e corrente de campo imposta ao rotor do alternador. Neste momento com os ainda 20% de PWM de corrente de campo do rotor e a elevação da rotação do alternador é possível visualizar a tensão de saída do alternador aumentando gradativamente.

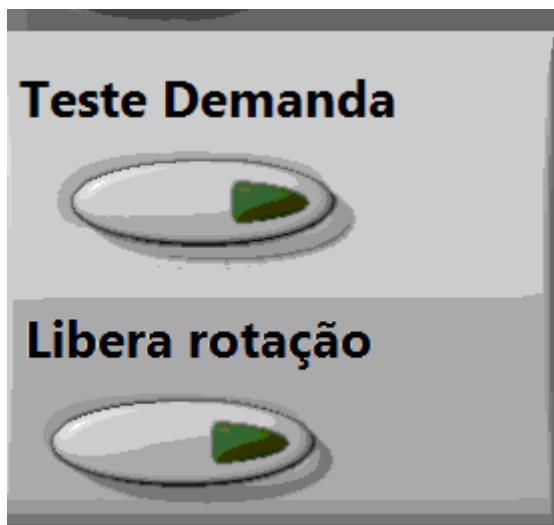


Figura 43. Configuração no painel frontal para o teste de demanda energética.

4.2 Teste em automóvel

Para foi realizado no dinamômetro de rolo da praça técnica da FATEC Santo André neste foi utilizado um automóvel GM Corsa ano 1994 1.0 gasolina o objetivo foi medir torque e potência do motor com o veículo funcionando com cada um dos dois reguladores, o regulador original e o com tecnologia pwm, o método utilizado foi o de comparação onde para cada sistema foram feitos três ensaios e posteriormente retirado uma média dos valores dos ensaios de cada regulador. No momento dos testes a temperatura de trabalho do motor estava em torno de 100 C. A seguir é mostrada a tabela com os valores das medições.

Regulador de tensão original		Regulador com tecnologia PWM	
Potência (CV)	Rotação (RPM)	Potência (CV)	Rotação (RPM)
43,86	5191	45,81	5233
Torque (Kgm)	Rotação (RPM)	Torque (Kgm)	Rotação (RPM)
6,75	3433	7,30	3191

Tabela 10. Resultados do teste no automóvel.

Como pode ser visto na tabela em relação a potência o regulador que possui o sistema de controle com tecnologia PWM teve um ganho frente ao regulador original, de aproximadamente 2cv, um aumento de 4,44% praticamente com a mesma rotação, ressaltando que nesta rotação por volta de 5200 rpm o automóvel atingiu a situação de plena potência, quando então o alternador é desligado diminuindo o arraste do motor, o que significa dizer que com a mesma energia entregue ao motor, ele entregou uma potência maior ao eixo do veículo, comparando ao outro regulador pode-se dizer que ele realiza o mesmo trabalho de forma mais rápida e com economia de combustível. Com relação a comparação entre os resultados dos torques desenvolvidos pelos dois sistemas, com o regulador pwm motor desenvolveu um torque maior, um aumento de 8,14% com uma rotação 7,58% menor, um resultado muito positivo que mostra que com as mesmas condições impostas ao motor do veículo desenvolveu uma capacidade maior de deslocá-lo, porém este torque apareceu mais cedo ou com uma rotação menor, foi gasto

menos energia no processo, significando economia de combustível. Portanto os testes mostraram que utilizando o regulador com tecnologia pwm e a estratégia mencionada, pode-se melhorar a eficiência e o rendimento do motor em relação a torque e potência em determinado regime de funcionamento, o que está diretamente ligado à economia de combustível e consequentemente redução dos níveis de emissões de poluentes.

5. Conclusões e Próximos Passos.

Neste estudo foi possível demonstrar que para que o sistema de carga funcione existe uma potência do motor que é utilizada para movimentar o alternador, vimos também o funcionamento de todo o sistema de carga automotivo e que é possível minimizar o consumo de potência do MCI utilizando a tecnologia PWM e algumas estratégias descritas no trabalho para o controle de funcionamento do alternador. Este foi só um primeiro passo acreditamos que é possível melhorar ainda mais o controle com novas estratégias de funcionamento do alternador como por exemplo: fazer com que o alternador gere 100% de carga nas desacelerações do veículo afim de compensar possíveis perdas no consumo de energia da bateria no momento em que ele é desligado, nos vimos a necessidade do controle de todo o sistema elétrico e eletrônico do veículo caso ocorra alguma falha no sistema de carga, com o objetivo de retardar o consumo completo da carga da bateria enxergamos também a necessidade destas estratégias serem repassadas para programas em microcontroladores ou até mesmo para o programa da unidade de gerenciamento de injeção de combustível criada pelos alunos da FATEC Santo André.

6 Referências Bibliográficas

BOSCH, R. (2005). Manual de Teconologia Automotiva, 25ª edição.

Boylestad, R. (1999). Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos 6ª edição.

Tom, D. (2004). Automobile Electrical and Electronic Systems 3ª edição.

Jorge, M, & Duarte, M. (2009). Automóvel sistema de carga 1ª edição.

Notas de aula de carga e partida

*Mehl, Ewaldo L. M.: Fontes Chaveadas
Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Elétrica
E-mail: **mehl@ufpr.br***

