

**DAVID ESTEBAN KOMMERS BARRIENTOS
MARCOS DE SALES OLIVEIRA**

VEÍCULO DE INSPEÇÃO INTERNA DE PÁS EÓLICAS

São Paulo

2007

**DAVID ESTEBAN KOMMERS BARRIENTOS
MARCOS DE SALES OLIVEIRA**

VEÍCULO DE INSPEÇÃO INTERNA DE PÁS EÓLICAS

Monografia de trabalho de formatura
apresentado á Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do diploma de Engenheiro Mecatrônico.

Área de Concentração: Engenharia
Mecânica Automação e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cezar Adamowski

**São Paulo
2007**

RESUMO

A inspeção interna da região de aplicação de adesivo em uma pá eólica tem restrições devido à redução do espaço disponível ao longo do comprimento da mesma. O objetivo deste trabalho é o projeto e construção de um veículo de dimensões reduzidas que execute a inspeção por meio visual, através de uma câmera. Um transmissor enviará o sinal UHF das imagens a uma televisão. O veículo, de controle remoto sem fio, se moverá por meio de micro motores DC, que acionarão uma esteira, de maneira a se locomover com facilidade na superfície irregular do interior da pá eólica. A iluminação será realizada por meio de LED's de alta potência.

Palavras-chave: Pás Eólicas, Robô de Inspeção, Transmissão de Dados via UHF.

ABSTRACT

The inspection of the adhesive application in a wind turbine blade is harmed by the internal restrict access. The objective of the present work is the design and construction of a vehicle with reduced size, and a camera for the visual inspection. An UHF signal generator send the visual signal to a TV. The wire without remote controlled vehicle moves by DC electric motors with a belt and pulley system, to surpass the obstacles in the blade. Using LEDs for illumination, the machine is made in aluminum and steel and has a prismatic format with rounded edges to not cause damages if it collides with the blade wall.

Keywords: Wind Turbine Blade, Inspection Robot, UHF data transmission.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Motivação	7
1.1.1	Energia Eólica	7
1.1.2	Potencial de Crescimento da Energia Eólica	8
1.2	Justificativa	9
1.3	Definição do problema	12
2	ESCOLHA DA SOLUCAO	14
2.1	Discussão de possíveis soluções	14
2.2	Definição da solução	17
3	PROJETO DO SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DO VEICULO	19
3.1	Escolha de componentes	19
3.2	Acionamento dos motores	22
	3.2.1 Controle Remoto	23
	3.2.2 Drive de Controle	24
	3.2.3 Programação do microcontrolador	27
	3.2.4 Drive de Potência	28
	3.2.4 Visão geral dos drivers	31
4	PROJETO DOS SISTEMAS DE TRANSMISSAO DE DADOS	32
4.1	Controle Remoto	32
4.2	Câmera de vídeo	32
4.3	Transmissão via UHF	32
5	PROJETO MECÂNICO	34
5.1	Escolha dos materiais	34
5.2	Projeto das peças mecânicas	41
	5.2.1 Suportes da câmera e do motor	41
	5.2.2 Eixos e Mancais	42
	5.2.3 Carenagem	43
	5.2.4 Chassi	44

	5.2.5	Polias e correias	44
6		ALIMENTACAO	45
	6.1	Tipos de baterias	45
	6.2	Características das baterias	46
	6.3	Escolha da bateria	51
	6.4	Dimensionamento da bateria	52
	6.5	Carregadores	53
8		FUNCIONAMENTO GLOBAL DO VEÍCULO	56
9		FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO	58
10		CONCLUSAO	58
		REFERÊNCIAS	59
		ANEXO A – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO	61
		ANEXO B – MANUAL DO USUÁRIO	
		ANEXO C – DATASHEETS	
		ANEXO D – DESENHOS DE FABRICAÇÃO	

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

1.1.1 Energia Eólica

A energia eólica é a energia do vento, ou mais precisamente a energia cinética que o vento possui. Esta energia pode ser aproveitada atualmente para uso humano ao ser convertida em energia elétrica por meio de um aerogerador (figura 1). Os aerogeradores são instalados em grupos em lugares denominados “parques eólicos”.



*Figura 1 – Montagem de um aerogerador de pás de 61,5 metros
(Extraído de http://www.lmgfiber.com/dz/A000228_32_4.jpg,
acesso em 30 de Maio de 2007).*

A energia eólica é dita fonte de energia renovável, pois ela se renova mais rapidamente do que é consumida, sendo considerada, portanto, de disponibilidade infinita (1). Esta é também uma fonte de energia limpa, pois não produz uma quantidade reprovável de poluentes, ao ser comparada com outras fontes de energia. A transformação de energia eólica em energia elétrica não produz dióxido de carbono, dióxido de enxofre, mercúrio, substâncias radioativas, nem emissão de partículas; ainda que dióxido de carbono e outras formas de poluição do ar e da água são produzidos durante a fabricação dos equipamentos de um aerogerador.

1.1.2 Potencial de Crescimento da Indústria Eólica

Em relação ao ano anterior, 2006 teve um crescimento de 32% da potência eólica instalada (2).

Segundo o Observatório de Energias Renováveis, a energia eólica é atualmente a fonte de energia cuja exploração mais cresce, especialmente na União Européia, onde a produção de eletricidade de origem eólica aumentou em média 37,8 % por ano durante o período compreendido entre os anos de 1993 e 2002 (3).

Estes números mostram a tendência de crescimento da exploração deste tipo de fonte energia, e, conseqüentemente, da indústria produtora de equipamentos relacionados ao aproveitamento da energia eólica.

Como desvantagens da exploração desta fonte de energia, podem ser citadas :

- Alto ruído : cerca de 55 dB ao pé da torre do aerogerador, o que corresponde ao ambiente de um escritório ruidoso (4).
- Produção não constante de energia ao longo do ano: pelo fato do vento ser um fenômeno inconstante e de difícil previsão, a produção de energia eólica sofre variações significativas.

Além do fato de ser uma fonte de energia renovável e limpa, vantagens já mencionadas anteriormente, outras podem ser citadas a seguir (5):

- Ao serem instalados grandes parques eólicos em terras agrícolas, apenas 2% do solo é utilizado, sendo que o restante continua podendo ser explorado para fins agrícolas.
- A indústria eólica está cada vez mais rentável, devido à redução de custos, às melhoras tecnológicas, e à intensificação da produção (6).

Observa-se que a exploração da energia eólica se torna uma opção atraente ao se confrontar suas vantagens com as desvantagens. Assim, pode-se prever que nos próximos anos a energia eólica ainda será muito explorada, gerando uma grande demanda para fabricantes de equipamentos relacionados.

Dentro deste contexto de futuro promissor da exploração de energia eólica, tendo o desejo de participar do crescimento deste ramo, está a motivação para se desenvolver este trabalho. Neste caso, relacionado ao setor da indústria encarregado da produção das pás do aerogerador.

1.2 Justificativa

Um aerogerador (figura 2) é composto pelos seguintes elementos (7):

- Um mastro, que geralmente abriga uma parte dos componentes elétricos e eletrônicos (modulador, comando, gerador, etc)
- Um rotor, composto de várias pás (geralmente 3).
- Um envoltório, dentro do qual estão os componentes elétricos e eletrônicos necessários ao funcionamento do sistema.

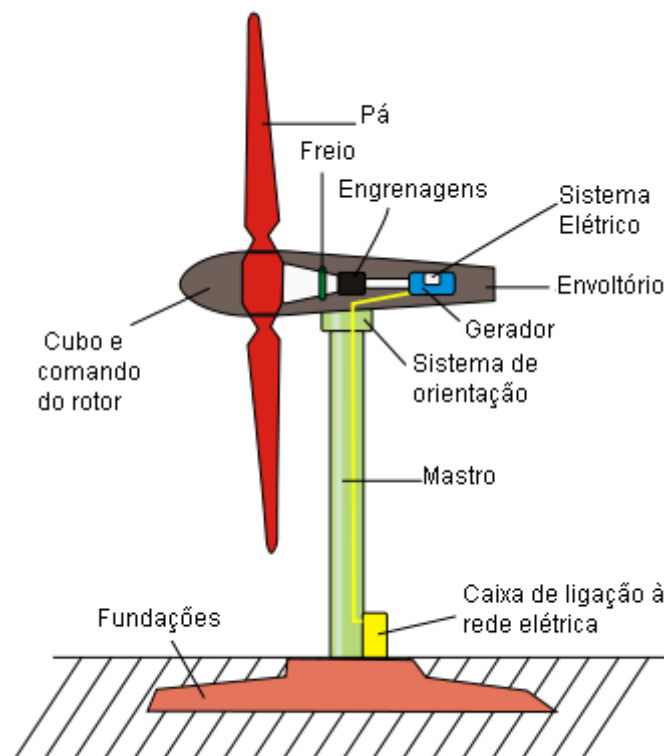


Figura 2 – Esquema de um aerogerador com seus principais componentes (extraído de http://fr.wikipedia.org/wiki/Image:Schema_eolienne.svg, acesso em 20 de Abril de 2007).

As pás do rotor atingem dimensões da ordem de dezenas de metros de comprimento.

O processo de fabricação de uma pá envolve diversas etapas.

A pá é constituída de dois cascos. Os dois cascos são fabricados separadamente, a partir de moldes, com aplicação de camadas de fibra de vidro e resina á vácuo, como se pode ver na figura 3.

Após a aplicação da resina, os cascos são preparados para serem unidos. São instalados equipamentos tais como o sistema de pára-raios.

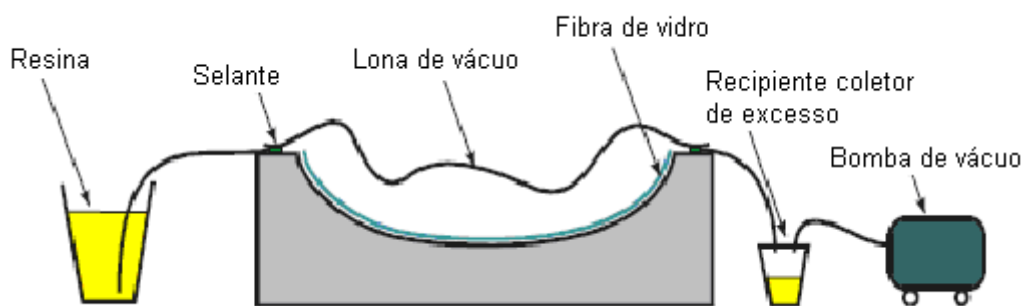


Figura 3 – Esquema de aplicação da resina (extraído de: http://www.lmglassfiber.com/upload/uniform_quality_a_worldwide_challenge.pdf, acesso em 30 de Maio de 2007).

Através de adesivo, os cascos são conectados a longarinas, que unem as duas metades (8).

Os pontos de aplicação do adesivo (figura 4) devem ser inspecionados, pois esta união não pode possuir falhas.

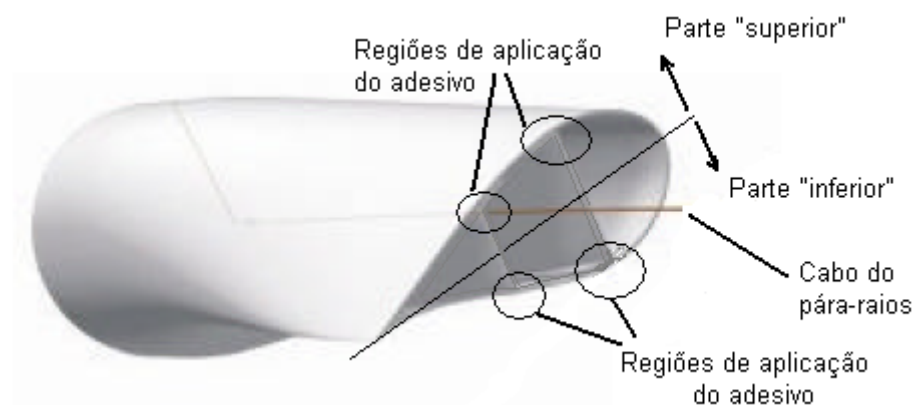


Figura 4 – Representação de um corte transversal de uma pá eólica, mostrando os locais de aplicação do adesivo, junto às longarinas.

Atualmente, a inspeção da junção entre a longarina e a pá é feita por uma pessoa. A inspeção não ocorre ao longo da pá inteira, pois as dimensões da pá limitam a locomoção da pesso. Embora o diâmetro da pá no início seja

suficientemente grande para que uma pessoa se locomova com facilidade, as dimensões são reduzidas no decorrer da direção axial da pá (figura 5). Além deste fator, a locomoção axial da pessoa é dificultada pela presença de parafusos passantes, fixadores do sistema de pá-raios, que ultrapassam a espessura da placa em 4,5 centímetros.

