



**Paulo Cesar Rodrigues**

**TRANSMISSÃO HIDRÁULICA COM ACIONAMENTO  
ELETRÔNICO PARA UM PROTÓTIPO DE VEÍCULO OFF  
ROAD**

**Horizontina**

**2015**

**Paulo Cesar Rodrigues**

**TRANSMISSÃO HIDRÁULICA COM ACIONAMENTO ELETRÔNICO  
PARA UM PROTÓTIPO DE VEÍCULO OFF ROAD**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Anderson Dal Molin, Me.

**Horizontina**

**2015**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:**

**“Transmissão Hidráulica com Acionamento Eletrônico para um Protótipo de  
Veículo Off Road”**

**Elaborada por:**

**Paulo Cesar Rodrigues**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 05/11/2015  
Pela Comissão Examinadora**

---

**Prof. Me. Anderson Dal Molin  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

---

**Prof. Dr. Richard Thomas Lermen  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

---

**Prof. Me. Guilherme Beras  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina  
2015**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por iluminar toda a minha trajetória. A todos meus familiares, amigos e colegas, especialmente aos meus pais, esposa e filhas.

Ao orientador e professores pelos ensinamentos diários, e a todos que de uma forma ou outra me auxiliaram nesta longa caminhada.

A Gerência da John Deere que me incentivou e apoiou para a busca do meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.  
(Charles Chaplin)

A verdadeira motivação vem de realização, desenvolvimento pessoal, satisfação no trabalho e reconhecimento.  
(Frederick Herzberg)

## RESUMO

Atualmente nos deparamos com a evolução tecnológica a passos largos e em muitos momentos ficamos surpresos com o que lemos ou escutamos em determinados noticiários. Está evolução contempla também a área hidráulica e eletrônica que juntas desenvolvem novos conceitos, realizando trabalhos mecânicos com grande capacidade de carga e baixos esforços para o ser humano. Com base nisso, este estudo tem como objetivo principal desenvolver um carro off-road com transmissão hidráulica e acionamento eletrônico, utilizando bomba e motores hidráulicos de engrenagem com válvula proporcional e um potenciômetro para diminuir ou aumentar a rotação dos motores hidráulicos. No decorrer do trabalho com a velocidade final do carro off-road pré-determinada em 45 km/h, foram selecionados os componentes hidráulicos e eletrônicos de baixo custo e já disponíveis em catálogos de fornecedores nacionais. Realizando testes em bancadas e posterior montagem no chassi do veículo off-road, foi possível comprovar que o acelerador eletrônico, combinado com a transmissão hidráulica funciona e pode ser utilizado em um veículo off-road para futuramente levá-lo a uma competição Baja SAE. Por fim, conclui-se que a aceleração eletrônica fornece-nos uma variação eficiente de rotação nos motores hidráulicos, sendo que através de gráficos é possível observar os principais aspectos do funcionamento hidráulico comandado por um acelerador eletrônico.

Palavras-chaves:

Acelerador Eletrônico – Veículo off-road – Transmissão Hidráulica.

## **ABSTRACT**

Currently we face the technological change at a rapid pace and many times, we were surprised by what we read or hear in some news. This evolution also includes the hydraulics and electronics that together develop new concepts, performing mechanical work with high load capacity and low efforts to humans. Based on this, study aims to develop an off-road car with hydraulic transmission and electronic drive using hydraulic pump and gear motors with proportional valve and a potentiometer to decrease or increase the rotation of the hydraulic motors. With the end speed of the off-road vehicle predetermined at 45 km/h, hydraulic and electronic components inexpensive and already available in national supplier catalogs were selected. Performing tests on benches and assembling the off-road vehicle chassis, it was possible to prove that the electronic throttle, combined with hydraulic transmission works and can be used in an off-road vehicle to eventually take it to a Baja SAE competition. Finally, it is concluded that the electronic throttle provides an efficient variable speed in hydraulic motors, and through graphs you can see the main aspects of the hydraulic operation controlled by an electronic throttle.

Keywords:

Electronic Throttle – Off-Road Vehicle - Hydraulic Transmission

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Controle remoto empregando válvulas proporcionais .....	16
Figura 2: Desenho e diagrama da válvula PV72-30. ....	16
Figura 3: Circuito eletrônico de uma placa controladora .....	18
Figura 4: Placa controladora para válvulas proporcionais. ....	18
Figura 5: Potenciômetro e circuito equivalente.....	19
Figura 6: Curva de torque do motor Briggs & Stratton 10 HP.....	20
Figura 7: Curva de potência do motor Briggs & Stratton 10 HP. ....	20
Figura 8: Gráfico vazão l/min .....	24
Figura 9: Componentes da bancada válvula, motores e reservatório.....	26
Figura 10: Componentes da bancada bomba, acoplamento e motor .....	26
Figura 11: Acoplamento da bomba hidráulica .....	27
Figura 12: Painel de controle e montagem do sistema.....	28
Figura 13: Instrumentos utilizados .....	28
Figura 14: Pontos onde foram medidos a temperatura e a tensão .....	30
Figura 15: Sensor de pressão e válvula de alívio.....	31
Figura 16: Fita refletora no eixo do motor .....	32
Figura 17: Tacômetro, potenciômetro e placa eletrônica.....	32
Figura 18: Gráfico da tensão em função da rotação do motor hidráulico.....	35
Figura 19: Gráfico da temperatura em função do tempo .....	36
Figura 20: Gráfico da pressão em função da variação da rotação .....	36



# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	10
1.2 OBJETIVOS.....	10
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
2.1 TRANSMISSÃO HIDRÁULICA. ....	12
2.1.1 FLUIDO HIDRÁULICO .....	12
2.1.2 BOMBAS HIDRÁULICAS .....	13
2.1.3 MOTORES HIDRÁULICOS .....	14
2.1.4 VÁLVULAS DE CONTROLE .....	14
2.1.5 RESERVATÓRIO HIDRÁULICO .....	17
2.2 SISTEMA ELETRÔNICO.....	17
2.2.1 POTENCIÔMETROS.....	19
2.3 COMPETIÇÃO BAJA SAE.....	20
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>22</b>
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS .....	22
3.2 COMPONENTES HIDRAULICOS .....	22
3.3 COMPONENTES ELETRÔNICOS.....	25
3.4 BANCADA HIDRAULICA.....	25
3.5 MONTAGEM DA TRANSMISSÃO NO CHASSI DO BAJA .....	27
3.6 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS .....	28
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>38</b>
<b>6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O projeto Baja SAE é um desafio lançado aos estudantes de engenharia que abrange as universidades de todo o Brasil e internacionais, onde é oferecida a chance de estes aplicarem na prática os conhecimentos adquiridos em sala de aula, e com isso aprimorar em sua preparação para o mercado de trabalho. Ao participar do projeto Baja SAE, o acadêmico trabalha com situações reais de desenvolvimento de projeto, desde a sua concepção, projeto detalhado, construção de protótipos, testes de pista e análise de resultados.

Os alunos que participam do Projeto Baja SAE devem formar equipes que representarão a Instituição de Ensino Superior a qual estão ligados. As equipes são desafiadas anualmente a participar da Competição Baja SAE, evento que reúne os acadêmicos e promove a avaliação comparativa dos projetos. No Brasil a competição nacional recebe o nome de Competição Baja SAE BRASIL.

Atualmente a FAHOR, Faculdade de Horizontina, já é representada por uma equipe com um baja constituído de transmissão com engrenagens e CVT. A inovação conceitual de um Baja com transmissão hidráulica promove a necessidade de montar uma nova equipe, diversificando as áreas de aprendizado e dobrando o número de acadêmicos com oportunidades únicas de trabalhar em projetos reais ainda na fase acadêmica.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma transmissão hidráulica de força, utilizando bomba e motores de engrenagem que estão interagindo com um comando hidráulico acionado por uma válvula solenoide proporcional. Esta válvula solenoide proporcional em posição neutra está ligada a tanque para permitir a partida manual do motor a gasolina de 10 HP e o veículo deve permanecer estático, o movimento da transmissão hidráulica ocorre somente com o movimento voluntário no acelerador eletrônico e proporciona uma velocidade máxima de 40 a 50 km/h do veículo off-road.

Com esta configuração, o sistema hidráulico deve produzir o mesmo efeito de um sistema hidrostático com bomba de pistão, iniciando em um ponto neutro com vazão toda a tanque e aumentar a proporção da vazão do sistema para os motores hidráulicos de acordo com a necessidade de movimentar o veículo off-road.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Com a produção em grande escala das válvulas solenoides proporcionais, é possível utilizar esta tecnologia em novos sistemas hidráulicos com baixo custo de implementação. Com a crescente interação da hidráulica com válvulas solenoides proporcionais processadas por placas eletrônicas e atuadas por comandos elétricos, torna-se atrativo desenvolver um acelerador com controle eletrônico para comandar o movimento da transmissão hidráulica.

Utilizando mangueiras hidráulicas no lugar das omocinéticas obtém-se uma maior liberdade para projetar a suspensão traseira do carro off road, oportunizando aos futuros engenheiros desenvolverem novos conceitos, diferentes dos tradicionais utilizados em transmissões mecânicas.

O conceito de transmissão hidráulica é uma inovação dentro da competição Baja SAE, por isso, é desafiador desenvolver o carro off road com transmissão hidráulica dentro dos parâmetros já estabelecidos para a competição, entretanto tem-se a oportunidade de demonstrar que a inovação é possível, mesmo dentro de uma competição já existente a longa data, também este projeto proporciona a aplicação da hidráulica no meio acadêmico, aumentando o número de projetos dentro da faculdade e auxiliando futuros trabalhos didáticos nesta área curricular de hidráulica, bem como, transferência de Calor, mecânica dos fluidos dentre outras.

## 1.2 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo desenvolver uma transmissão hidráulica com válvula proporcional, possibilitando utilizar um acelerador eletrônico para variar a velocidade de deslocamento de um veículo off road.