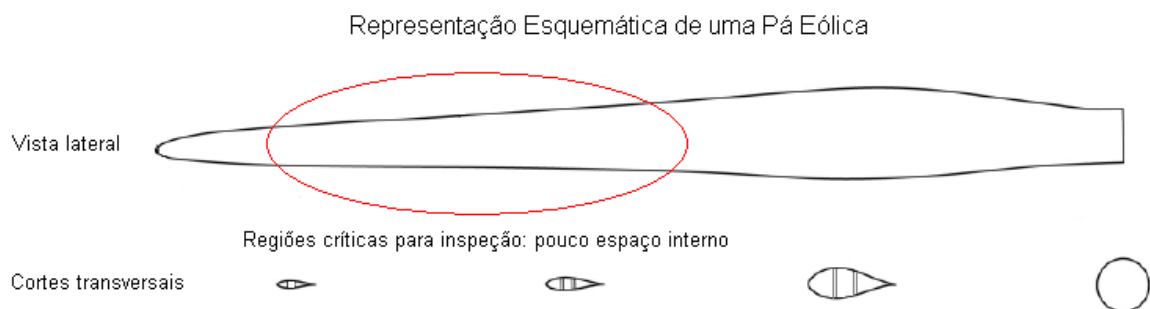


Figura 5 – Representação da região onde há dificuldade de inspeção, devido à redução do espaço interno.

A necessidade de ampliar a região inspecionada, de maneira a realizar um controle de qualidade mais efetivo assim como agilizar o processo de inspeção, resultou na procura por uma solução.

Desta maneira, pensou-se em um equipamento que realizasse a inspeção visual da junção ao longo do interior da pá, manuseado por um operador posicionado do lado de fora desta.

1.3 Definição do Problema

Este trabalho consiste no projeto e construção de um equipamento móvel remotamente controlado que seja capaz de visualizar a região interna de uma pá eólica e enviar o sinal visual para um terminal para a realização da inspeção. O local a ser inspecionado será a junção por adesivo do interior de pás eólicas (figura 6).

Devem-se listar as seguintes restrições do problema:

1. Ambiente com baixa iluminação: devido às grandes dimensões da pá, seu interior recebe escassa iluminação natural. Não existem fontes de iluminação artificial no interior da pá.
2. Superfície irregular e não plana: não existe preocupação, durante a fabricação da pá, de que seu interior seja perfeitamente plano, desta forma, existem diversas ondulações na superfície. Deve-se salientar também a presença de obstáculos tais como o sistema de pára-raios, presente na superfície em que o veículo deverá se movimentar.

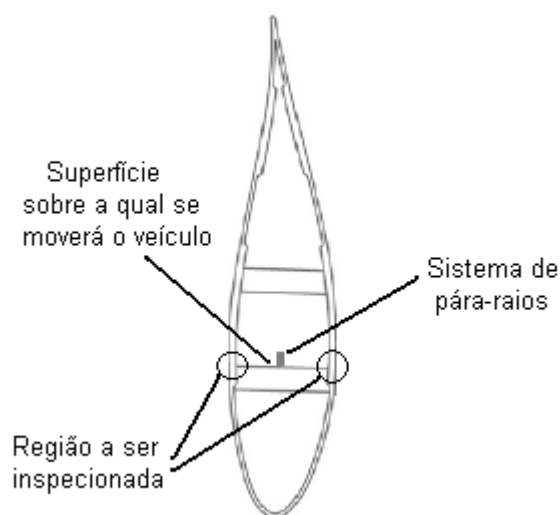


Figura 6 – Representação do corte transversal de uma pá, junto com suas placas internas de fixação.

3. Dimensões máximas: 150 x 150 mm em um corte transversal do veículo. Estas dimensões foram definidas pela empresa de forma a possibilitar o veículo de ir até um ponto bastante avançado no interior da pá. Apesar de a

entrada da pá possuir grandes dimensões, o tamanho crítico da mesma ocorrerá próximo de sua extremidade oposta, de tal forma que as dimensões máximas do equipamento equivalem às críticas para a inspeção da região.

4. O peso total do veículo não pode ser muito elevado. Muito peso implica em maior torque a ser exigido do sistema de locomoção, o que leva a motores maiores, maiores sistemas de transmissão, etc. Isto ocupa maior espaço e pode levar o veículo a exceder as dimensões mencionadas acima. Um valor limite razoável considerando estas dimensões pode ser avaliado em 4kg.
5. Inspeção visual perpendicular ao movimento. Isto pode ser verificado na Figura 15 apresentada. A locomoção do equipamento (para frente e para trás) necessitará de visualização na direção axial da pá, isto é, perpendicular à direção da inspeção (para os lados).
6. O equipamento deverá ser construído de tal maneira que, em situações anômalas, por exemplo, em um choque com a parede da pá, não ocorra dano tanto na máquina quanto na pá.
7. A velocidade do veículo deve ser tal que a inspeção possa ser realizada adequadamente. Foi definida a velocidade de inspeção em cerca de 10 cm/s e a velocidade máxima entre 20 e 25 cm/s.
8. Como todo projeto de engenharia, é importante considerar um limite de orçamento, avaliado em 7500,00R\$.

2 ESCOLHA DA SOLUÇÃO

2.1 Discussão de possíveis soluções

- **Sistema de Locomoção**

- o Rodas;
- o Esteiras.

A locomoção através de rodas possui maior simplicidade de construção se comparado com a esteira. Entretanto, a esteira é menos susceptível à irregularidade da superfície. A desvantagem da locomoção por esteira é a maior dificuldade de se alterar a direção devido ao atrito com o solo.

- **Sistema de Controle Remoto**

- o Sem fio;
- o Com fio.

A transmissão de dados sem fio requer um emissor de sinal e um receptor de sinal, além de necessitar de um circuito próprio para a preparação do sinal emitido e outro para a interpretação do sinal recebido. As fontes externas de interferência e ruído também devem ser levadas em consideração. Desta forma, o sistema é caro e complexo, se comparado à transmissão de dados com fio.

Apesar da simplicidade, a transmissão de dados com fio restringe a capacidade de movimentação do veículo, principalmente na mudança do sentido ou direção do deslocamento do equipamento. O atrito entre o fio e a superfície desperdiça potência do motor, além de adicionar carga ao mesmo para deslocamento.

- Sistema de Visualização

- o Duas câmeras, uma para inspeção da parede (rotação no eixo z) e outra para condução do equipamento (rotação no eixo x);
- o Duas câmeras, uma para inspeção da parede (rotação no eixo z) e outra para condução do equipamento (rotação no eixo y);
- o Uma câmera, com rotação em z e x (9);
- o Uma câmera, com rotação em z e y;

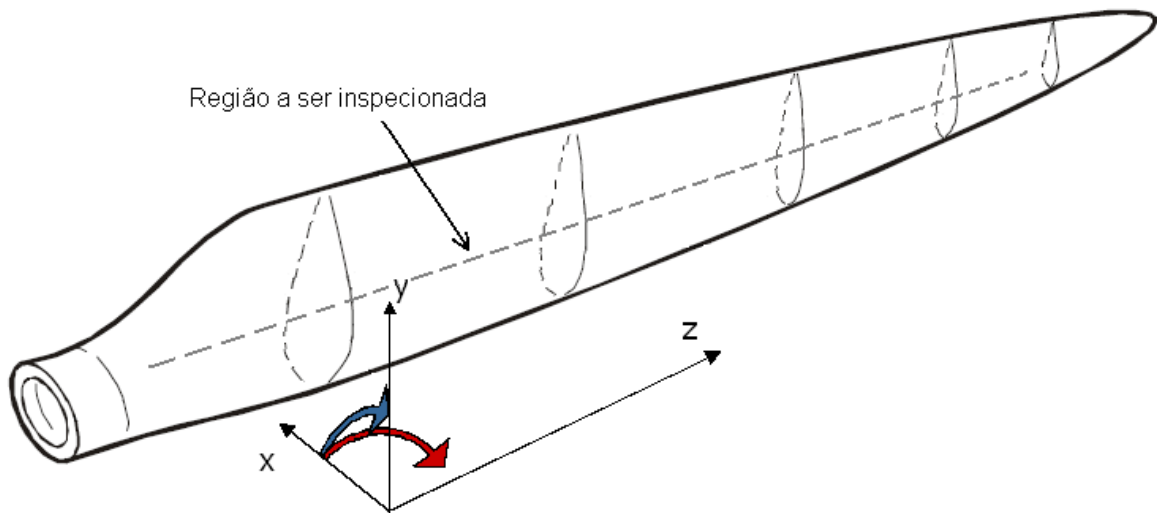


Figura 7 – Representação de uma pá eólica, junto com a definição de eixos coordenados e da rotação da câmera em torno dos eixos Y e Z. O local de inspeção é paralelo ao eixo Z.

A utilização de duas câmeras facilitará a realização da locomoção simultaneamente com a inspeção, entretanto encarece o equipamento e aumenta a complexidade da construção do mesmo.

Na situação onde há uma câmera, a movimentação dessa com rotação nos eixos X e Z dificulta o posicionamento da câmera entre a visualização do deslocamento e a inspeção.

Na situação onde há duas câmeras, a movimentação em torno do eixo Y da câmera de visualização do deslocamento é mais apropriada, pois possibilita a visualização da superfície onde ocorre o deslocamento do veículo.

- Sistema de Iluminação.

- o Lanternas compostas de LED's de alta potência acopladas nas câmeras.

A utilização de LED's de alta potência é a solução adotada em diversos casos em ambientes de baixa iluminação e disponibilidade restrita de energia de alimentação, além de ser de baixo consumo.

- Sistema de Alimentação;
 - o Bateria externa ao carrinho e à pá;
 - o Bateria embarcada na máquina.
 - o Pilhas alcalinas.

O uso da bateria embarcada leva ao aumento da inércia do veículo e redução do espaço interno do mesmo, entretanto o uso de bateria externa necessita de um cabo de ligação com o veículo.

As pilhas alcalinas são duráveis, leves e baratas, e podem ser embarcadas no veículo.

- Sistema de Movimentação das Rodas

Todas as alternativas abaixo consideram a presença de um motor para a mudança da direção do deslocamento:

- o 2 motores, tração dianteira;
- o 2 motores, tração traseira;
- o 1 motor, tração nas 4 rodas;
- o 2 motores, tração nas 4 rodas;
- o 4 motores, tração independente em cada roda.

Um maior número de motores implica em maior capacidade de transpor obstáculos, porém aumenta o peso do veículo e reduz a disponibilidade de espaço interno do mesmo.

- Sistema de Movimentação das Câmeras

- o Um motor por câmera e por eixo de rotação.

Tema discutido no item “Sistema de Visualização”.

2.2 Definição da solução

A figura 16 apresenta o esboço inicial de uma possível solução, conforme as análises realizadas.

O veículo se locomoverá via esteira, com tração independente em cada lado (ver Figura 8).

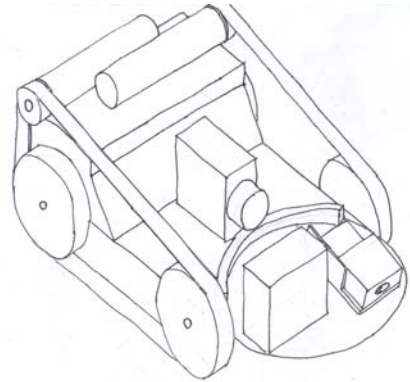


Figura 8 – Esboço desenhado à mão de possível solução para o veículo.

Para fazer uma curva, basta parar o motor de um dos lados e deixar o outro acionado. Por exemplo, para uma curva para a direita, basta que a roda da direita esteja parada, ou com rotação invertida, e a roda da esquerda esteja em movimentação normal, para o veículo fazer a curva para direita (ver Figura 9).

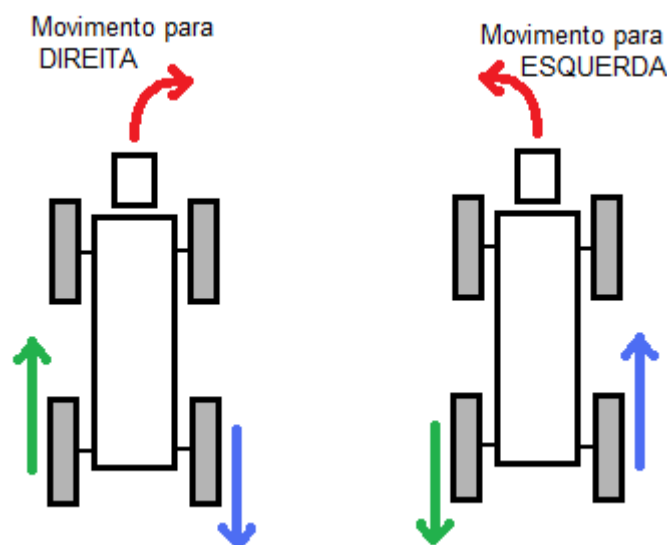


Figura 9 – Movimentação estilo tanque.

Uma pequena câmera com movimento de rotação de dois graus de liberdade (com rotação em torno dos eixos X e Z, movimentadas por servos-motores (10) – ver Figura 7) irá inspecionar a junção.

O meio de comunicação entre veículo e controlador será via controle-remoto controlado por rádio, e a fonte de alimentação será embarcada com o veículo.

Um aparelho televisor receberá o sinal UHF emitido pelo veículo, permitindo o controlador visualizar a região a ser inspecionada e o percurso do veículo.

A máquina será equipada com uma corda de nylon. Esta terá marcações na escala métrica, equivalente a uma trena. A corda será desenrolada no decorrer do movimento axial do veículo em relação à pá. A função dela será informar a posição do veículo para o operador, quando este evidenciar uma falha no sistema de inspeção.

3 PROJETO DO SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DO VEÍCULO

3.1 Escolha de componentes

A massa máxima estimada do veículo foi de 4 kg. O motor escolhido deve suportar a massa de 4 kg com o raio da polia. De acordo com os catálogos de polias Schneider®, a menor polia sincronizadora possui diâmetro de 30 mm, o que, com uma massa de 4kg, requer um torque de 6kgf.cm (se apenas um dos lados do veículo for exigido, e estiver carregando sozinho o peso do carro).

Para que ocorra uma inspeção que não seja muito devagar e nem demasiadamente veloz, a velocidade de inspeção do veículo durante a inspeção foi estimada em 17,5cm/s. Para que a velocidade máxima seja superior a este valor e não deixe o controle de velocidade muito sensível com a variação de velocidade, desejamos um motor que desenvolva uma velocidade máxima de cerca de 25cm/s.

A variedade de motores é muito extensa. Existem basicamente dois tipos de motores que podem ser acionados por baterias, os motores de passo e os motores de corrente contínua. Devido ao baixo peso, menor custo, e à suavização do movimento, o motor de corrente contínua (Motor CC ou DC) foi a opção escolhida.

Foram pesquisadas diversas marcas de motores disponíveis no mercado, e dentre elas escolheu-se a ActionMotors, uma marca nacional, para a escolha do motor, privilegiando assim o mais baixo custo e tempo de entrega. As informações sobre as opções de motores estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados dos motores de 12V

Modelo	Rendimento máximo			Sem carga		Eixo travado	
	rpm	A	kgf.cm	rpm	A	kgf.cm	A
MR101-80M-AS	55	0,71	8,5	80	0,18	12	1
MR101-140M-PT	101	1,68	10,2	140	0,34	12	1,8
MR102-35ML-Z	25	0,27	4,9	35	0,06	6,6	0,41
MR102-90M-S	62	0,70	6,7	90	0,19	12	2,7
MR102-105MN	74	0,92	7,5	105	0,21	12	4

A partir desses dados, os gráficos de torque x corrente e torque x rotação foram plotados (Figura 10).

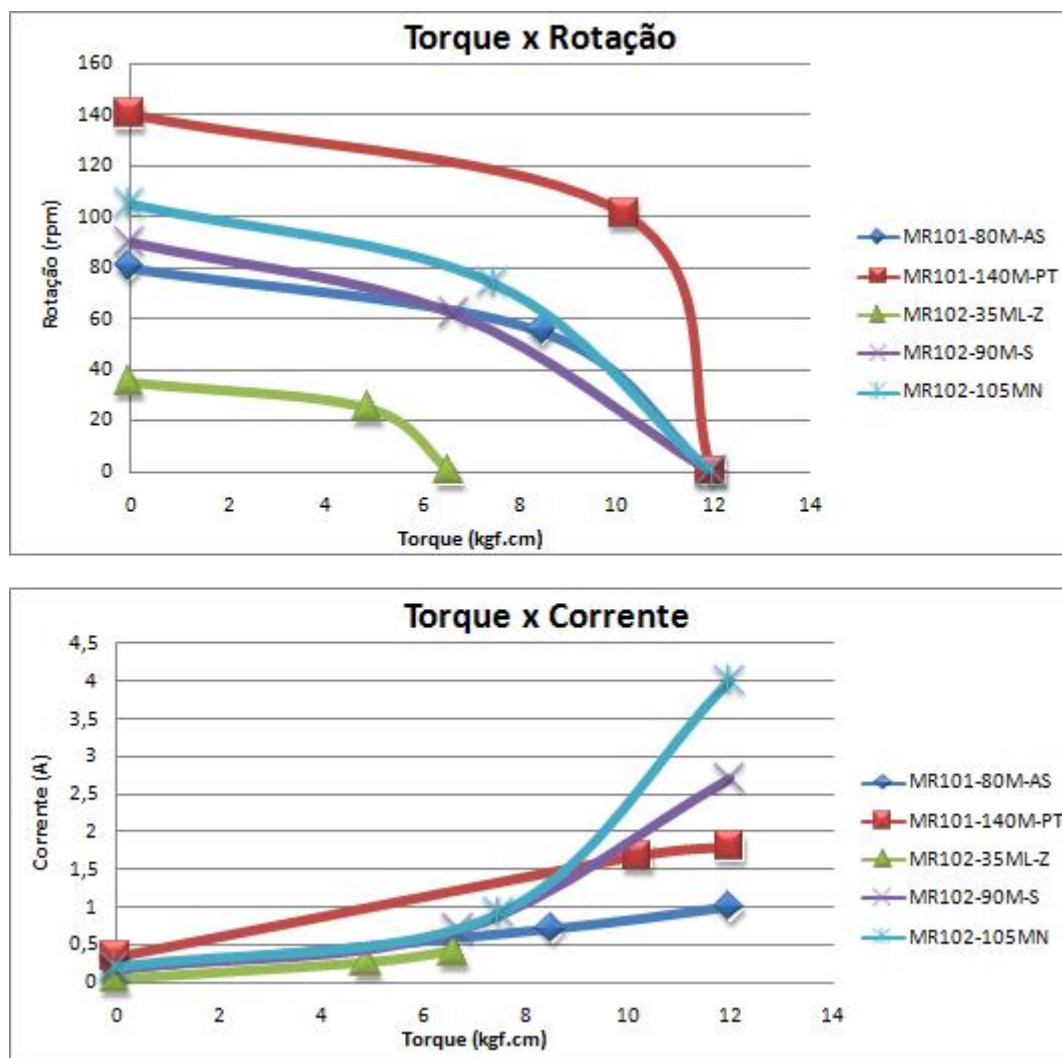


Figura 10 – Gráficos de torque x rotação e torque x corrente para os 5 motores disponíveis

A pá a ser inspecionada possui fixadores do sistema de para raios que atingem uma altura de 4,5 cm, de tal maneira que o chassi do veículo deve estar a uma altura tal que estes fixadores não interfiram no movimento do mesmo. Assim, foram escolhidas polias com diâmetro nominal de 133,4 mm. Considerando ainda a espessura da correia dentada, tem-se um diâmetro total de 137,97 mm.

A transmissão de rotação do motor para a rotação do eixo será executado por um pinhão e uma coroa.

A relação de redução das engrenagens (número de dentes) foi escolhida em conjunto com o motor, através de simulações feitas no Excel.

Para a simulação, foram feitas algumas considerações:

- cada rolamento fornece 0,2 kgf.cm de momento de atrito;
- há 4 rolamentos em cada lado do veículo;
- O coeficiente de atrito estático entre a correia e a superfície de fibra de vidro é de 0,8;
- O trecho dos gráficos de torque x rotação e torque x corrente entre o máximo desempenho e o torque nulo é aproximadamente uma reta;

A figura 11 mostra as situações simuladas. Cada tabela mostra uma relação de redução, através dos números de dentes das engrenagens.

m (kg)	D (cm)		rotação (rpm)	vel lin (cm/s)	corrente (A)
4	13,797	MR101-80M-AS	74,06	9,13	0,31
μ pol	M rolam	MR101-140M-PT	132,27	16,31	0,61
0,8	0,2	MR102-35ML-Z	30,88	3,81	0,15
Pinhão	Coroa	MR102-90M-S	81,55	10,06	0,34
7	41	MR102-105MN	96,65	11,92	0,40

m (kg)	D (cm)		rotação (rpm)	vel lin (cm/s)	corrente (A)
4	13,797	MR101-80M-AS	71,75	12,28	0,35
μ pol	M rolam	MR101-140M-PT	129,28	22,12	0,71
0,8	0,2	MR102-35ML-Z	29,28	5,01	0,18
Pinhão	Coroa	MR102-90M-S	78,28	13,39	0,40
9	38	MR102-105MN	93,41	15,98	0,48

m (kg)	D (cm)		rotação (rpm)	vel lin (cm/s)	corrente (A)
4	13,797	MR101-80M-AS	70,05	14,46	0,39
μ pol	M rolam	MR101-140M-PT	127,07	26,23	0,78
0,8	0,2	MR102-35ML-Z	28,10	5,80	0,20
Pinhão	Coroa	MR102-90M-S	75,87	15,66	0,45
10	35	MR102-105MN	91,02	18,79	0,53

m (kg)	D (cm)		rotação (rpm)	vel lin (cm/s)	corrente (A)
4	13,797	MR101-80M-AS	69,12	15,60	0,41
μ pol	M rolam	MR101-140M-PT	125,86	28,41	0,83
0,8	0,2	MR102-35ML-Z	27,45	6,20	0,22
Pinhão	Coroa	MR102-90M-S	74,54	16,83	0,47
10	32	MR102-105MN	89,71	20,25	0,56

Figura 11 – Tabelas de simulações para escolha de motor e engrenagens.

O motor escolhido é o motor que consta na 2ª linha de cada tabela (MR101-140M-PT). Um pinhão de 10 dentes e uma coroa de 35 dentes proporcionam uma velocidade de 26 cm/s ao veículo, adequada em relação á velocidade máxima planejada para o mesmo.

Os rolamentos a seres utilizados possuem diâmetro interno de 12mm, diâmetro externo de 19mm, e largura de 5mm. Cada lado do veículo possuirá 4 rolamentos (total de 8 rolamentos): 2 rolamentos no eixo em que ocorrerá a transmissão de torque do motor, e 2 rolamentos para apoiar o eixo da outra polia.

3.2 Acionamento dos motores

O acionamento dos motores é realizado através do controle remoto Futaba. Este transmissor é o mesmo utilizado para a movimentação das câmeras.

O usuário executa o comando desejado e o controle transmite a informação correspondente através de ondas FM ao receptor localizado dentro do veículo. Este recebe o sinal, e, no caso de comandos para movimentação da câmera, envia os sinais diretamente ás câmeras (veja no próximo capítulo); enquanto que no caso de comandos de movimentação do veículo, o receptor envia os sinais a um microcontrolador que os interpreta. O microcontrolador envia então os comandos de acionamento aos motores, através do driver de potência. A figura 12 mostra um esquema explicativo.

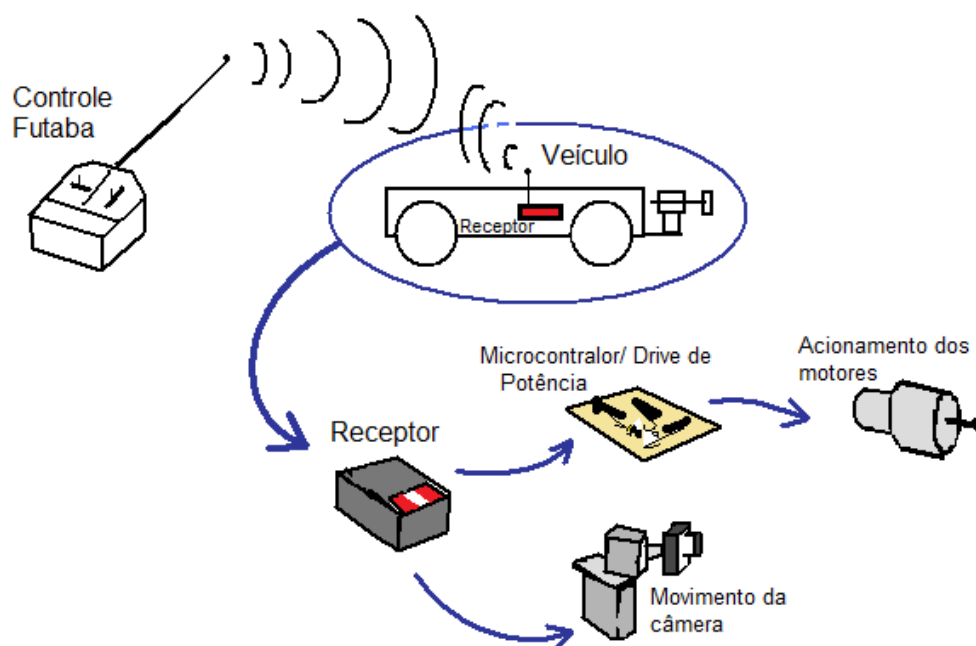


Figura 12 – Esquema explicativo do controle do veículo.

3.2.1 Controle Remoto

Para o controle remoto do veículo, devido à disponibilidade fácil no mercado, optou-se por um receptor e transmissor utilizado em aeromodelismo.

O transmissor controlará tanto os motores de locomoção do veículo quanto os movimentos da câmera em torno do eixo vertical e vertical (*tilt* e *pan*). Ele necessita de, no mínimo, 100m de alcance para uma transmissão segura, e precisa possuir no mínimo 4 canais, dois para os motores e dois para os movimentos da câmera.

O transmissor de 4 canais Futaba, vendido junto com o receptor, 4 servos e bateria para o transmissor está dentro das restrições com distância. O sinal emitido na saída do receptor Futaba é no formato PWM, porém segue regras diferentes, descritas na figura 13.