Objetivos específicos desta pesquisa:

- Desenvolver a transmissão com bomba e motores hidráulicos de engrenagem.
- Desenvolver um comando hidráulico com válvula solenoide proporcional, com válvula de ventagem ligada na linha de retorno na posição neutra.
- Desenvolver um acelerador eletrônico com a interação de um potenciômetro e uma placa eletrônica para controlar a rotação nos motores hidráulicos da transmissão.

- Avaliar o funcionamento conceitual do sistema proposto em bancada experimental.

Montar todo os sistema hidráulico no chassi do carro off-road com o motor oficial da competição Baja e analisar:

- Restrição da válvula, linha de mangueiras e filtro quando o sistema está em posição neutra;

- A correlação da variação da voltagem do potenciômetro com a rotação no eixo do motor hidráulico;

- A correlação da vazão e pressão do sistema; E a correlação do tempo em funcionamento com a temperatura do óleo hidráulico do sistema.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 TRANSMISSÃO HIDRÁULICA**

Uma transmissão hidráulica é uma possibilidade de transformação do movimento rotativo, que utiliza bombas e motores hidráulicos intermediários. Este modelo permite uma maior liberdade de disposição dos elementos utilizados na transmissão, somente necessitando de tubulações hidráulicas como elemento de ligação e dispondo uma possibilidade adicional de regulagem da relação da transmissão e do sistema de amortecimento (NIEMANN, 2002).

O sistema de transmissão hidráulica utilizado em veículos, patenteado por Clarke Modet & Cia. Ltda (1984), tem seu funcionamento descrito da seguinte forma. O veículo contempla uma bomba hidráulica capaz de utilizar fluido hidráulico de um reservatório e na saída da bomba inclui uma válvula de controle da pressão, para controlar a pressão do fluido hidráulico que está fluindo em uma tubulação de abastecimento comum para um par de motores hidráulicos de deslocamento positivo.

Clarke Modet & Cia. Ltda (1984), também descreve que cada um dos motores hidráulicos possui um eixo de saída operando acoplado em uma roda do veículo. Uma tubulação de retorno comum para os motores permite que o fluido hidráulico retorne para o reservatório. Cada motor tem a velocidade do eixo de saída proporcional à taxa de fluxo do fluido hidráulico deslocado por uma bomba hidráulica, a taxa de fluxo é limitada até um nível máximo de pressão do sistema, devido à resistência interna do fluido hidráulico que flui através do motor.

#### **2.1.1 Fluido hidráulico**

Um fluido é uma substância que se deforma continuamente quando está sob a aplicação de uma tensão de cisalhamento, não importando quão pequena possa ser esta tensão (NEGRI 2001).

Para Palmieri (1994), um dos principais fatores que devem ser levados em consideração para estabelecer um bom rendimento e pouca manutenção é a correta escolha do fluido hidráulico, pois este fluido deve satisfazer as finalidades de transmitir com eficiência a potência que lhe é fornecida e lubrificar de maneira satisfatória os componentes internos dos sistemas.

O óleo hidráulico deve ter boa condutibilidade térmica, pois o calor gerado nas bombas, válvulas, motores e tubulações deverá ser transportado pelo fluido pressurizado para o reservatório. O reservatório irradia o calor gerado através de suas paredes para o ambiente, se as superfícies de irradiação não forem suficientes é necessário adicionar trocadores de calor, resfriadores, adicionais no sistema hidráulico para evitar sobreaquecimento dos componentes e do fluido hidráulico (REXROTH, 2005).

Atualmente o fluido para aplicação em hidráulica mais facilmente encontrado no mercado é o óleo mineral normatizado pela ISO 68 da linha Mobil, o qual é especialmente desenvolvido para aplicações em sistemas hidráulicos de máquinas e implementos agrícolas incluído veículos off-road, este fluido apresenta excelente resistência à corrosão e oxidação, como alta propriedade antiespumante e boa estabilidade térmica (MOBIL, 2011).

### 2.1.2 Bombas Hidráulicas

De acordo com Linsingen (2003), a transformação de energia em um sistema hidráulico é realizada por meio de bombas hidráulicas, sendo realizada a transformação de energia mecânica em hidráulica que após é transmitida para os atuadores (cilindros ou motores hidráulicos) onde então é convertida em energia mecânica para a produção de trabalho útil.

Para Palmieri (1994), as bombas hidráulicas são responsáveis pela geração de vazão dentro de um sistema, tendo a função de acionar os atuadores hidráulicos. Compreende-se então, que são responsáveis por converter a energia mecânica em energia hidráulica, depois de definido o motor hidráulico podemos encontrar a vazão fornecida pela bomba e a definição da mesma.

Utilizando as equações em sequência é possível especificar o correto deslocamento volumétrico da bomba hidráulica (FIALHO, 2011).

Equação (01) para encontrar a rotação no eixo do motor hidráulico.

$$n = \frac{v}{2\pi r} \quad (\text{eq 01})$$

Sendo:

- $n$ – Rotação máxima no eixo de saída do motor hidráulico [rpm];
- $v$ – Velocidade máxima do veículo [m/min];
- $r$ – Raio da roda [m].

A equação (02) define a vazão necessária em l/min para movimentar o motor hidráulico.

$$L = \frac{n D}{1000} \quad (\text{eq } 02)$$

Sendo:

$L$ – Vazão necessária para movimentar um motor hidráulico [l/min];

$n$ – Rotação do motor hidráulico [rpm];

$D$ – Deslocamento do motor hidráulico [cm<sup>3</sup>/rev].

### 2.1.3 Motores hidráulicos

Pode-se descrever um motor hidráulico sendo um atuador rotativo, o qual tem por função básica converter a energia hidráulica em energia mecânica rotativa (FIALHO, 2011).

Ainda segundo Fialho (2011), a definição para deslocamento de um motor é a quantidade de fluido que o motor recebe a cada rotação e também é possível ter torque sem movimento, porque, ele só realiza o torque quando o mesmo for suficiente para vencer o atrito e a resistência à carga, sempre considerando a energia. A pressão necessária para o deslocamento dos motores hidráulicos depende do torque que deve ser aplicado para o seu movimento.

Motores de engrenagens em sua estrutura construtiva são muito similares as bombas de engrenagem. O fluido de pressão fornecido ao motor hidráulico atua sobre as rodas dentadas e cria-se um torque que é fornecido pelo eixo do motor. Motores de engrenagens são frequentemente utilizados na hidráulica móbil e na aplicação agrícola para acionar correias transportadoras, discos semeadores, ventiladores, fusos transportadores ou ventoinhas (REXROTH, 2005).

### 2.1.4 Válvulas de Controle

De acordo com Cruz (2010), as válvulas hidráulicas são utilizadas em comandos e podem regular a vazão, a direção do fluido e a pressão do sistema. São de grande utilidade e necessárias para o perfeito funcionamento do sistema hidráulico.

Válvulas reguladoras de pressão têm como função regular a pressão de um determinado componente ou circuito. Todo o circuito hidráulico necessita de

elementos que regulem, limitem, reduzam ou interrompam a elevação de pressão do sistema (FIALHO, 2011).

Válvulas direcionais, são válvulas as quais recebem movimentos externos para realizar alterações do sentido de fluxo de um fluido. A designação das válvulas direcionais se faz pelo número das conexões úteis e o número de posições e comutações, por exemplo uma válvula com 2 conexões úteis e 2 posições comutadoras é portanto designado como válvula direcional 2/2 vias (REXROTH, 2005).

Ainda segundo Rexroth (2005), as válvulas reguladoras de vazão possuem a função de reduzir o fluxo da bomba em uma linha do circuito. As válvulas controladoras de vazão são aplicadas em sistemas hidráulicos quando se deseja obter um controle de velocidade em determinados atuadores, o que é possível através da diminuição do fluxo que passa por um orifício, em válvulas reguladoras de vazão de 2 vias, esta equalização da vazão do sistema é alcançada com a instalação de um estrangulador ajustável mais um estrangulador móvel que trabalha como estrangulador regulador para equalizar a pressão, basicamente existem três tipos de possibilidades para montar uma válvula reguladora de vazão em: Regulação na entrada (comando primário); Regulação na saída (comando secundário); e Regulação na entrada em derivação (By-pass)

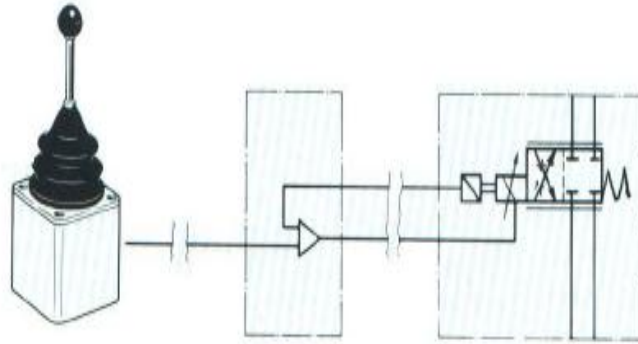
Para Negri (2001), de um modo geral as válvulas empregadas nos circuitos hidráulicos destinam-se a limitação e controle de vazão e pressão e ao direcionamento do fluido, sendo a sua denominação norteadada pela função específica que desempenha no circuito. Assim, tem-se as válvulas de alívio, de sequência direcionais, reguladora de vazão, de retenção, dentre muitas outras. Dentre estas, as servo válvulas (SV) e válvulas direcionais proporcionais (VDP) são componentes considerados multifuncionais pois efetuam o direcionamento para pontos distintos do circuito e com controle de vazão. As válvulas proporcionais surgiram na década de 70 no âmbito de dois campos de aplicação distintos, dos equipamentos da linha móbil e dos industriais, tendo como proposito conseguir as mesmas características funcionais obtidas com as servo válvulas porém com características operacionais diferenciadas.

Ainda Negri (2001), comenta que as válvulas proporcionais surgiram nos Estados Unidos a partir da modificação das válvulas direcionais acionadas por alavancas tipicamente empregadas em equipamentos da linha móbil. O acionamento do carretel principal passou a ser realizado por um sinal hidráulico ou pneumático ou



por uma válvula piloto comandada por solenoide proporcional. Deste modo tornou-se possível atuar válvulas proporcionais com controle remoto conforme é ilustrado na figura 1.

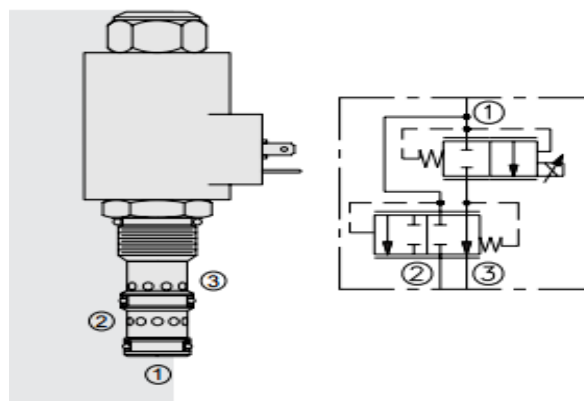
Figura 1: Controle remoto empregando válvulas proporcionais. Fonte: Negri (2001).



Segundo Hydraforce (2003), as válvulas reguladoras de vazão proporcionais são válvulas de êmbolo deslizante diretamente operadas ou pré-operadas, elas alteram continuamente uma secção transversal de estrangulamento sendo possível alterar a grandeza de saída da vazão no consumidor em função da corrente elétrica aplicada na bobina. Uma balança de pressão integrada faz com que as vazões sejam reguladas independente de pressão e viscosidade. Também são disponibilizadas válvulas proporcionais integradas com válvulas de desvio de fluxo pilotadas mecanicamente.

Ainda segundo Hydraforce (2003), isso ocorre com a queda ou o aumento de pressão em uma das linhas de atuação, estando a bobina da válvula proporcional com zero de corrente elétrica todo o fluxo do fluido vai livremente para a linha de retorno do reservatório. Na figura 2 é possível verificar o funcionamento de uma válvula proporcional integrada com válvula de desvio de fluxo.

Figura 2: Desenho e diagrama da válvula PV72-30. Fonte: Hydraforce (2003)



### 2.1.5 Reservatório Hidráulico

As funções exercidas por um reservatório são basicamente de: armazenar, resfriar o fluido por condução e convecção. Um projetista depara-se com duas situações para resolver, o volume mínimo necessário de fluido e a mínima superfície para realizar as trocas térmicas (FIALHO 2011).

Para Racine (1979), a função principal de um reservatório hidráulico é servir de depósito para armazenar o fluido a ser utilizado no sistema. O reservatório deve ser dimensionado para que não sobre e também não falte fluido quando o sistema estiver em funcionamento. Outras funções importantes são, a ajuda que ele fornece ao sistema no resfriamento do fluido, sendo o fluido o principal meio de transporte de calor do sistema hidráulico, e também na precipitação das impurezas no fundo do reservatório.

## 2.2 SISTEMA ELETRÔNICO

Segundo Mehl (N/D), em 1975 começaram a surgir as PCIs (placas de circuito impresso) com uma nova classe de componentes, chamados SMD (dispositivos para montagem em superfície). Na montagem de placas com SMDs, geralmente são usadas máquinas automáticas conhecidas como *Pick & Place* (Os componentes são fornecidos pelos fabricantes afixados em rolos).

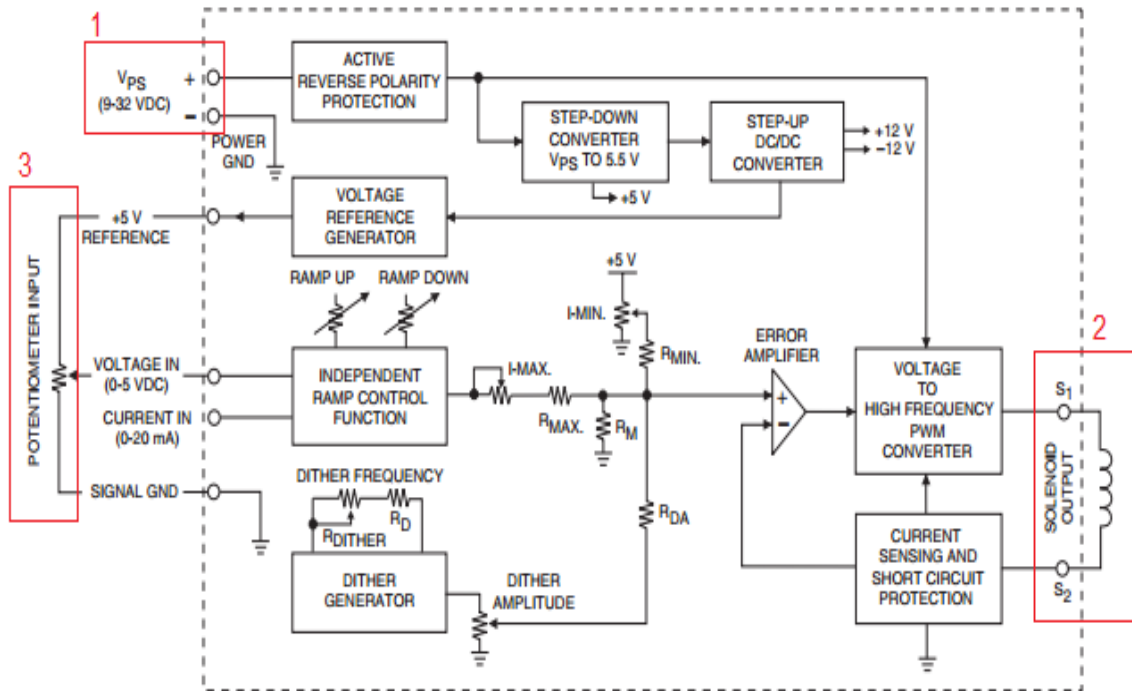
Ainda segundo Mehl (N/D), um sistema robotizado coloca os componentes de forma muito precisa nos pontos corretos na placa, aplicando a eles uma pequena gota de cola. Nos circuitos de maior complexidade, os SMDs podem ser aplicados em ambas as faces da placa.

Depois da colagem dos componentes na placa, segue-se um processo de soldagem feito pela rápida imersão da placa em um banho da liga de solda em estado de fusão, ou seja, todos os componentes de tecnologia SMD são soldados nesse processo e, posteriormente, componentes de maiores dimensões são soldados com técnicas tradicionais (MEHL N/D).

Para Hydraforce (2003), as placas desenvolvidas para o circuito de um controlador eletrônico, são capazes de processar as informações do potenciômetro e repassar esta informação para a bobina da válvula proporcional de forma harmoniosa e constante proporcionando uma rampa uniforme de 0 a 12V.

O diagrama eletrônico da placa controladora é representada na figura 3 e a placa eletrônica na figura 4.

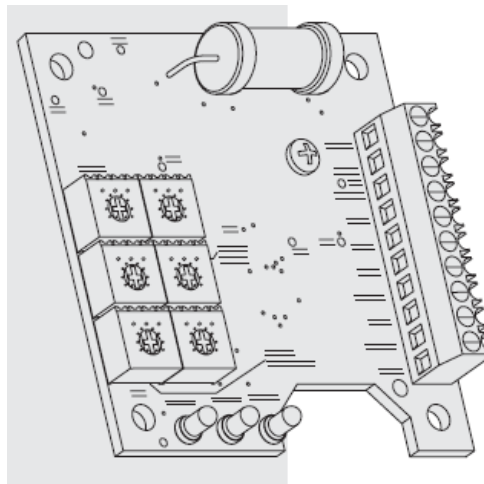
Figura 3: Circuito eletrônico de uma placa controladora. Fonte: Hydraforce (2003)



Verificando os pontos demarcados no circuito acima temos:

- 1) Alimentação 12V do controlador.
- 2) Saída da voltagem para a bobina da válvula proporcional.
- 3) Interface de alimentação e retorno do potenciômetro.

Figura 4: Placa controladora para válvulas proporcionais. Fonte: Hydraforce (2003)



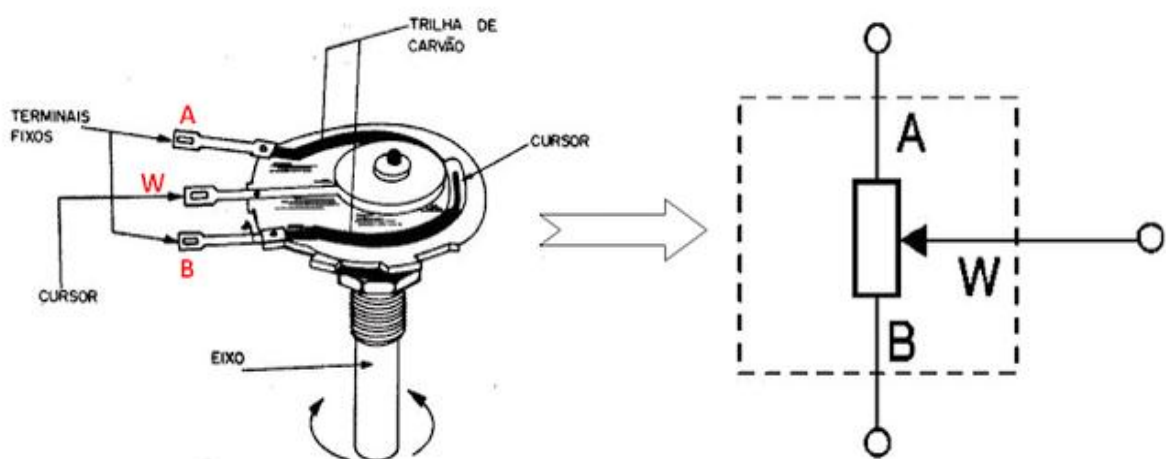
### 2.2.1 Potenciômetros

Segundo Braga (N/D), um potenciômetro é um componente eletrônico que possui resistência elétrica ajustável. A figura 5 ilustra um dos potenciômetros mais encontrados, os quais são resistores de três terminais onde a conexão central é deslizante e manipulável, quando todos os três terminais são usados, o potenciômetro atuará como um divisor de tensão. Existem comercialmente potenciômetros com giro de 270 graus e outros de maior precisão chamados multipontas, que na grande maioria são confeccionados com substrato em fio e carvão condutivo, dependendo da corrente elétrica que irá circular no mesmo.