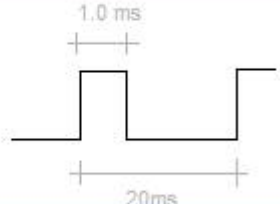
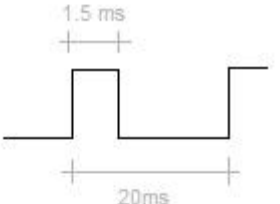
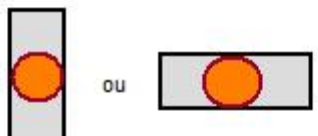
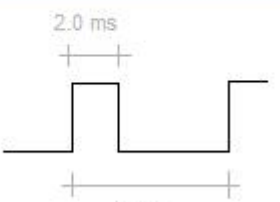
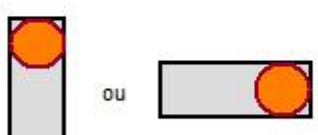
Sinal PWM (Teórico)	Posição da alavanca do controle remoto
	
	
	

Figura 13 – Relação entre o comando do controle-remoto e o sinal emitido pelo receptor.

3.2.2 Driver de controle.

Neste projeto, o driver de controle é basicamente composto pelo microcontrolador. O drive de controle tem por função comandar o drive de potência, que comandará o motor.

O microcontrolador utilizado é o PIC 16F873. Ele recebe os sinais do receptor Futaba, e gera os sinais PWM que serão enviadas para o drive de motor. Estes sinais PWM contém a ordem do que os motores devem fazer, e o drive de potência executa esta ordem, comandando os motores.

Para isso, utilizou-se o sistema PWM (Pulse Width Modulation), com picos entre 0V e 12V.

O sinal PWM é um sinal caracterizado pela amplitude de um trem de pulsos e pela relação entre o período do mesmo e sua largura (tempo que permanece no máximo – βT na Figura 14).

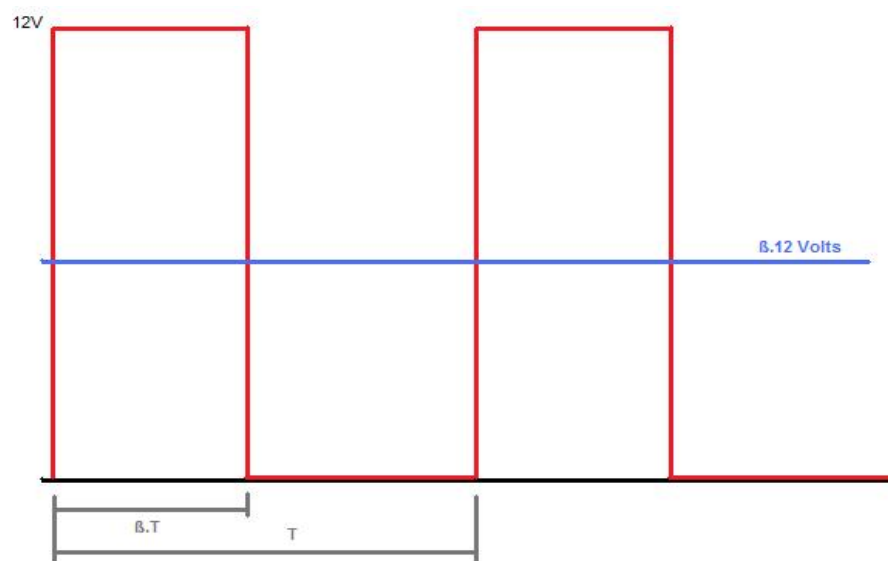


Figura 14 – Sinal PWM que controlará o motor CC.

Esta relação é denominada *Duty Cycle*. Tomando como exemplo uma onda quadrada de amplitude 12 V, e considerando um *Duty Cycle* de quase 100% (Figura 15 A), o sinal estaria transmitindo próximo de 12 V, e inversamente para um *Duty Cycle* de cerca de 0% (Figura 15 B). Para um *Duty Cycle* de 50%, o sinal estaria transmitindo apenas 6V (Figura 15 C). A razão entre o tempo que o sinal permanece em 12V e o período o pulso é a mesma razão entre a tensão aparente e o pico (de 12V).



Figura 15 – Diferentes Duty Cycles para um sinal PWM.

As figuras 16 e 17 explicam como os sinais PWM serão gerados em resposta ao comando do controle, tanto para curvas quanto para andar em linha reta. Observa-se a presença de dois motores, pois, como explicado no capítulo anterior, a locomoção é feita através de dois motores, ao estilo tanque.

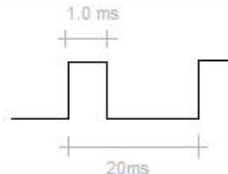
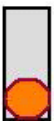
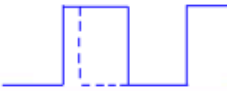
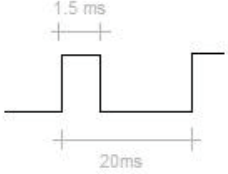
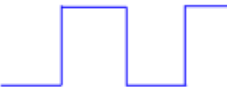
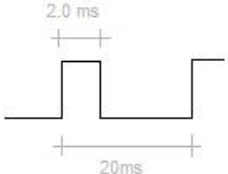
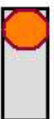
Sinal PWM (Teórico) Sinal de entrada do microprocessador	Posição da alavanca do controle remoto	Sinal PWM de saída do microprocessador
		Motor esquerdo e motor direito: 80%.n bits a menos em relação a posição neutra possuirão valor 1 Movimento para trás. 
		n+2 passos em 1 e n+2 passos em 0. Motor parado (margem de sensibilidade do motor) 
		Motor esquerdo e motor direito: 80%.n bits a mais em relação a posição neutra possuirão valor 1. Movimento para frente. 

Figura 16 – Relação entre o comando do controle-remoto e o sinal emitido pelo microcontrolador.

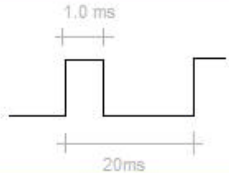
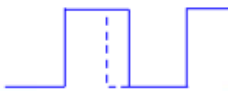
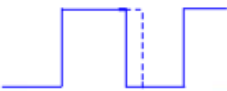
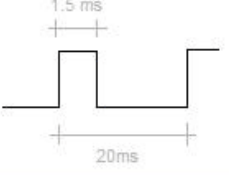
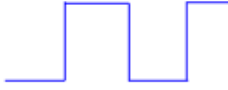
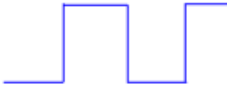
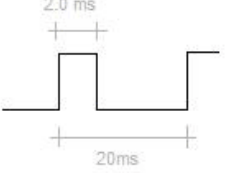
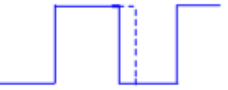
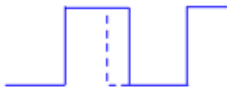
Sinal PWM (Teórico) Sinal de entrada do microprocessador	Posição da alavanca do controle remoto	Sinal PWM de saída do microprocessador Motor esquerdo	Sinal PWM de saída do microprocessador Motor direito
		20%.n bits a menos em relação a posição neutra possuirão valor 1 Movimento para trás. 	20%.n bits a mais em relação a posição neutra possuirão valor 1. Movimento para frente. 
		n+2 passos em 1 e n+2 passos em 0. Motor parado. 	n+2 passos em 1 e n+2 passos em 0. Motor parado. 
		20%.n bits a mais em relação a posição neutra possuirão valor 1. Movimento para frente. 	20%.n bits a menos em relação a posição neutra possuirão valor 1 Movimento para trás. 

Figura 17 – Relação entre o comando do controle-remoto e o sinal emitido pelo microcontrolador.

3.2.3 Programação do microcontrolador

A linguagem de programação do driver de controle escolhida é a linguagem C.

Vale ressaltar a diferença entre os sinais PWM de entrada e saída. O sinal de entrada é proveniente do controle remoto, com período de 20 ms, e sinal em *high* entre 1,0 e 2,0 ms. Já o sinal de saída é um sinal de frequência superior ao de entrada, além de o sinal *high* poder oscilar entre 0% e 100% do período de oscilação.

O programa é baseado em uma interrupção para receber as informações do receptor FM, ou seja, os sinais provenientes dos dois manetes do controle, e de um *loop* para interpretá-las, de acordo com o exposto anteriormente nas figuras 16 e 17.

Na figura 18 está um fluxograma do programa implementado no microcontrolador e em anexo encontra-se o programa completo.

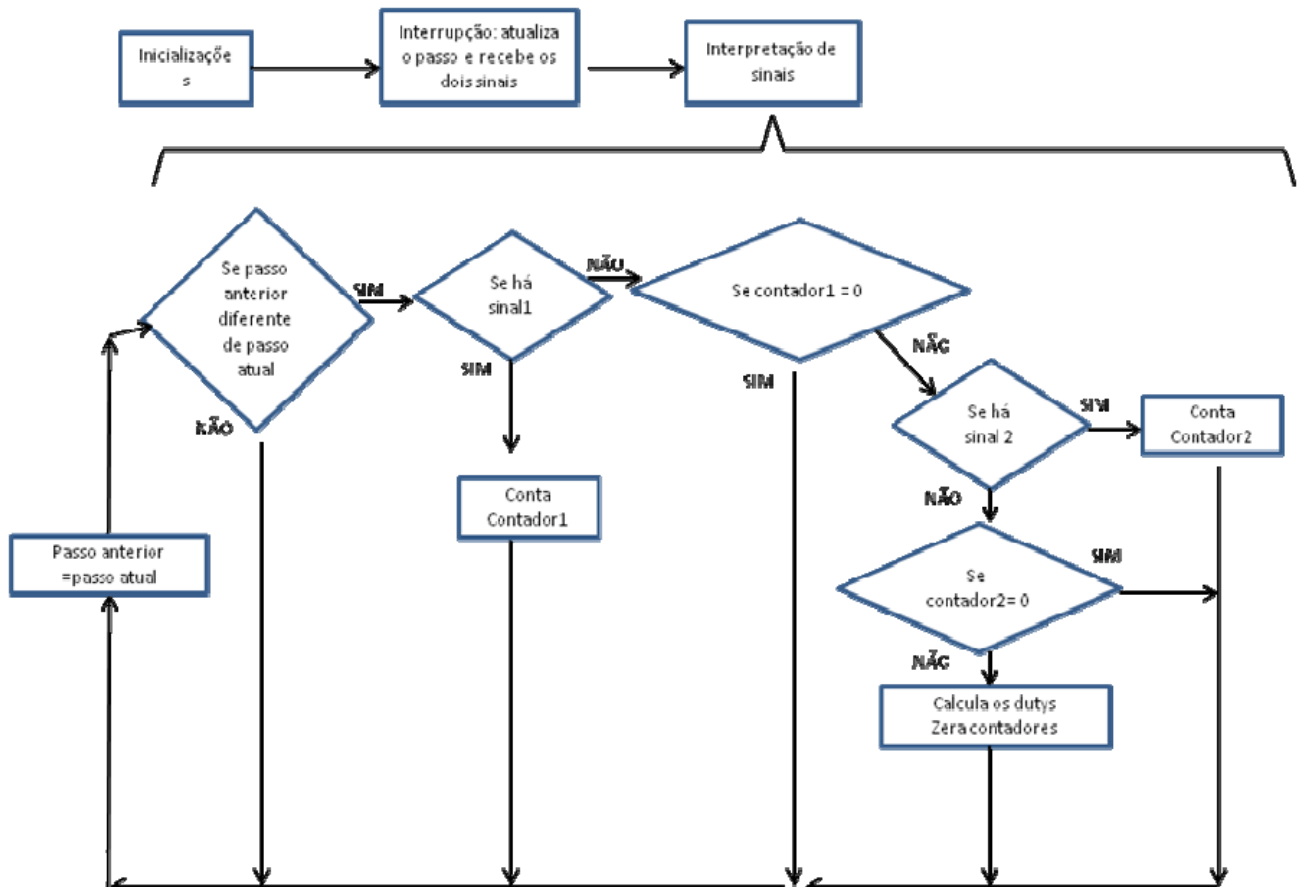


Figura 18: Fluxograma do programa computacional

3.2.4 Driver de potência

Os motores de corrente contínua apresentam, em sua maioria, dois terminais elétricos. A polaridade da tensão aplicada aos terminais determina o sentido de rotação do motor e sua amplitude determina a velocidade. O driver de potência utiliza uma ponte H para controlar o sentido de rotação e velocidade do motor. Uma ponte H básica pode ser representada por quatro chaves dispostas em formato de H, com o motor posicionado no centro (Figura 19).

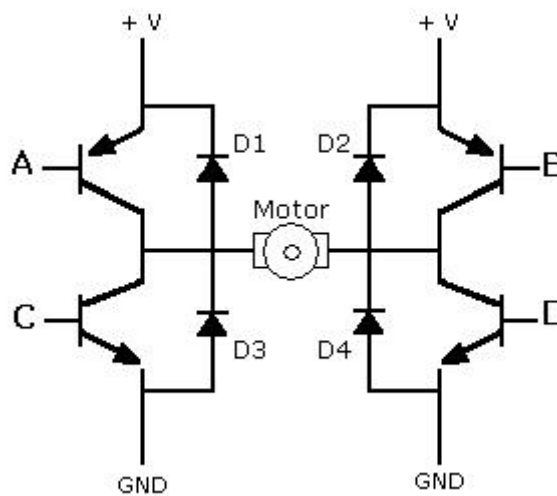


Figura 19 – Ponte H

Acionando duas chaves em posições opostas, por exemplo A e D, o motor é acionado e uma direção (figura 14). Se as outras duas chaves, B e C, forem acionadas, a corrente flui em direção contrária e o motor irá girar na direção oposta (Figura 20).