A curva de resposta do potenciômetro em relação ao ângulo de giro do eixo depende dos tipos de potenciômetro, dentre os quais os mais comuns são os lineares (sufixo B ao final do código) e os logarítmicos (sufixo A ao final do código comercial), sendo que existem outros tipos com construção especial (BRAGA, N/D).

Ainda segundo Braga (N/D), os potenciômetros lineares possuem curva de variação de resistência constante, em relação ao ângulo de giro do eixo. Os potenciômetros logarítmicos, por sua vez, apresentam uma variação de resistência ao ângulo de giro do eixo mais adaptada à curva de resposta de audibilidade do ouvido humano. Considerando um aparelho de som, os potenciômetros lineares são recomendados para uso em controle de tonalidade (graves, médios e agudos) já os logarítmicos são mais recomendados para controles de volume.

Figura 5: Potenciômetro e circuito equivalente. Fonte:eletronicaemcasa.blogspot.com.br,2013



### 2.3 COMPETIÇÃO BAJA SAE

O motor oficial utilizado na competição Baja SAE é da marca Briggs e Stratton de 4 tempos, mono cilíndrico de combustão interna, com injeção de gasolina por carburação, este motor é o motor estabelecido no regulamento da competição Baja, o qual não deve sofrer nenhuma alteração (BAJA SAE, 2015).

Ao verificar as especificações de torque e potência deste motor temos o melhor torque de 18,6 N.m quando o motor estiver a 2600 rpm, e a melhor potência de 10 HP quando o moto estiver a 4000 rpm, estes dados podem ser observado nas figuras abaixo 6 e 7 (SOUSA, 1999).

Figura 6: Curva de torque do motor Briggs & Stratton 10 HP. Fonte: Sousa 1999.

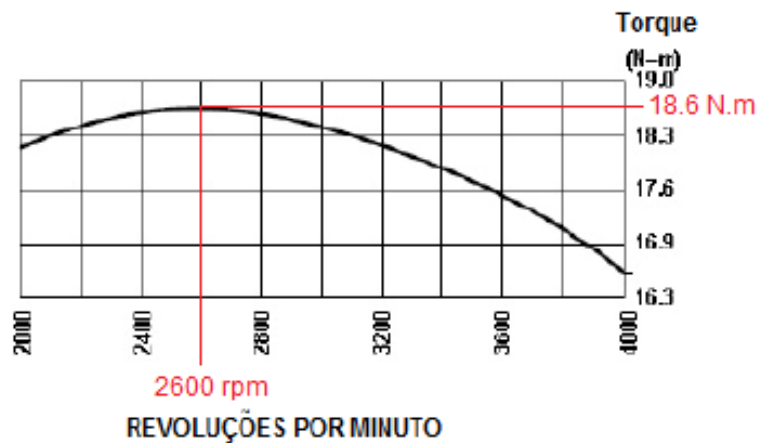
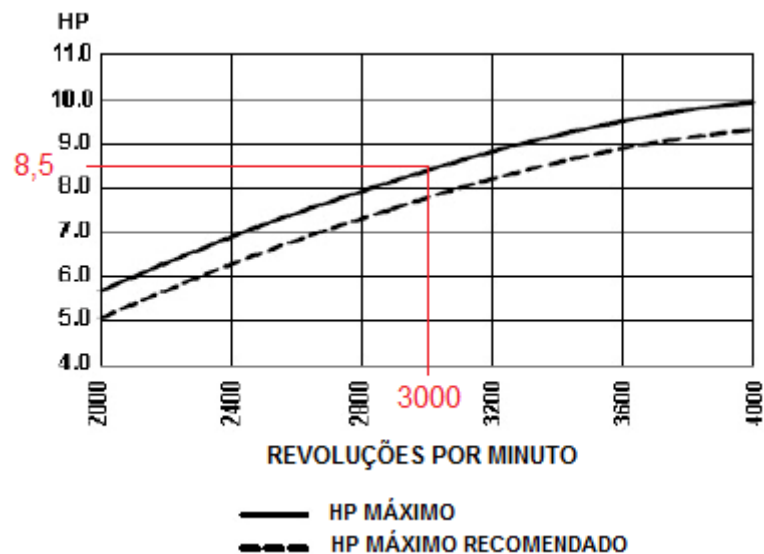


Figura 7: Curva de potência do motor Briggs & Stratton 10 HP. Fonte: Sousa 1999.



Ainda Baja SAE (2015), os acadêmicos que participam do Projeto Baja SAE devem formar equipes que representarão a Instituição de Ensino Superior a qual estão ligados. As equipes com seu veículos são desafiadas anualmente a participar da Competição Baja SAE, evento que reúne os acadêmicos e promove a avaliação comparativa dos veículos off-road entre resistência mecânica, força de tração, frenagem e os processos utilizados para o desenvolvimento do projeto, cada avaliação possui um determinado valor as quais são somadas no final da competição elegendo a equipe campeã. No Brasil a competição nacional recebe o nome de Competição Baja SAE Brasil.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Neste trabalho desenvolveu-se uma transmissão hidráulica com acionamento eletrônico utilizando bomba e motor de engrenagens, válvula proporcional com variação da tensão através de um potenciômetro, sendo que para isso foi definido o seguinte passos:

1. Revisão da literatura pertinente;
2. Dimensionamento da bomba e seleção dos componentes hidráulicos;
3. Seleção dos componentes eletrônicos;
4. Montagem dos componentes em bancada;
5. Análise dos testes de bancada e melhorias necessárias;
6. Montagem final no chassi do Baja;
7. Análise final dos resultados obtidos;

#### 3.2 COMPONENTES HIDRÁULICOS

Os dados e recomendações iniciais para a seleção dos componentes hidráulicos foram:

- Utilizar itens nacionais, pois é mais fácil adquirir os componentes e também torna-se possível conseguir patrocínio atendendo uma das regras da competição SAE.
- Baseando-se nas competições ocorridas no Brasil em 2013 e nos dados oficiais divulgados em Baja SAE Brasil Petrobras 2013- Velocidade Máxima, onde entre todos os competidores a máxima velocidade foi 54 km/h e a mínima foi 36,9 km/h, utilizando estes dados adotou-se a velocidade final de 45 km/h para este trabalho. Também foi estimado o peso do carro em 230 kg e do piloto em 70 kg.
- Deve-se utilizar um coeficiente de atrito de  $0,55 \mu$  para aplicação em estrada com terra molhada.
- O diâmetro da roda adotado foi de 21 polegada, o qual é especificado pelo regulamento Baja SAE.

Analisando o portfólio de motores hidráulicos de engrenagens da Eaton buscou-se um motor de tamanho médio (menor peso), com 4 pontos de fixação, eixo do motor com chaveta para movimentar o cubo da roda traseira. Após uma análise aprimorada

foi optado pelo motor Eaton 101-2533-009 de 74 cm<sup>3</sup>/rev, sendo um item utilizado na linha móbil em equipamentos off-road garantindo uma boa vedação contra poeira e barro.

A escolha da bomba hidráulica está voltada ao deslocamento volumétrico necessário para atingir a rotação desejada no eixo do motor hidráulico.

Considerando que a velocidade esperada para o veículo off-road é de 45 km/h e a roda possui um raio de 0,266m e baseando-se nos gráficos do motor a combustão na Figura 6 e 7, encontra-se uma rotação de 3000 rpm para a bomba com um torque de 18,4 N.m e uma potência de 8,5 HP do motor a combustão.

Convertendo o valor de 45 km/h para m/min temos 750 m/min.

Aplicando a equação (01), obtemos um resultado de 447,79 rpm.

Utilizando a rotação esperada nos motores de 447,79 rpm pode-se calcular a vazão necessária para a bomba mover dois motores hidráulicos para esta rotação.

Aplicando a equação (02), obtemos um resultado de 33,13 l/min.

Multiplicando o valor obtido de 33,13 por 2 motores hidráulicos, ligados em paralelo tem-se 66,26 l/min, sendo a vazão necessária para mover os dois motores hidráulicos a 447,79 rpm.

A maioria dos fornecedores incluindo a Eaton, fornecedor alvo do trabalho, fornecem em suas tabelas comerciais o deslocamento volumétrico em (cm<sup>3</sup>/rev). Utilizando a rotação e a vazão da bomba já calculados, encontra-se um deslocamento de 22,08 cm<sup>3</sup>/rev.

Analisando-se o catálogo do fornecedor Eaton para a série de bomba de engrenagem, tem-se a Tabela 1, com as opções de bombas hidráulicas. Por aproximação foi optando por uma bomba de 22,5 cm<sup>3</sup>/rev.