Se as chaves A e B forem acionadas (ou C e D), haverá o efeito de um freio sobre o motor, a tensão gerada entre os terminais do motor força a girar no sentido oposto (Figura 21). Se todas as chaves forem desligadas, o motor não será acionado, e se ele estava em movimento, sua velocidade irá reduzir com suavidade até parar.

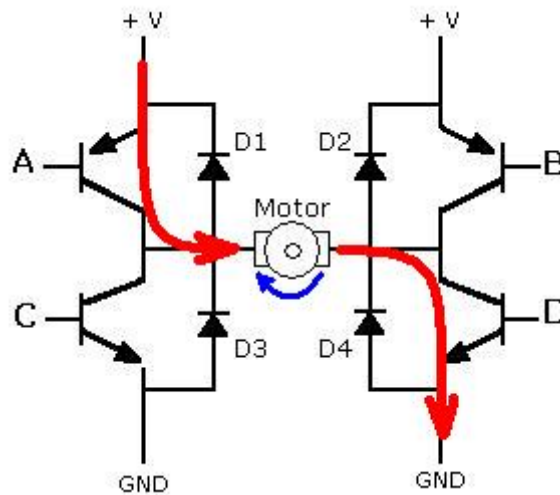


Figura 20 – Ponte H com sinais em A e D.

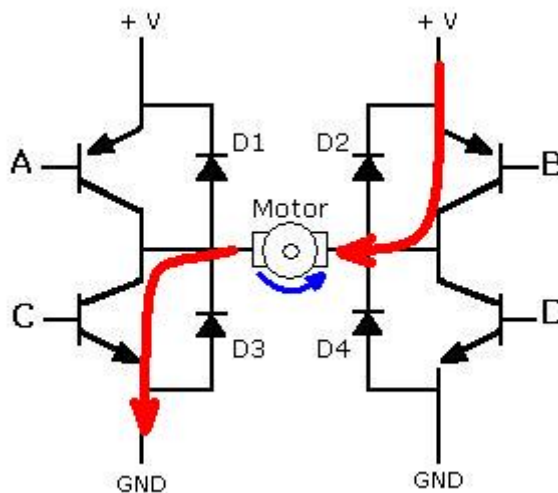


Figura 21 – Ponte H com sinais em B e C.

Neste projeto utiliza-se o circuito integrado L298N, que contém pontes H com transistores por chaves.

Os diodos colocados na ponte H servem para proteger os transistores e os chips. Quando o circuito é desligado, pode ainda ocorrer passagem de corrente entre os terminais devido às propriedades indutivas do motor, danificando os componentes. Os diodos servem pra drenar esta corrente. Além disso, se as quatro chaves são acionadas, a tensão +V seria ligada diretamente ao GND, curto circuitando a fonte de tensão. Os diodos evitam que esta situação ocorra. O diodos também atuam em casos de sobrevoltagem ou subvoltagem (tensão vinda do motor

é maior ou menor do que a das baterias), que ocorrem quando há acelerações ou desacelerações bruscas.

Na prática, coloca-se a onda quadrada do PWM nas entradas A e D, e o inverso desta mesma onda em B e C. Assim, quando os transistores A e D estão com a onda quadrada em *High*, os transistores B e C estão em *Low*.

Para tanto, utilizou-se neste projeto o inversor SN74HC04.

O circuito se comporta de maneira a obter uma média dos sinais que entram em cada terminal. Desta maneira, se o *duty cycle* do sinal PWM for de 50%, será aplicada ao motor uma tensão média igual nos dois pólos. Se o *duty cycle* for diferente de 50 %, o motor terá uma tensão média diferente aplicada em cada pólo, de tal maneira que o motor se mova para um dos lados. Com um *duty cycle* de 0 a 50 %, o motor gira em um sentido, e tendo um *duty cycle* de 50 a 100%, o motor gira no outro sentido (ver Figura 22).

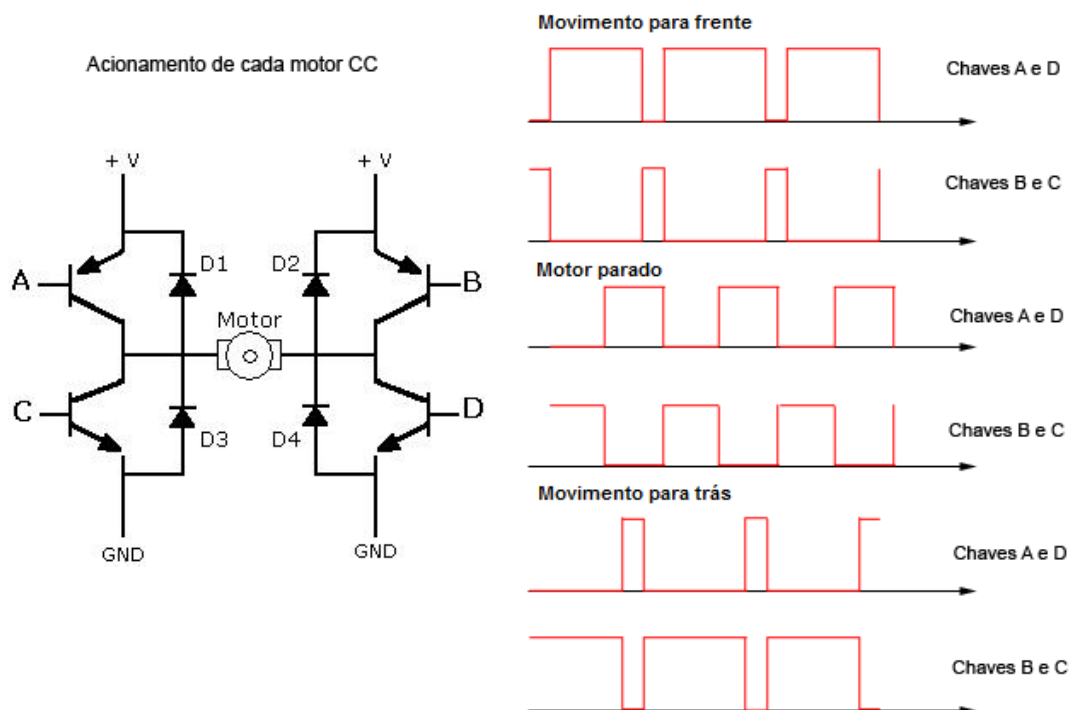


Figura 22 – Ponte H com sinais em B e C.

3.2.5. Visão geral dos drivers.

O circuito completo do driver de potência e de controle é apresentado na figura 23. Note-se que além dos componentes já citados percebe-se a presença de reguladores de tensão da série L7800, para controlar a tensão nos dispositivos eletrônicos e nos motores, capacitores para estabilizar os sinais eletrônicos, e um cristal oscilador para a geração do sinal PWM. Os datasheets dos componentes encontram-se em anexo.

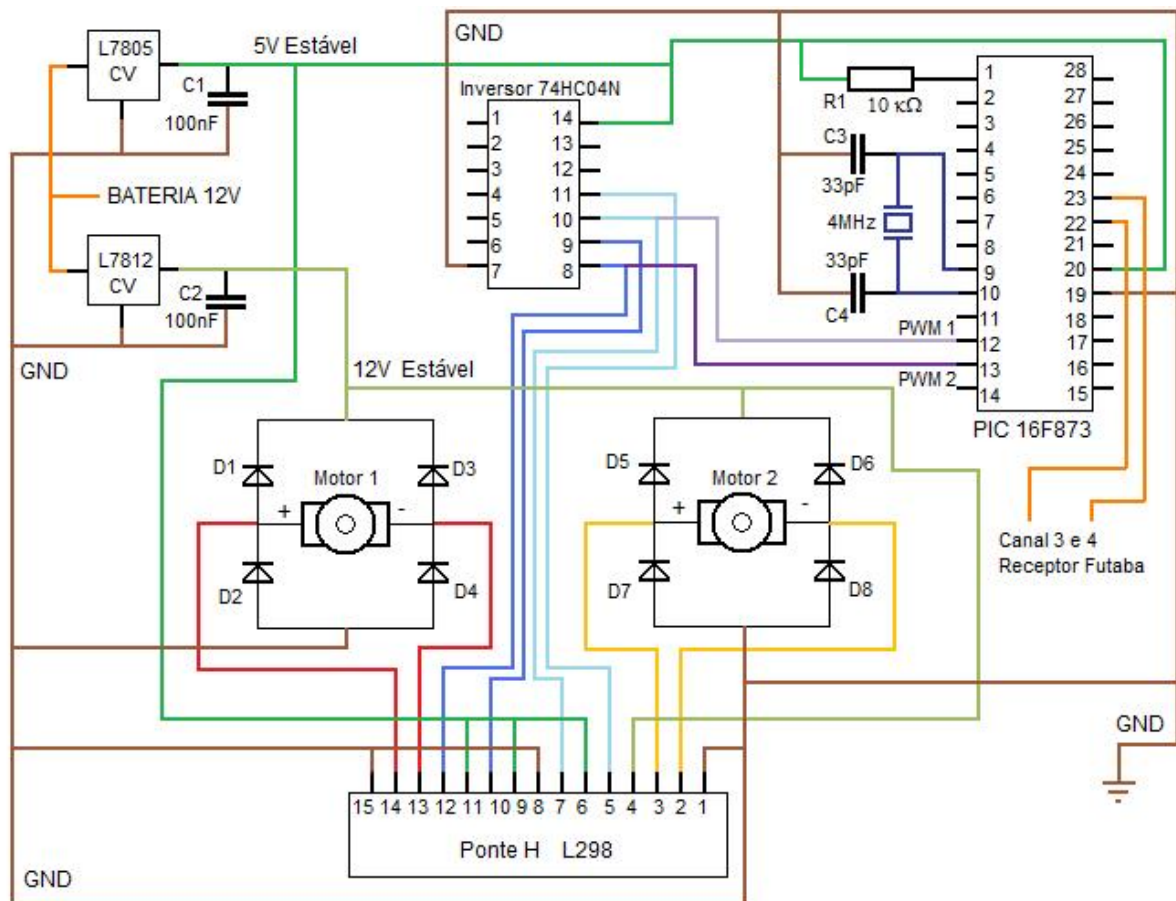


Figura 23 – Circuito elétrico completo.

4 PROJETO DOS SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE DADOS

4.1 Câmera de vídeo

A escolha da câmera para ser embarcada no veículo para a captura de imagens deverá ser de boa resolução. Foram pesquisadas diversas opções de micro-câmeras coloridas utilizadas em sistemas de segurança. A tabela a seguir apresenta estas opções com suas características:

Tabela 2 - Características de algumas câmeras.

	Resolução (linhas)	Iluminação (Lux)	Preço (R\$)
VTV VT-786C-50	420	1	120,00
HDL HM52	380	0,1	120,00
TopWay SK C500	420	0,1	130,00
Color CCD “Sony” Day & Night KTC	470	0,1	153,00
Nitrix N180	420	0,1	125,00

Assim, a escolha recai sobre a micro câmera colorida Sony Day & Night (figura 24).



Figura 24 – Foto da câmera Color CCD “Sony” Day & Night KTC.

4.3 Transmissão de dados via UHF

A transmissão de dados através de ondas de rádio pode ser feita através de diversas bandas de frequência.

A ITU (International Telecommunications Union) é a organização internacional que regula e padroniza as telecomunicações e as transmissões via ondas de rádio. Segundo sua padronização, UHF (Ultra High Frequency) é a banda 9, cuja faixa de frequências se estende de 300MHz a 3000MHz, com comprimento de onda entre 10cm e 1m.

É a forma de transmissão utilizada para televisão, telefone sem fio, GPS.

O transmissor a ser utilizado recebe o sinal de vídeo da câmera e envia via UHF ao receptor, conectado a um aparelho televisor de maneira que se possa visualizar as imagens. Existem diversos conjuntos transmissores/receptores de sinal de vídeo UHF comercializados no mercado de equipamentos para segurança. Foi realizado o levantamento de preços e características de duas marcas no mercado, apresentadas a seguir:

Tabela 3 - Características de alguns receptores/transmissores UHF

	Receiver 1000	Fujika FK-100
Alcance máximo (m)	1000	500
Frequência máxima (GHz)	2,4	2,4
Voltagem (V)	12	12
Corrente (mA)	100	500
Preço (R\$)	290,00	200,00

Como o operador do veículo estará junto á pá para a inspeção, não é necessário um alcance muito grande. Desta forma, optou-se pela segunda opção, o modelo FK-100 da Fujika (figura 25).



Figura 25 – Foto do receptor/transmissor FK-100 da Fujika.

5 PROJETO MECANICO

5.1 Escolha dos materiais

A seleção dos materiais a serem utilizados deve ser baseada nas propriedades mecânicas dos mesmos e na aplicação deles.

O ensaio de tração de um material é utilizado para se determinar algumas destas propriedades. Ele consiste em submeter um corpo de prova a forças de tração, de maneira que sofra tensões e se deforme até a ruptura. Os valores da deformação do material em função da tensão são plotados em uma curva (figura 26).