Tabela 1 - Opções de bombas hidráulicas catálogo Eaton

Displacement cm <sup>3</sup> /r [in <sup>3</sup> /r]	22,5 [1.37]	24,3 [1.48]	25,2 [1.54]	27,7 [1.69]	29,0 [1.77]	30,6 [1.87]
Max. Intermittent Pressure bar [PSI]	241 [3500]	241 [3500]	241 [3500]	241 [3500]	234 [3400]	224 [3250]
Rated Speed (RPM)	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Minimum Output Flow at 207 bar [3000 PSI] and Rated Speed LPM [GPM]	62,1 [16.4]	67,0 [17.7]	69,7 [18.4]	76,5 [20.2]	79,9 [21.1]	84,4 [22.3]
Input Power at 207 bar [3000 PSI] and Rated Speed and Cont. Pressure kW [HP]	27,3 [36.6]	30,5 [40.9]	31,0 [41.6]	33,4 [44.8]	35,4 [47.4]	37,4 [50.1]

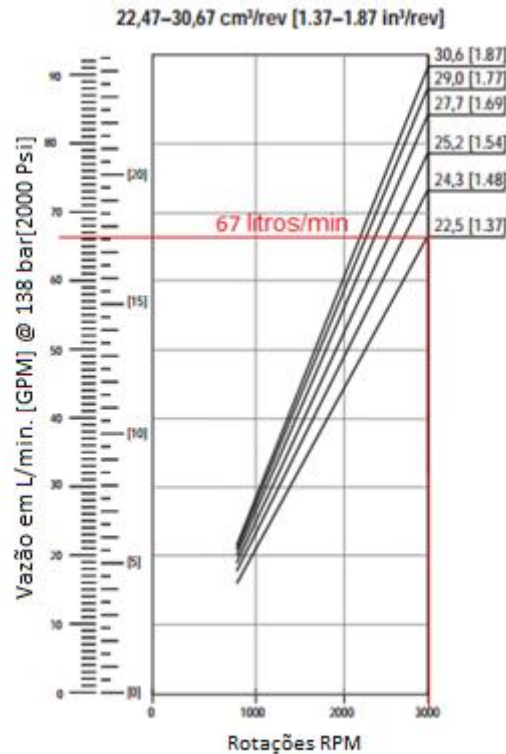
The performance data in the table above and the following graphs was collected using a mineral base oil with a viscosity of 133 SUS at 49°C [120°F].

Fonte: Catálogo Eaton bomba série 26, 2012



A Figura 8 correlaciona o deslocamento volumétrico com a velocidade do eixo da bomba e a vazão em l/min.

Figura 8: Gráfico vazão l/min. Fonte: Catálogo Eaton bomba serie 26, 2012



A válvula proporcional para este sistema deve suportar uma vazão de 67 l/min. Para facilitar a movimentação do sistema quando em neutro, utiliza-se uma válvula de *by-pass* (válvula hidráulica livre a tanque pilotada mecanicamente para criar pressão no sistema somente quando necessário) associada a válvula proporcional e uma válvula de alívio para segurança do sistema.

No catálogo da Hydraforce, encontra-se a válvula PV72-30. Esta válvula trabalha com 12v, sistema eletrônico PWM (*pulse width modulation*, modulação por largura de pulso) e suporta uma vazão de até 76 l/min. Também, esta válvula possui duas funções a de uma válvula proporcional e também uma válvula de *by-pass*.

A válvula de alívio do sistema foi regulada em 60 bar. Esta pressão foi estipulada com base no cálculo de consumo de potência:  $HP = \frac{P L}{456}$ , Sendo:

- HP*– Potência consumida no motor a combustão [HP];
- P*– Regulagem da pressão da válvula de alívio [bar];
- L*– Vazão da bomba hidráulica [l/min].

Utilizando a pressão regulada de 60 bar e a vazão de 67 l/min terem-se uma potência consumida de 8,8 HP, ficando uma potência reserva para o motor a combustão não apagar (desligar) quando o sistema atingir a abertura da válvula de alívio.

### 3.3 COMPONENTES ELETRÔNICOS

O controle da válvula proporcional deve ser realizado através de um sistema eletrônico PWM (*pulse width modulation*, modulação por largura de pulso), por isso foi necessário utilizar uma placa controladora *PCB Only*, comandada por um potenciômetro acoplado ao acelerador do carro. Com esta combinação foi possível construir a transmissão hidráulica acionada por um acelerador eletrônico.

A placa controladora foi ligada em uma fonte de potência de 12v sendo que esta recebe as informações de tensão do potenciômetro e transfere uma tensão de 0 a 12v para a bobina da válvula proporcional.

Para realizar a variação da tensão é necessário adicionar um potenciômetro ao circuito o qual deve-se fixar junto ao pedal do acelerador do veículo recebendo a variação angular do acelerador conforme necessidade para o deslocamento do veículo.

O potenciômetro utilizado para este trabalho é de três vias de comunicação A, B e C, tensão de trabalho de 5v, corrente contínua, ângulo de giro de atuação elétrica de 0 até 62 graus e possui uma linearidade de  $\pm 2\%$ . Sendo o mesmo resistente a trabalhos em situações críticas, o que atende a aplicação para um veículo off road.

### 3.4 BANCADA HIDRÁULICA

O sistema foi montado primeiramente em uma bancada hidráulica, tendo como principal objetivo analisar a performance do sistema para posterior montagem no chassi de um protótipo off road.

Para o desenvolvimento estrutural da bancada foram utilizado recursos próprios ou existentes na própria faculdade, sendo que toda a bancada foi desenvolvida no centro de laboratórios da FAHOR no box da equipe do Hidro Baja.

Os testes realizados em bancada, a qual pode ser visualizada na Figura 9 e 10, contribuíram para verificar a perda de carga do sistema a qual foi de 28 bar, a eficiência de utilizar vedação *face seal* (anéis de vedação na face) na junção de mangueiras e conexões, onde não foi possível visualizar nenhum vazamento de fluido, a performance do acoplamento entre a bomba e o motor, a funcionalidade do sistema como um todo e o principal, demonstrar que a transmissão hidráulica com acelerador eletrônico funciona.

Figura 9: Componentes da bancada válvula: motores e reservatório.

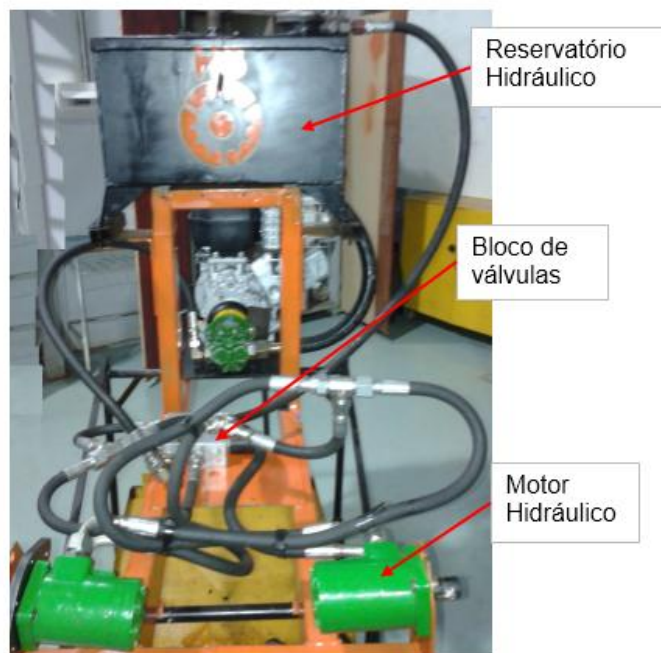
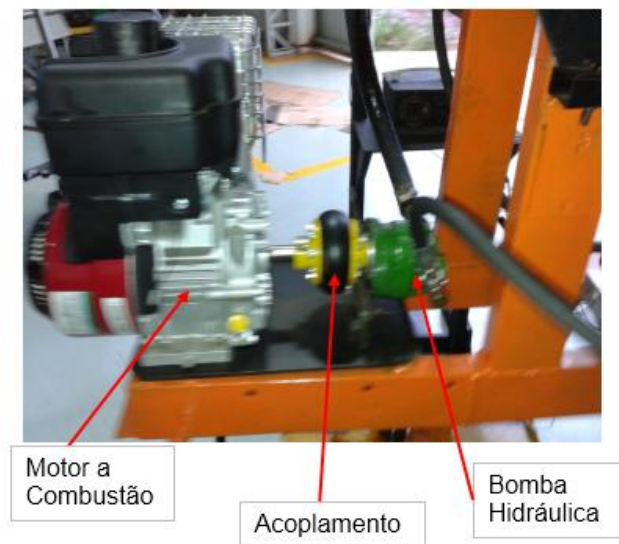


Figura 10: Componentes da bancada bomba, acoplamento e motor



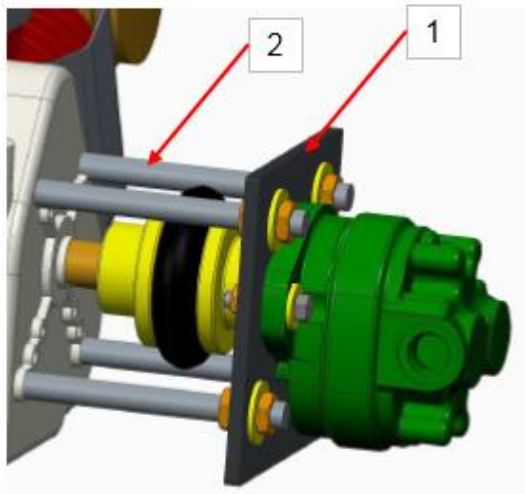
### 3.5 MONTAGEM DA TRANSMISSÃO NO CHASSI DO BAJA

Antes de repassar toda a transmissão hidráulica para o chassi do baja, foram realizadas melhorias de problemas identificados em bancada como:

- Foi redesenhado o acoplamento da bomba hidráulica com o motor a combustão sendo que a transmissão da potência do motor de combustão foi realizada através de um acoplamento flexível, o qual apresenta grandes benefícios de absorção de desalinhamentos, choques mecânicos, redução de vibrações e ruídos, atendendo as especificações do projeto.

- Para eliminar problemas de concentricidade e a maleabilidade do sistema da bomba hidráulica quando em trabalho, foi utilizado uma lona de borracha Figura 11, item 1, com tramas de nylon em quatro tirantes Figura 11, item 2, fixos a carcaça do motor, e a bomba hidráulica fixada diretamente na lona de borracha, assim deixando o sistema flexível para se ajustar de acordo com a carga de trabalho.