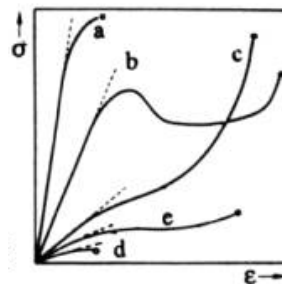


Figura 26 – Curvas típicas de tensão x deformação:

- a) Material rígido quebradiço; b) Material rígido e resistente; c) Material elástico;
d) Material macio e fraco; e) Material macio e resistente.

A seguir são apresentadas algumas propriedades mecânicas importantes:

- *Módulo de elasticidade ou módulo de Young.*

No início do ensaio de tração a tensão varia linearmente com a deformação através da seguinte relação (11):

$$\sigma = E \epsilon$$

A constante E é o módulo de elasticidade e determina a rigidez do material, ou seja, a capacidade do material de resistir à deformação elástica.

Quanto mais vertical a curva nesta fase do ensaio, mais rígido é o material (maior módulo de elasticidade). É importante notar que esta parte da curva é também denominada de região elástica, pois o material se deforma sob a aplicação da tensão e retorna à sua configuração de tamanho inicial.

Após a fase elástica, o material escoar. Na fase de escoamento, há grande variação da deformação com pequenas variações de tensão.

Após o escoamento tem início a fase plástica.

- *Limite de escoamento*

O limite de escoamento (SE na figura 27 a seguir) caracteriza o início da fase de deformações plásticas do material. É uma medida da resistência do material.

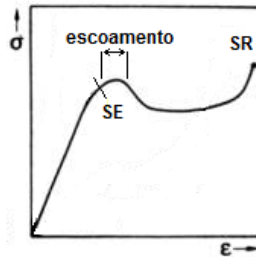


Figura 27 – Curva tensão x deformação com destaque para SE, SR, e a fase escoamento.

- *Limite de resistência à tração (SR no gráfico).*

É a tensão máxima à qual o material pode ser submetido. É também uma medida da resistência do material.

- *Resiliência*

A resiliência determina a capacidade do material absorver energia devido à aplicação de esforços, deformando-se elasticamente, e devolvê-la sem se deformar plasticamente. Ela pode ser obtida calculando-se a área sob a curva até o limite de escoamento.



Figura 28 – Representação gráfica da tenacidade e resiliência.

- *Tenacidade*

A tenacidade expressa a capacidade de o material absorver energia devido à aplicação de esforços, deformando-se plasticamente, sem sofrer a ruptura. A tenacidade pode ser calculada como a área total sob a curva tensão deformação (figura 28). Um material de baixa tenacidade é quebradiço.

As opções de materiais que foram analisadas e algumas de suas características encontram-se a seguir:

- *Aços*

Os aços são metais compostos e ferro e alguns outros elementos de liga. Existem diversos tipos de aço. Aqueles utilizados para construção mecânica, tais como o aço 1020, inox, ou 4340, podem ser muito resistentes, com alta tenacidade, módulo de elasticidade e limite de escoamento. Eles são de alta densidade.

- *Alumínio*

Os alumínio podem ser tão resistentes quanto alguns aços, mas sua densidade é cerca de 1/3 menor.

- *Madeira de balsa*

Material muito leve e de alto módulo de elasticidade (rigidez), muito utilizado em aeromodelismo. Porém é extremamente frágil, com baixa resiliência e tenacidade.

- *Polímeros.*

Materiais feitos a partir da encadeação de moléculas específicas. Dois polímeros merecem destaque: o nylon e o acrílico. O acrílico (polimetacrilato de metila – PMMA), transparente e resistente a impactos, é utilizado em janelas de avião e lanternas de carro. O nylon (poliamida) é de densidade baixa e utilizado em inúmeras aplicações, como por exemplo nos têxteis e automóveis.

- *Fibra de vidro*

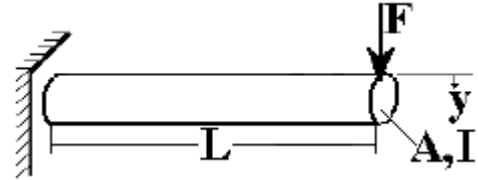
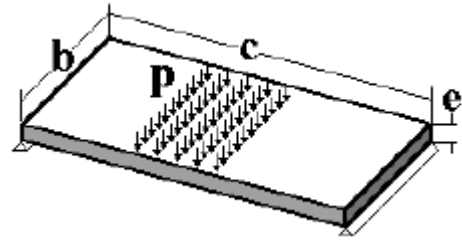
Comercialmente conhecida como GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer), é um material de alto módulo de elasticidade e baixa densidade. Entretanto, sua tenacidade é menor do que dos aços.

- *Fibra de Carbono*

Conhecida como CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polimer), é um material extremamente rígido e leve, utilizado em estruturas de automóveis esportivos e aviões. Mas é também um material frágil que não resiste a impactos.

Cada parte estrutural do veículo estará sujeita a solicitações diferentes conforme sua função. Deve-se procurar para cada aplicação os materiais que melhor combinam alta resistência e rigidez com o menor peso. Assim, com cálculos simples de mecânica dos sólidos (resumidos na tabela 4), mostra-se que uma barra sujeita a forças de tração possui a menor massa com maior rigidez se o material escolhido for o de maior razão entre o módulo de elasticidade E e a densidade ρ .

Tabela 4 – Análise de elementos estruturais

Tipo ou função do elemento estrutural	Massa mínima com máxima rigidez	Massa mínima com máxima resistência
Tirante E: módulo de elasticidade  ρ : massa específica	$\Delta L = \frac{FL}{EA} \rightarrow A = \frac{FL}{E\Delta L}$ $m = \rho LA = \frac{FL^2 \rho}{\Delta L E}$ Maximizar E/ρ	$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow A = \frac{F}{\sigma}$ $m = \rho LA = FL \frac{\rho}{\sigma}$ Maximizar S/ρ
Viga sob flexão $A = \frac{\pi d^2}{4}$ $I = \frac{\pi d^4}{64}$  d: diâmetro do perfil circular	$y = 64 \frac{FL}{E\pi d^3}$ $m = \rho LA = \frac{\rho L \pi d^2}{4}$ $m = 2 \left(\frac{\pi FL^3}{y} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{\rho}{E^{\frac{1}{3}}}$ Maximizar E^{1/2}/ρ	$\sigma = \frac{32FL}{\pi d^3}$ $m = \rho LA = \frac{\rho L \pi d^2}{4}$ $m = L \pi \left(\frac{6FL}{\pi} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\rho}{\sigma^{\frac{2}{3}}} \right)$ Maximizar S^{2/3}/ρ
Placa sob pressão p $b=ac$ 	$y = \frac{5pc^2}{32Ee^3}$ $m = \rho eac^2$ $m = ac \left(\frac{5pc}{32y} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{\rho}{E^{\frac{1}{3}}} c^2$ Maximizar E^{1/3}/ρ	$\sigma = \frac{3pc^2}{4e^2}$ $m = \rho eac^2$ $m = \frac{(\sqrt{3p})ac^2}{2} \frac{\rho}{\sqrt{\sigma}}$ Maximizar S^{1/2}/ρ Nota: S=SE se o material for dúctil ou S=SR se for frágil

No caso de uma viga com perfil circular sob flexão, como no caso de eixos, obtém-se maior resistência com menor massa com um material de maior razão $\frac{E}{\rho}$.

No caso de uma placa sob pressão, como na carenagem ou chassi do veículo, obtém-se maior resistência com menor massa com um material de maior razão $\frac{E^{1/2}}{\rho}$.

A tabela 5 apresenta alguns valores destas razões para certos materiais.

Tabela 5 – Análise de materiais em relação á rigidez e densidade

	E/ρ	$E^{1/2}/\rho$	$E^{1/3}/\rho$
Aço	26	1,8	0,75
Alumínio	25	3,0	1,5
CFRP	126	9	3,8
GRFP	24	3,5	1,8

Para facilitar a análise de diversas famílias de materiais, sabendo que E e ρ variam muito pouco dentro de uma mesma família e tendo por base o princípio de maximizar as razões $E^{1/3}/\rho$, $E^{1/2}/\rho$ e E/ρ para cada um dos diferentes tipos de solicitações dos elementos estruturais, foi gerado um gráfico logarítmico. Neste, a ρ é representada no eixo das abcissas e E no eixo das ordenadas, como se vê na figura 28.

Tomando a linha guia tracejada de $E/\rho=\text{constante}$ e subindo até os valores máximos, podem-se escolher os melhores materiais a serem utilizados em tirantes leves e rígidos. Verifica-se que os alumínios, aços e até ligas de titânio estão praticamente no mesmo nível, portanto, são similares para esta aplicação.

Para o caso de $E^{1/2}/\rho=\text{constante}$, observa-se que os alumínios são um pouco melhores do que os aços, sendo que alguns tipos de madeiras são ainda melhores.

Se tomarmos a linha de $E^{1/3}/\rho=\text{constante}$, verifica-se que o alumínio se encontra em um nível bem superior aos aços.

Nota-se também que a madeira de balsa com grãos paralelos é uma das melhores opções para placas leves e rígidas, sendo melhor do que ligas de titânio ou fibra de carbono. Daí a sua utilização em aeromodelismo. Entretanto, este material é muito pouco resistente, o que inviabiliza a sua aplicação neste projeto.

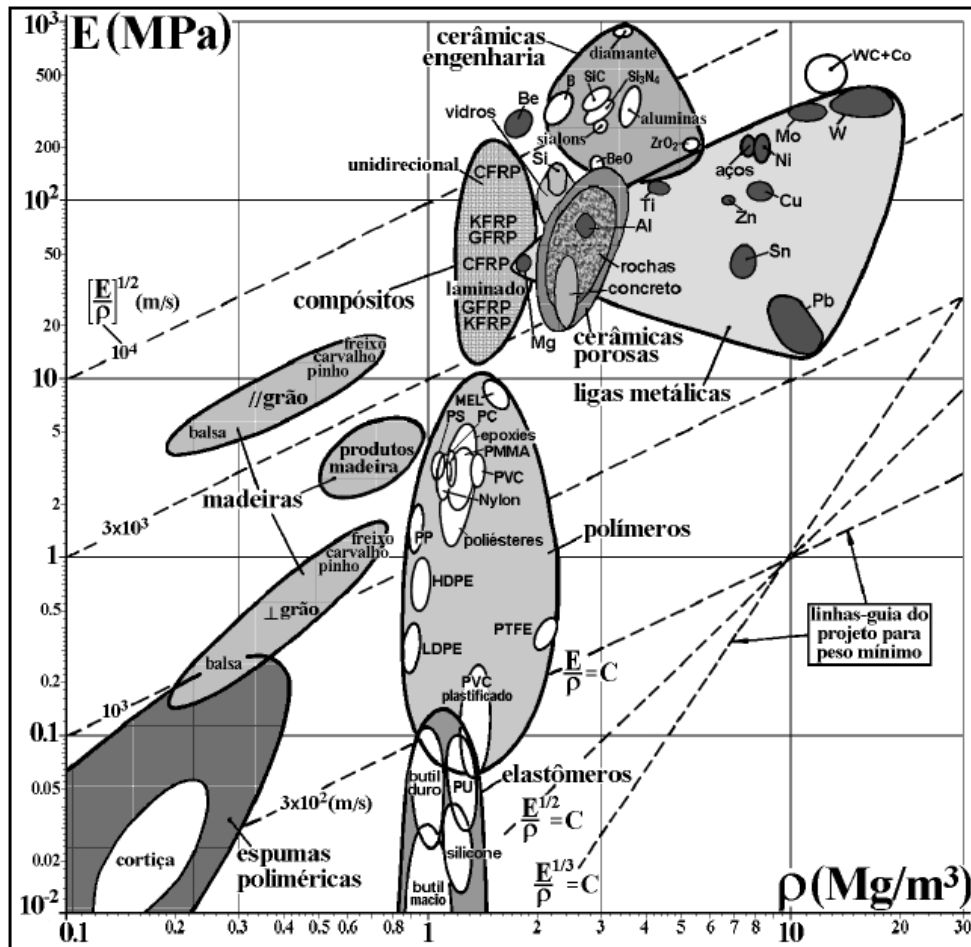


Figura 27 – Escolha de materiais em função da densidade e rigidez

Deve-se, portanto analisar outras características além da rigidez, como o limite de escoamento ou limite de resistência a tração (SE e SR).

Observa-se da tabela 6 que para eixos sob tração, os alumínio são melhores até do que o aço 1020 e aço inox.

Para vigas sob flexão, os alumínio são seguidos de perto de alguns aços. Para placas os alumínio também se destacam.

Tabela 6 – Análise de materiais em relação á resistência e densidade

	S/ρ	$S^{2/3}/\rho$	$S^{1/2}/\rho$
Aço 1020	37	5,6	2,2
Aço inox	37	5,6	2,2
Aço 4340	176	15,8	4,8
Al 2024 T3	140	19,4	7,2
Al 7074 T6	174	22,4	8
CFRP	700	69	22
GRFP	620	58	18

É importante salientar que em todos os quesitos, as fibras são as melhores. Como conclusões destas análises, podem-se destacar os seguintes pontos:

1. As fibras, em termos de rigidez, resistência e massa, são os melhores materiais. Analisando com mais cuidado, porém, percebe-se que, em termos de rigidez, as fibras de vidro são um pouco piores que os alumínios. É importante ressaltar também que as fibras de carbono são muito frágeis (baixa tenacidade).
2. Os aços são uma opção inadequada para paredes devido, principalmente ao seu peso.
3. Os alumínios, portanto, surgem como uma boa alternativa, tanto em relação à combinação de maior resistência e rigidez com menor massa, quanto em relação aos custos, para a estrutura da carenagem do veículo.
4. Para eixos, que basicamente são vigas sob flexão e torção, os alumínios seriam teoricamente a melhor opção, ao compararmos os valores das constantes que analisam relações de melhor rigidez e resistência com baixo peso. Entretanto, esta vantagem se deve à menor densidade do alumínio, aproximadamente 3 vezes menor que a dos aços, pois a resistência e rigidez dos aços estruturais (exceto do aço 1020) são melhores do que a dos alumínios (veja os gráficos de tensão X deformação da figura 28).