Figura 11: Acoplamento da bomba hidráulica

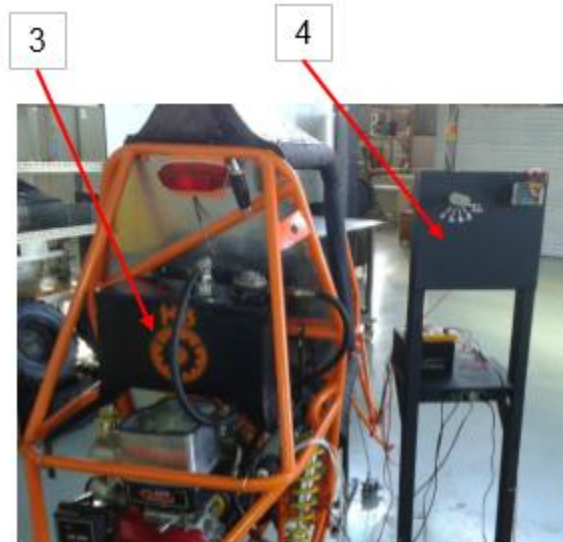


Também foi necessário dividir a linha de retorno, deixando uma linha somente para o retorno da válvula e outra para o retorno dos motores hidráulicos. Esta alteração é necessária para diminuir a perda de carga do sistema que apresentou 28 bar nos testes de bancada.

Após as alterações realizadas virtualmente, foram colocadas em prática na montagem da transmissão hidráulica no chassi do Hidro Baja Figura 12, item 3. Em

seguida foi trabalhado na confecção do painel de instrumentação Figura 12, item 4 e definição dos pontos a serem avaliados.

Figura 12: Painel de controle e montagem do sistema



### 3.6 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS

Os instrumentos utilizados para o monitoramento do sistema de transmissão são mostrados na figura 13, onde:

- Item 1, Controlador de temperatura digital TIC – 17 RGTi, é um termostato digital de fácil ajuste e instalação, temperatura de Controle: - 50 a 105 °C, com uma resolução: 0,1 °C (entre -10 e 100 °C) e 1°C no restante da faixa;

Figura 13: Instrumentos utilizados



- Item 2, cronômetro digital utilizado para controlar o tempo de funcionamento do sistema e realizar as trocas da tensão no potenciômetro;
- Item 3, multímetro digital DT830B. O multímetro digital permite rapidez e eficiência nas amostras coletadas, possui a característica de medir tensão AC, tensão DC, corrente e resistência elétrica;
- Item 4, manômetro digital STAUFF PPC-04/2, o qual é um medidor móvel de fácil operação controlado apenas por 8 botões e permite conectar até 2 sensores. Os dados coletados são mostrados no display de duas linhas sob forma digital, faz a leitura da pressão em duas unidades de medida diferente em bar ou PSI, taxa de leitura  $\leq 2$  ms e uma precisão  $< 0,3\%$  com fundo de escala  $\pm 2$  dígitos;
- Item 5, tacômetro digital duplo contato/ótico TC-5030, funções: rpm ótico/contato e velocidade linear, memorização do valor máximo, mínimo e da última leitura e uma taxa de amostragem de duas vezes por segundo (acima de 120 rpm).

Para monitorar o comportamento da transmissão hidráulica foi elaborada a Tabela 2, com todas as informações e condições em que o sistema está exposto, foram realizadas duas coletas de dados no período de uma semana, ocorrendo uma pequena variação da temperatura ambiente, o sistema ficou funcionando continuamente por 30 minutos variando somente a tensão do potenciômetro simulando um acelerador eletrônico.

Tabela 2 - Tabela para coleta de dados

Volume Reservatório	20L			
Vazão da Bomba Hidráulica	67 L/min a 3000 rpm			
Temperatura Ambiente	20 Graus			
Rotação do Motor (rpm)	3000			
Rotação da Bomba Hidráulica (rpm)	3000			
Tensão (V) válvula proporcional	Rotação (rpm) no eixo do motor hidráulico	Tempo (minutos) sistema acionado	Temperatura (C°) do óleo hidráulico no reservatório	Pressão da válvula de alívio
0		6		
3		12		
6		18		
9		24		
12		30		

O reservatório possui uma capacidade de 20 L, aproximadamente um terço da vazão da bomba hidráulica. Este volume foi definido como um volume ideal para o



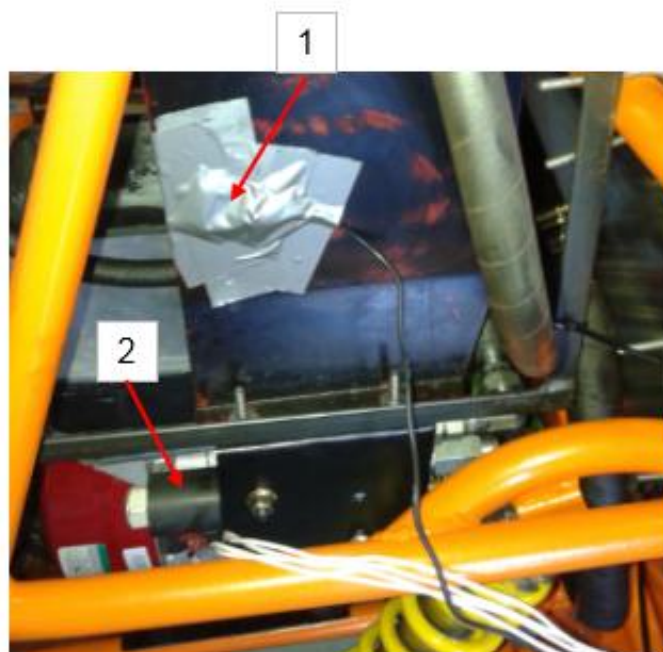
início deste trabalho, baseando-se na necessidade de reduzir ao máximo o peso final do carro off-road, e que o sistema hidráulico elaborado não é para um sistema estacionário o qual terá uma boa troca térmica com o ambiente quando o carro estiver em movimento.

A rotação do motor foi fixada em 3000 rpm durante todo o tempo de testes para avaliar somente a variação do acelerador eletrônico, estando a rotação do motor em 3000 rpm, conseqüentemente, a bomba hidráulica também está com 3000 rpm gerando uma vazão teórica máxima de 67 l/min para o funcionamento da transmissão hidráulica.

A coleta da temperatura do sistema hidráulico foi monitorada no reservatório hidráulico, sendo este o elemento do sistema responsável por receber o calor gerado pelo trabalho, através do fluido e realizar a troca térmica com o ambiente. O sensor do controlador de temperatura foi fixado na lateral externa e no meio do reservatório obtendo a melhor condição da mistura do fluido que ocorre dentro do reservatório.

Para eliminar a influência da temperatura externa na leitura do sensor foi criado uma proteção externa, conforme pode-se visualizar na Figura 14, item 1.

Figura 14: Pontos onde foram medidos a temperatura e a tensão



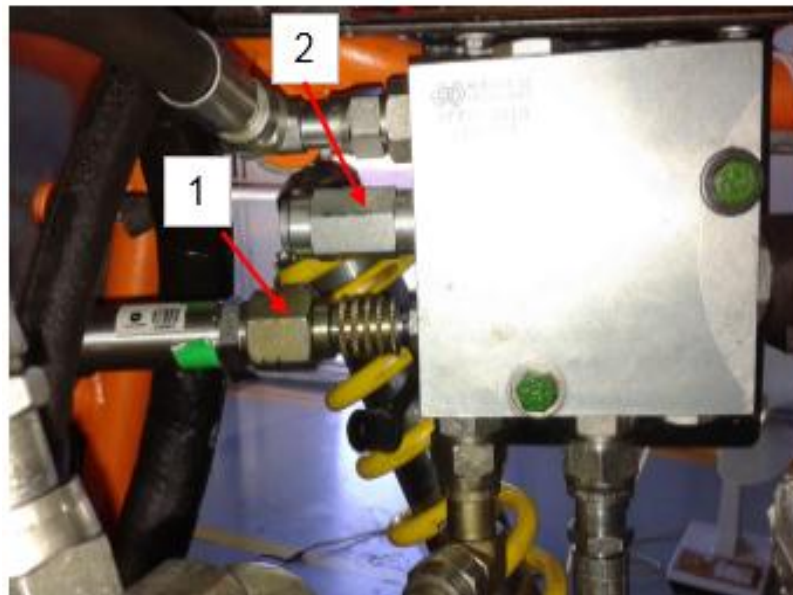
Para monitorar a tensão enviada do potenciômetro para a bobina da válvula proporcional, Figura 14 item 2, foi adicionada uma ligação em paralelo aos fios de

entrada da bobina e ligado aos terminais do multímetro, sendo possível verificar a correta tensão transmitida do potenciômetro para a bobina.

A pressão do sistema foi monitorada para verificar a perda de carga inicial da transmissão hidráulica. Isso é possível quando a tensão na bobina é zero e a válvula *by-pass* está direcionando toda a vazão gerada pela bomba hidráulica a tanque (reservatório). O sensor de pressão do manômetro foi acoplado no *plug* (engate rápido padrão) já existente na válvula hidráulica da Figura 15, item 1, na linha hidráulica, a qual o *plug* está conectado é possível medir a perda de carga do sistema e a variação da pressão em correlação a variação de vazão aplicada nos motores hidráulicos.

Para regular a válvula de alívio em 60 bar da Figura 15, item 2, foi travado os motores hidráulicos e com o motor a combustão ligado foi ajustado a pressão de abertura da válvula de alívio, ou seja, foi regulada a força contrária que a mola exerce para a abertura da válvula de alívio que atua com o aumento da pressão na linha oposta. O monitoramento desta pressão foi realizada com o manômetro acoplado ao *plug* de pressão do bloco de válvulas.

Figura 15: Sensor de pressão e válvula de alívio

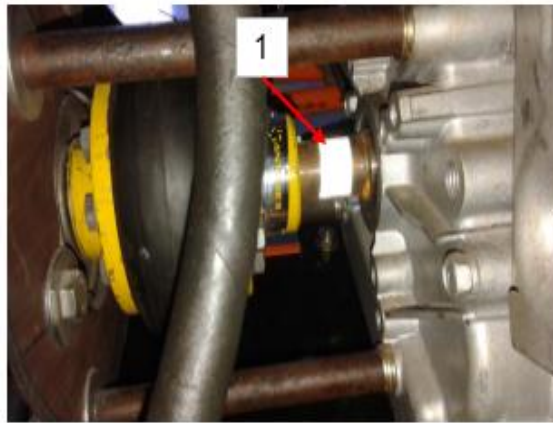


Toda a análise dos dados foi realizada com a rotação do motor a combustão fixa em 3000 rpm, o acelerador do motor foi travado nesta posição, permanecendo durante todo o ciclo de testes sem alteração, para regular esta rotação foi adicionada uma fita refletiva no eixo do motor e com o motor ligado foi monitorada a rotação do



eixo com o tacômetro digital utilizando a função de leitura ótica, Figura 16, item 1, é possível verificar a fita adesiva refletora.

Figura 16: Fita refletora no eixo do motor

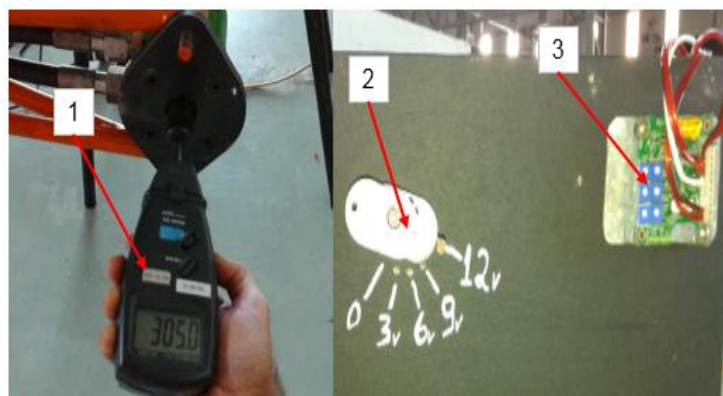


A cada variação da tensão executada no potenciômetro resulta na variação da rotação no eixo do motor hidráulico, esta variação foi medida com o tacômetro digital utilizando a ponteira com contato físico Figura 17, item 1.

O sistema eletrônico utiliza uma fonte de 12v, por esta razão a tensão no potenciômetro foi definida para ser intercalada de 3 em 3 volts e permanecer fixa por 6 minutos, permitindo coletar os dados com maior veracidade, conforme demonstrado na Figura 17, item 2.

Na figura 17, item 3, é a placa eletrônica PWM (*pulse width modulation*, modulação por largura de pulso), a placa controladora *PCB Only* processa a tensão recebida do potenciômetro e envia a tensão em forma modulada de pulsos para a bobina, com isso é possível variar e manter a vazão de acordo com a abertura desejada na válvula proporcional.

Figura 17: Tacômetro, potenciômetro e placa eletrônica



Foi necessário elaborar um dispositivo para fixar a tensão no potenciômetro e permanecer com esta por 6 minutos, enquanto era monitorada a variação da pressão no sistema, a variação da temperatura no reservatório ao final de cada ciclo de 6 minutos e a rotação no eixo do motor hidráulico correlacionada a tensão fixada no potenciômetro.

Estando todos os instrumentos de acordo com o desejado, componentes hidráulicos, mecânicos e motor a combustão revisados em perfeitas condições de uso, iniciou-se a coleta de dados.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram realizadas duas coletas de dados em dias diferentes na mesma semana, onde confrontando os resultados obtidos nas duas coletas, somente se teve variação na temperatura ambiente de 20 e 22 graus. Esta diferença de temperatura não teve interferência nos dados coletados, pois ao final de 6 minutos a temperatura no reservatório estava em 35 graus. Os demais dados permaneceram similares comprovando a veracidade das medidas coletadas.

Para obter a máxima rotação dos motores e comparar os dados coletados com o acelerador eletrônico, primeiramente com o motor a combustão ligado e em 3000 rpm, foi fornecida uma tensão de 12v diretamente na bobina da válvula proporcional e medido a rotação do motor hidráulico resultando em uma rotação máxima de 390 rpm.

A Tabela 3 mostra o resultado final, com todas as informações registradas do comportamento prático da transmissão hidráulica com aceleração eletrônica, onde adotando-se o valor médio dos valores das duas coletas de dados realizadas.

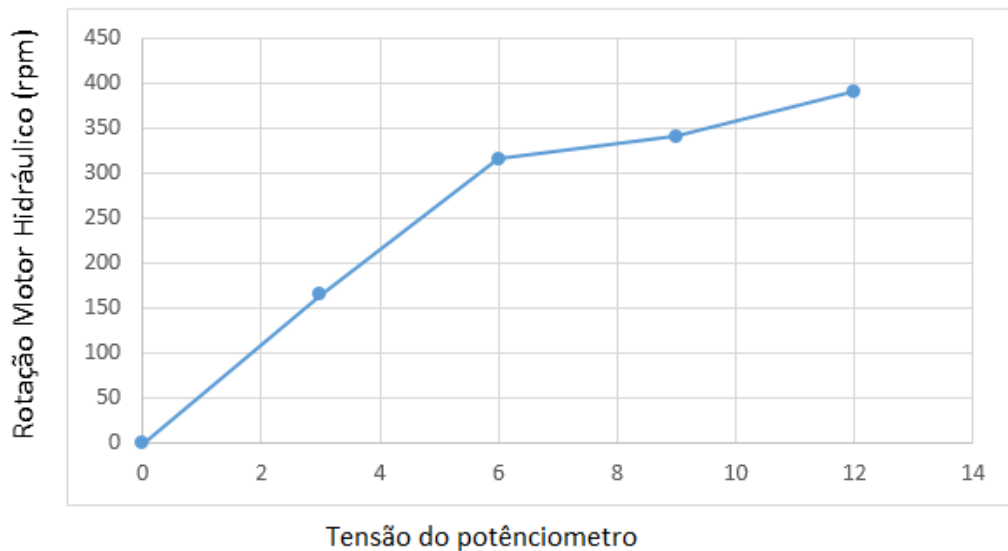
Tabela 3 - Resultado final dos dados coletados

Volume Reservatório	20L			
Vazão da Bomba Hidráulica	67 L/min a 3000 rpm			
Temperatura Ambiente	22 Graus			
Rotação do Motor (rpm)	3000			
Rotação da Bomba Hidráulica (rpm)	3000			
Tensão (V) Válvula Proporcional	Rotação (rpm) no Eixo do Motor Hidráulico	Tempo (minutos) Sistema Acionado	Temperatura (C°) do óleo Hidráulico no reservatório	Pressão (bar) da Válvula de Alívio
0	0	6	35	20
3	165	12	55	23
6	316	18	63	25
9	340	24	78	28
12	390	30	90	28

Após agrupou-se os dados em uma única tabela, onde é possível separar os mesmos por assunto correlacionados. Observa-se que o acelerador realiza uma maior variação de rotação nos motores hidráulicos na faixa de tensão partindo de zero a 6 volts e uma menor variação de 6 a 12 volts. A transmissão hidráulica atinge uma rotação máxima de 390 rpm no momento em que o potenciômetro está enviando uma

tensão de 12V para a bobina da válvula solenoide. Para uma melhor interpretação adotou-se a análise através de gráficos, na Figura 18 foi analisado a variação do potenciômetro com a rotação no eixo do motor hidráulico.

Figura 18: Gráfico da tensão em função da rotação do motor hidráulico.



Comparando o resultado da rotação final dos motores hidráulicos entre o cálculo teórico 447,49 rpm e a coleta prática 390 rpm, que resulta em uma velocidade final de 39,2 km/h, tem-se uma perda de aproximadamente 57 rpm. Esta diferença deve ser atribuída ao sistema hidráulico e não para a abertura total da válvula proporcional.

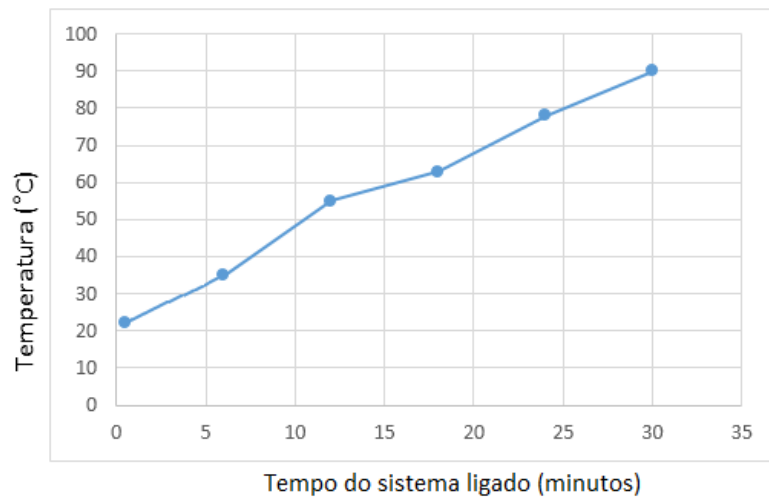
A variação inicial e final do gráfico observada se deve ao comportamento do sistema hidráulico estar trabalhando livre, sem carga, e também pelo próprio balanceamento da perda de carga entre os dois motores ligados em paralelo.

A próxima correlação é a do tempo de funcionamento da transmissão hidráulica e a temperatura do fluido no reservatório hidráulico, ressaltando que o veículo estava estático, ou seja, não tinha circulação de ar para melhorar a troca térmica. O aumento da temperatura é proporcional ao tempo de funcionamento da transmissão hidráulica.