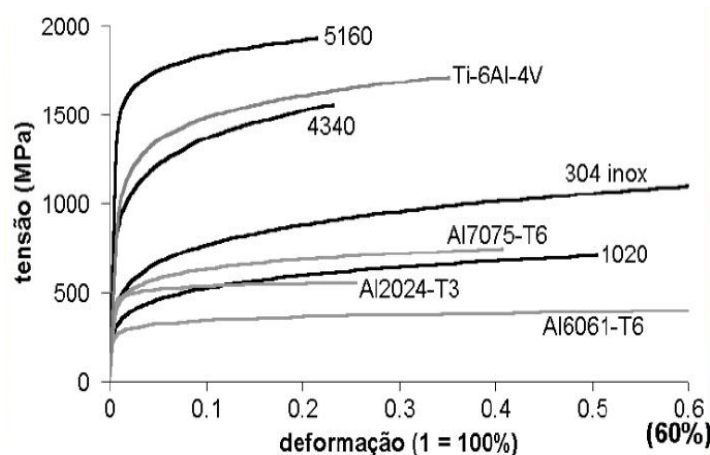


Figura 28 – Curvas tensão X deformação para vários metais

5. Assim, para fazer um eixo de alumínio equivalente ao de aço, seria necessário um diâmetro maior, e, portanto, maiores polias, rolamentos e mancais, o que aumentaria os custos e peso do veículo de uma maneira indesejável. Desta forma, os aços se tornam uma opção melhor para eixos.

6. Os polímeros, de grande leveza e resistência média, devem ser levados em conta como uma segunda opção devido principalmente ao custo, inferior ao custo do alumínio e das fibras, e devido às suas características em termos de resistência. Quando trabalham com uma função da categoria de placas estruturais ou mesmo sob flexão (ver tabela 4), alguns polímeros têm propriedades relacionados á maior resistência e menor massa melhores do que as ligas de metais. O acrílico, por exemplo, possui características semelhantes às do titânio, ao ser utilizado como placas (ver figura 22), enquanto que o nylon tem características próximas dos aços, se utilizado sob flexão.

Baseados nestas observações, tomou-se as decisões a respeito do material a ser utilizado em cada peça, conforme mostrado no próximo capítulo.

5.2 Projeto das peças mecânicas

Após a definição do motor e da redução a ser utilizada, assim como de peças importantes tais como os servos motores e levando em consideração os fatores limitantes de espaço, pode-se partir para o projeto dos componentes mecânicos.

Para o desenho das peças foi utilizado o software comercial SolidWorks. Os desenhos de fabricação de todas as peças do veículo encontram-se em anexo.

5.2.1 Suportes da câmera e do motor.

As peças projetadas para a realização dos movimentos da câmera deverão ser usinadas em alumínio. Foi privilegiada no projeto destas peças a simplicidade de montagem.

Duas peças sustentam o servo que realiza o movimento de *pan*, e uma outra peça sustenta o servo que realizara o movimento de *tilt*.

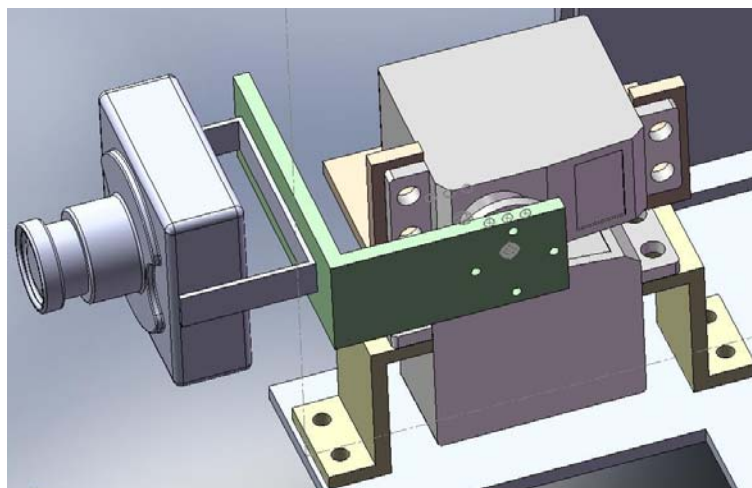


Figura 29 – Suporte do conjunto da câmera

A quarta peça sustenta a câmera. A câmera é fixada através de parafusos (Figura 29).

O suporte do motor foi projetado como uma peça usinada a partir de um bloco de alumínio. A fixação do motor é feita por meio de parafusos.

5.2.2 Eixos e mancais

Os mancais (Figura 30) onde serão colocados os rolamentos foram projetados de tal forma que se privilegie a resistência, facilidade de usinagem e restrições de espaço. Os mancais serão usinados em alumínio.

O projeto do eixo traseiro, de tração, foi peculiar pois a posição da coroa é particular devido ao reduzido espaço interno para os motores.

Após ser definida a posição que os motores irão ocupar (lado a lado, no sentido longitudinal, voltados para trás), projetou-se o eixo de tal forma que a coroa ficasse na posição correta para o encaixe da coroa com o pinhão. A posição dos mancais foi então definida.

Os eixos serão usinados em aço.



Figura 30 – Detalhe do mancal

5.2.3 Carenagem.

As paredes laterais do veículo foram projetadas baseadas nos sistemas de eixos e mancais, pois utilizou-se destas paredes para a fixação do eixo.

Elas foram projetadas levando-se em conta a facilidade de montagem do veículo. Inicialmente pensou-se utilizar alumínio para a construção das paredes laterais, conforme analisado no capítulo anterior. O capô do veículo seria construído de maneira que pudesse ser retirado em caso de necessidade, para quaisquer reparos, como uma caixa que se abre por cima.

Entretanto, percebendo que o receptor do controle remoto estará dentro do veículo, enviando sinais de rádio para o exterior, e também pensando na facilidade que se teria com paredes transparentes para análise de problemas sendo feitas de acrílico, optou-se por outra alternativa. Assim, escolheu-se o acrílico como material, que é transparente à luz e às ondas de rádio.

A concepção da carenagem também se modificou. As paredes foram repensadas como uma placa de acrílico dobrada em três partes, cobrindo totalmente o veículo. A parte traseira, não coberta por esta peça, fornece um acesso fácil ao interior do veículo, para a troca de baterias ou correção eventual de qualquer problema que se faça necessário.

5.2.4 Chassi

O chassi foi projetado a partir da disposição das outras peças projetadas anteriormente, e das dimensões de cada equipamento. Assim, reservou-se um espaço para a colocação da bateria, placa de controle, motores e fixação das paredes e mancais. O material escolhido para o chassi é alumínio.

Para economia de espaço, utilizou-se uma separação horizontal interna de maneira que os dispositivos fiquem colocados como em uma estante.

5.2.5 Polias e correias

Cogitou-se inicialmente adquirir as polias prontas, de alumínio. Entretanto, devido ao custo das mesmas, optou-se por usiná-las, utilizando nylon. Este material foi escolhido devido ao baixo custo e à baixa densidade, menor do que a do alumínio. Sendo que para o uso em polias, como analisado no capítulo 5, é uma boa opção de material.

As correias foram adquiridas em uma loja especializada, conforme as características projetadas.

6 ALIMENTACAO

As baterias utilizadas para alimentação de sistemas eletricos são inicialmente classificadas como recarregáveis e não-recarregáveis.

A bateria que deve ser utilizada neste projeto é uma bateria recarregável, para ser reaproveitada em diversas inspeções.

A seguir consta uma breve descrição de cada tipo de bateria comercial recarregável existente.

6.1 Tipos de baterias

Chumbo-ácido (SLA, Sealed Lead Acid)

Baterias de chumbo-ácido são conjuntos elétricos recarregáveis, que armazenam e liberam energia elétrica por meio de reações químicas entre chumbo e ácido sulfúrico. A maioria das SLA são de 12V, contendo 6 eletrodos de 2V, ou de 24 V, com 12 eletrodos de 2V.

Níquel-Cádmio (NiCd)

São baterias que utilizam hidróxido de níquel como catodo e cádmio como anodo. São comercialmente fornecidas em células de 1,2V cada uma, e são soldadas em série para se obter maiores voltagens, ou em paralelo para maiores correntes. Salienta-se que o cádmio é tóxico, portanto, é um tipo de bateria cuja fabricação e descarte geram resíduos poluentes para o meio-ambiente.

Níquel-Metal-Hidreto (NiMH)

Da mesma forma que a NiCd, utilizam níquel como catodo. Mas para o anodo, utiliza-se uma liga metálica que absorve hidretos. Desta forma, evita-se a utilização do poluente cádmio.

Lítio

Estas baterias utilizam íons de lítio no anodo e outro metal para o catodo. São dois tipos possíveis: as baterias de íon lítio combinadas com outro metal e as baterias de lítio-polímero. As de lítio-polímero (LiPo) diferem das primeiras devido a uma camada polimérica que diminui os riscos. Observa-se que qualquer bateria de lítio possui alta capacidade de armazenamento de energia (muito maior do que as anteriores, como será discutido adiante), mas também possui altos riscos. Todos os fornecedores destas baterias alertam seus clientes quanto a estes riscos e recomendam um cuidado extremo no seu manuseio. O principal risco destas baterias é o fogo, que surge com o simples contato do lítio com oxigênio do ar. O fogo provocado por uma bateria de lítio pode chegar a milhares de graus, podendo causar graves incêndios.

Para a escolha da bateria mais adequada para o projeto, algumas características importantes devem ser avaliadas.

A seguir são detalhadas estas características e é apresentada uma comparação entre as baterias em relação a cada uma destas características.

6.2 Características das baterias

Preço.

Sendo uma restrição ao projeto do veículo, é mais que justificável a inclusão deste fator na escolha da bateria. As mais caras são as de lítio, seguidas de forma decrescente das NiMH, NiCd, e, por fim, das SLA, as mais baratas.

Peso.

Dependendo do tipo, as baterias podem acrescentar muito peso ao veículo. É, portanto, importante saber as relações capacidade/peso ou energia/peso das baterias, que expressam a quantidade de energia armazenada por quilo da bateria. Neste ponto, quem se destaca são as de lítio.

Auto-descarga.

Todas as baterias se descarregam espontaneamente, através de processos químicos internos, quando não estão em uso. Este processo é denominado auto-descarga. Normalmente, a taxa de auto-descarga é definida como uma porcentagem da capacidade nominal que é perdida por dia ou mês de armazenamento.

Tempo de carga

O tempo de carga é o tempo mínimo que a bateria precisa para ser completamente carregada. As de NiCd são as que necessitam de menos tempo, normalmente cerca de 1 hora, mas chegando a 15 minutos em alguns casos. As de lítio precisam de no mínimo 1 hora, da mesma forma que as NiMH. As SLA podem precisar de várias horas para serem carregadas.

Tempo de vida.

É o tempo que uma bateria pode ser utilizada sem esgotar sua utilidade. O tempo de uso depende muito do uso e da forma de armazenamento. Por exemplo, uma bateria de NiCd armazenada a 40°C duram menos de 2 anos, enquanto que se forem guardadas a 5°C em refrigerador podem atingir 20 anos de uso sem perda de desempenho.

Número de ciclos de recarga.

O número de ciclos de recarga é o número de vezes que uma bateria pode ser recarregada sem perder sua funcionalidade. Para as baterias SLA e NiMH, o número de ciclos de recarga é próximo de 500; 1500 para NiCd, e chegando a 10000 para algumas baterias de LiPo.

Resistência interna

A resistência interna está em série com o circuito na qual está inserida. Portanto, quanto menor sua resistência interna, maiores picos de corrente ela poderá fornecer. As NiCd possuem resistência interna muito pequena. As de NiMH possuem resistência intermediária enquanto que as de lítio possuem resistência interna maior.

Curva de descarga

Conforme a bateria é descarregada, a tensão tende a cair. A curva da tensão em função do tempo de uma bateria é a sua curva de descarga. A figura 31 apresenta a curva de descarga de algumas baterias. Salienta-se que a curva de descarga da NiCd é semelhante à de NiMH.