Os dois testes realizados foi com um tempo de 30 minutos em que o sistema hidráulico permaneceu em funcionamento constante, no segundo teste ao final dos 30 minutos a temperatura chegou a 90 °C. A temperatura está muito próxima do pico da condição máxima que pode ser de 95°C, não sendo a temperatura recomendada para o funcionamento normal de um fluido hidráulico.

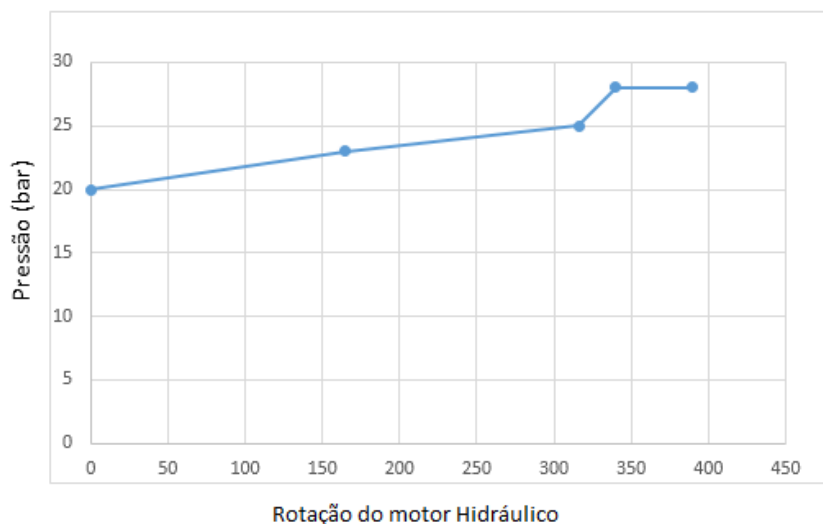
O gráfico da Figura 19 nos mostra a evolução da temperatura em função do tempo em que o sistema ficou em funcionamento. Devido ao óleo atingir 90°C em 30 minutos de funcionamento se faz necessário, avaliar futuramente o carro off-road em movimento e com carga nos motores hidráulicos em um determinado tempo de trabalho. Após esta coleta é possível analisar se é necessário aletar o reservatório hidráulico ou adicionar um trocador de calor no sistema.

Figura 19: Gráfico temperatura em função do tempo



Analisando-se o gráfico da pressão da válvula de alívio comparada com a rotação do motor hidráulico, Figura 20, percebe-se que a pressão de perda de carga do sistema é de 20 bar, enquanto que nos testes em bancada era de 28 bar portanto, foram reduzidos 8 bar com a separação das linha de retorno.

Figura 20: Gráfico da pressão em função da variação da rotação



Também é possível analisar que até a rotação de 320 rpm a pressão é linear, chegando em 25 bar, após observa-se um pequeno aumento e estabilizou em 28 bar quando operando na vazão máxima da bomba e máxima rotação do motor hidráulico. Relembrando que todo este teste foi realizado sem carga e somente variando a vazão distribuída para os motores hidráulicos havendo uma variação total de 8 bar, partindo da vazão zero até a vazão máxima de 67 l/min.

Para obter o torque teórico é necessário multiplicar o deslocamento volumétrico do motor  $74 \text{ cm}^3/\text{rev}$  pela pressão da válvula de alívio que está regulada em 60 bar e dividir por 628, onde tem-se um torque de 7,07 kgf.m ou 69,36 N.m no eixo de cada motor hidráulico, ou seja, multiplicando por 2 motores tem-se um torque final de aproximadamente 140 N.m, sendo que o motor a combustão em sua melhor rotação 2600rpm fornece um torque de apenas 18,6 N.m.

Os gráficos da pressão e da rotação não tiveram uma tendência linear conforme o esperado, quando tem-se elementos hidráulicos livres, sem carga, o comportamento do sistema é bastante instável, pois sempre o fluido tende a desviar para o caminho mais fácil, gerando variações mais bruscas em determinados momentos, estas influenciadas por perdas de carga na válvula proporcional e linha de retorno dos motores hidráulicos.

## 5 CONCLUSÕES

Ao final desse trabalho no qual buscou-se seguir todos os passos necessários para alcançar o objetivo de utilizar componentes já existentes no mercado agrícola, para dimensionar uma transmissão hidráulica com aceleração eletrônica em um veículo off-road, partindo-se de um motor hidráulico proposto e uma velocidade final do veículo, foi possível dimensionar a bomba hidráulica, a válvula proporcional e o sistema eletrônico do acelerador para a montagem da transmissão hidráulica.

Trabalhando no desenvolvimento da transmissão e do acelerador eletrônico, percebe-se a importância da organização por etapas dos assuntos abordados, desde a revisão da literatura, em seguida, os cálculos dimensionais, a ideia de montar todo o sistema primeiramente em bancada para uma análise previa da transmissão, e com estes passos foi possível realizar melhorias antes de montar a transmissão no chassi do Hidro Baja e desta forma comprovar a funcionalidade do conceito proposto.

Com os resultados obtidos no monitoramento do sistema hidráulico e na performance do acelerador eletrônico é possível afirmar que:

- O acelerador eletrônico contempla a necessidade de variar a rotação no eixo do motor hidráulico de 0 a 390 rpm. Nos cálculos dimensionais do sistema foi obtido uma rotação final de 447,49 rpm, com esta diferença temos uma perda de aproximadamente 57 rpm, esta diferença é atribuída ao sistema hidráulico e não para a abertura total da válvula proporcional.

- A transmissão hidráulica acoplada ao comando hidráulico, o qual possui uma válvula *by-pass* integrada a uma válvula proporcional é eficaz para realizar o trabalho desejado permitindo ligar o motor estacionário de forma manual e o veículo off-road permanecendo estático, sendo que este irá movimentar-se somente quando acionado o acelerador eletrônico intencionalmente.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante os testes práticos foram identificados potenciais melhorias para o sistema da transmissão hidráulica:

- É possível melhorar a perda de carga no sistema de filtragem o qual ainda é alta, a alternativa é trabalhar no dimensionamento de um filtro de maior vazão e de mangueiras de retorno com maior diâmetro.

- Monitorar a temperatura do reservatório com o carro em movimento, se ainda a temperatura chegar no limite, é possível adicionar aletas ao reservatório hidráulico e desenvolver um fluxo de ar forçado para melhorar a troca de calor entre o reservatório e o ambiente quando o veículo estiver em movimento.

Também é necessário medir o torque real em cada motor de forma segura. Esta coleta de dados deve ser realizado quando os cubos traseiros estiverem montados e utilizar o auxílio do freio mecânico dianteiro.

Sendo necessário um maior torque na transmissão hidráulica, pode-se aumentar o deslocamento volumétrico do motor mas, irá reduzir a velocidade final do carro, sendo assim viável iniciar o deslocamento da transmissão com dois motores em paralelo, para depois comutar o sistema deixando a transmissão em série, ou seja, o motor a combustão é o limitante para a transmissão hidráulica.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAJA SAE. **Projeto Baja SAE, Programas estudantis, informações gerais e normas utilizadas para competição Baja.** Disponível em:

<[http://www.saebrasil.org.br/eventos/programas\\_estudantis/baja.aspx](http://www.saebrasil.org.br/eventos/programas_estudantis/baja.aspx)> Acesso em: 14 set. 2015

BRAGA, Instituto Newton C. Braga. **Como funcionam os potenciômetros.** Disponibilizado em:

<<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3379-art472>>

CLARKE, MODET & CIA. Ltda. **Sistema de transmissão hidráulica para veículos.** Nº

Patente: PI8404847-6, Dep. no INPI: 26/09/1984. Disponível em:

<<http://www.patentesonline.com.br/sistema-de-transmiss-o-hidr-ulica-para-ve-culo-89973.html#adsense1>>. Acesso em: 25 mar. 2015.

CRUZ, Antônio José R. S. **Apostila Automação Industrial Mecânica.** Escola Técnica Estadual República. Departamento De Mecânica - 2010.

EATON. **Catálogo técnico de bombas e motores de engrenagem, serie 26.** Disponível em:

<[http://www.eaton.com/ecm/groups/public/@pub/@eaton/@hyd/documents/content/pll\\_1372.pdf](http://www.eaton.com/ecm/groups/public/@pub/@eaton/@hyd/documents/content/pll_1372.pdf)> Acesso em 20 set. 2005.

MEHL. **Conceitos fundamentais sobre placas de circuito impresso.**

FIALHO, Arivelto B. **Automação Hidráulica.** Projetos, dimensionamentos e Análise de Circuitos. 6. ed. Revisada. Editora Érica. São Paulo, 2011.

HYDRAFORCE. **Catalog, Cartridge valves and electro-hydraulic control systems.** 2002/2003.

LINSINGEN, Irlan V. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos.** Ed. da UFSC. 2. ed. Revisada. Florianópolis, 2003.

MOBIL, óleo mineral **ISO 68 para sistemas hidráulicos.** Disponível em <[http://mobil.cosan.com/sites/default/files/mobil\\_hidraulico\\_68\\_pds\\_2011.pdf](http://mobil.cosan.com/sites/default/files/mobil_hidraulico_68_pds_2011.pdf)>

NEGRI, Victor J. De. **Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos para Automação e controle.** Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de engenharia. Escritório de direitos autorais – Nº registro: 328.561 – Livro: 602 – Folha: 221. Florianópolis, março de 2001.

NIEMANN, G. **Elementos de Máquinas.** 6. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002, vol. 2.

PALMIERI, Antônio C. **Manual de Hidráulica Básica. Racine Hidráulica.** 9. ed. Porto Alegre, 1994.

RACINE. **Manual de hidráulica básica,** 2. ed. Porto Alegre: 1979

REXROTH. **Hidráulica Básica. Bosch Rexroth AG.** Volume 1. Jundiaí, São Paulo: 2005.

SOUSA, H. E. A. de. **Projeto de uma caixa de redução fixa pra veículo mini baja do IFPB.** Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial – IFPB, João Pessoa, 1999.