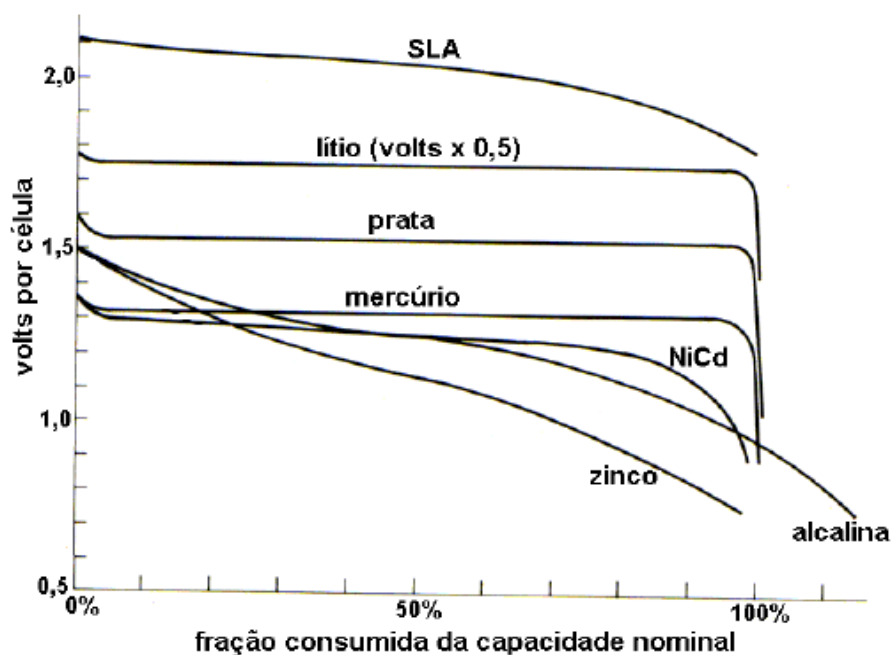


Figura 31 - Curvas de descargas de algumas baterias

Nota-se a inclinação da curva de descarga das SLA, o que significa que um sistema utilizando SLA perderá velocidade e potência ao longo do tempo. As baterias não-recarregáveis de zinco e alcalina também possuem este comportamento.

Já as baterias de lítio possuem uma curva de descarga quase horizontal, tendo uma repentina queda de tensão quando a bateria se esgota. As baterias de NiCd e NiMH possuem uma curva intermediária, sendo horizontal durante a maior parte do descarregamento e com uma queda não tão brusca quanto as de lítio.

Capacidade

A capacidade das baterias é a medida da quantidade de corrente que a bateria fornece até ser descarregada. A unidade de medida da capacidade é o Ah, ou seja, a capacidade é o produto da corrente em amperes que a bateria fornece

pelo tempo de descarga da bateria quando fornece esta corrente. Por exemplo, uma bateria SLA de 12 Ah nominais fornece, teoricamente, 12 A contínuos durante 1 hora, ou, teoricamente, 24 A durante 1/2 de hora, isto é, 30 minutos. Na prática, estes valores se alteram, pois deve-se considerar também o efeito do de-rating factor, apresentado a seguir.

De-rating factor

A capacidade nominal das baterias são medidas com base em um determinado tempo de uso, ou descarregamento. Tomando a bateria SLA do exemplo acima, a medida de 12 Ah foi obtida com base em um tempo de descarregamento de 20 horas. Ou seja, se for solicitado da bateria $12/20 = 0,6$ A, ela efetivamente se descarregará em 20 horas. Entretanto, se for solicitada da mesma 12 A, ela não durará 1 hora. Isto porque, se for tomado um tempo de descarregamento de 1 hora, sua capacidade medida será de 7 Ah. Isto é, para um tempo de uso de 1 hora, ela fornece 7 A. Assim, a capacidade da bateria é função do tempo de descarregamento. O gráfico abaixo apresenta, para várias baterias, a relação entre o tempo de descarregamento e a capacidade da bateria.

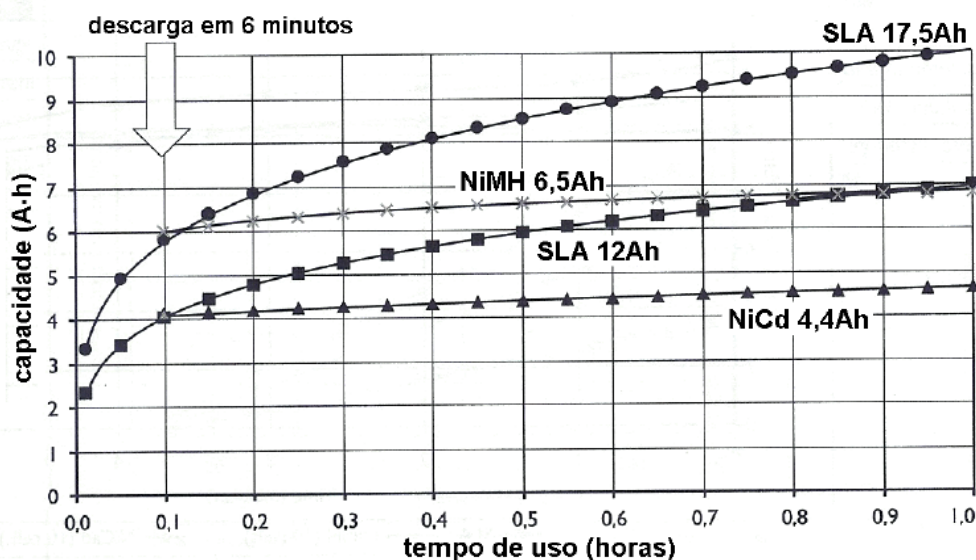


Figura 32 - Relação entre o tempo de descarregamento e a capacidade da bateria.

Observa-se que a bateria SLA de 12 Ah, para um tempo de descarregamento de 1/2 hora, possui uma capacidade real de 5,9 Ah. Isto significa que ela fornecerá

11,8 A durante 30 minutos de uso, e não 24 A como obtido teoricamente no item anterior.

Assim, para tempos de descarregamento diferentes daquele utilizado para a medição da capacidade nominal, existe um fator de conversão através do qual se obtêm a capacidade real a partir da capacidade nominal. Este fator é o de-rating factor.

Se a bateria SLA de 12 Ah for utilizada durante 30 minutos, o de-rating factor corresponde a 0,49, pois $0,49 \times 12 \text{ Ah} = 5,9 \text{ Ah}$.

Nota-se pelo gráfico que as baterias de níquel (NiCd e NiMH) não variam muito sua capacidade de carga com o tempo de uso. Além disso, a capacidade nominal destas baterias é medida com base em um tempo de uso de 1 hora, ao invés das 20 horas da SLA. O de-rating factor de uma bateria NiMH fica em torno de 0,97 para 30 minutos, e de uma NiCd é cerca de 0,95.

Capacidade de descarga

A capacidade de descarga é a corrente que pode ser solicitada da bateria sem que ela se aqueça de forma a produzir danos. Ela é quantificada pelo número de vezes a capacidade nominal da bateria. Por exemplo, uma capacidade de descarga 8C significa que a bateria suporta continuamente no máximo 8 vezes a corrente nominal sem se aquecer consideravelmente. Se a bateria for de 3,6 Ah, ela tolera $8 \times 3,6 = 28,8 \text{ A}$ contínuos.

Efeito-memória

Este efeito surge quando uma bateria é recarregada antes de ser completamente descarregada. O efeito memória faz com que a bateria só considere a carga que foi adicionada, de tal forma que ela se esgota antes do tempo previsto. As baterias de NiCd sofrem muito do efeito-memória.

A tabela abaixo resume as características de cada tipo de bateria.

Tabela 7 - Características de diferentes tipos de bateria.

	SLA	NiCd	NiMH	LiMn₂O₄
Comercialização desde	1881	1956	1990	1999
Capacidade usual (mAh)	2500	600	1200	800
Voltagem da célula (V)	2	1,2	1,2	3,6
Resistência interna (mOhms)	120	16	30	60
De-rating factor (30min de uso)	0,49	0,95	0,97	
Energia específica (Wh/kg)	25-40	40-60	60-80	160
Potência específica (W/kg)	180	150	250-1000	1800
Capacidade de descarga	10C	40C	20C	40C
Tempo médio de carga (horas)	>10	4	6	8
Número de ciclos de recarga	400	1000	600	500-10000
Auto descarga por mês	10%	15%	20%	1%
Comentários adicionais		-Efeito de memória -Tóxico		-Altamente inflamável

6.3 Escolha da bateria

Para a escolha da bateria deve-se ainda atentar para os seguintes fatores, relacionados com este projeto específico:

- O veículo tem limitação de peso. Portanto, quanto mais leves forem as baterias, melhor.
- Não será solicitada da bateria picos de corrente, a não ser no arranque do motor. Os equipamentos do veículo consumirão uma corrente praticamente constante durante a inspeção. Isto significa que a resistência interna não é uma característica relevante para a escolha da bateria.

Como conclusão deste estudo, gerou-se a tabela de decisões (maiores notas equivalem a melhores opções e maiores pesos a maior importância do critério) a seguir:

Tabela 8 - Tabela de decisões

Critério	Peso	SLA	NiCd	NiMH	LiMn₂O₄
Energia específica (Wh/kg)	5	1	3	6	10
Potência específica (W/kg)	5	2	2	6	10
Capacidade de descarga	2	2	8	4	8
Tempo médio de carga (horas)	3	2	8	6	4
Número de ciclos de recarga	4	2	5	3	10
Auto descarga por mês	1	3	2	1	10
Total	20	36	87	99	178

As baterias de Lítio mostraram-se excelentes opções; entretanto, devido ao fato de serem altamente inflamáveis, optou-se por utilizar as baterias de NiMH. Estas são baterias muito utilizadas atualmente em automodelismo ou aeromodelismo, e muito fácil de encontrar em lojas especializadas deste ramo.

7.4 Dimensionamento da bateria

Deve-se agora dimensionar a bateria que deverá ser utilizada. A tabela abaixo fornece os valores de corrente e tensão que serão exigidos da bateria.

Tabela 9 - Solicitação de corrente e tensão da bateria

	Corrente (mA)	Tensão (V)
Câmera	300	12
3 LEDs de iluminação	3 X 50	3,4
Transmissor UHF	500	12
2 Motores	2 X 1000	12
2 Servos	2 X 100	6
Placa de controle	100	12
Receptor FM	500	6
Solicitação Total:	3750	12

Por margem de segurança, admite-se 4000mA. As pás que deverão ser inspecionadas terão até 47 metros de comprimento. Considerando 50 metros para uma margem de segurança, isto significa cerca de 100 metros de percurso (ida e volta). Considerando uma velocidade média de inspeção de 10cm/s, cada inspeção durará 16,67 min. Arredondando para 20 min, será exigido portanto da bateria:

$$4000mA * \frac{1}{3}h = 1334mAh$$

Ou seja, arredondando: 1400mAh com capacidade de descarga mínima de 3C.

As baterias de NiMH possuem 20C, que é mais que suficiente.

Considerando que cada célula orçada de NiMH possui 2600mAh, com um *de-rating factor* de 0,98, teremos 2548mAh, que é suficiente para uma inspeção. Ligando –se duas células em paralelo teremos 5200mAh, que com um *de-rating factor* de 0,98 se resume a 5096mAh, suficiente para três inspeções.

Como cada célula de NiMH possui 1,2V, serão necessárias 10 pacotes de duas células ligadas em série (total: 20 pilhas) para cumprir os requisitos do projeto.

7.5 Carregadores

Existem dois tipos de carregadores para baterias: os de voltagem constante e os de corrente constante.

- *Carregador de Tensão Constante*

Nesse tipo de carregador a tensão aplicada na bateria é alguns volts acima da tensão máxima que a bateria vai apresentar quando estiver carregada.

Não há dispositivo de controle da corrente durante o carregamento, apenas um pequeno resistor que limita a corrente para a bateria quando esta estiver descarregada.

Devido á tensão constante, o próprio carregador se "auto regula": no início da carga, quando a bateria está sem carga, a corrente fornecida pelo carregador é máxima, geralmente 10 a 20% maior que a corrente nominal da bateria. Conforme a bateria é carregada, a corrente de carga vai diminuindo proporcionalmente ao

aumento da tensão da bateria, que vai se aproximando da tensão do carregador. Quando a bateria está carregada, a diferença de tensão entre ela e o carregador é pequena, ficando a corrente reduzida a poucos miliampères (mA).

Esta é a principal vantagem desse tipo de carregador, se o operador esquecer a bateria sendo carregada por um período maior que o necessário, a bateria não sofrerá danos devido à sobrecarga. É um tipo de carregador muito comum de baixo custo, devido à sua simplicidade de fabricação.

- *Carregador de Corrente Constante*

Com este tipo de carregador, sabendo-se a capacidade da bateria que se quer carregar e qual a corrente que o carregador fornece continuamente, determina-se o tempo exato de carregamento. Este tipo de carregador é aquele melhor indicado para carregar as baterias de NiCd e NiMH, porque o processo de carga a corrente constante leva a bateria a um maior rendimento.

São carregadores mais complexos e, portanto, de maior custo do que os de tensão constante.

São constituídos de uma fonte de corrente constante e um timer que desliga o carregador após um período pré-programado.

Os modelos mais sofisticados possuem também microprocessadores que são programáveis para controlar alguns parâmetros, tais como o número de células a serem carregadas e o valor da corrente de carga, que pode variar de alguns miliampères até vários ampères, dependendo da velocidade que se deseja realizar o carregamento. Por exemplo, para uma bateria de 1200mAh, pode-se aplicar uma carga lenta (C/10) regulando o carregador para 120mA de corrente de carga durante um tempo de 14 horas. Com esta corrente, teoricamente teríamos um carregamento completo em 10 horas. As quatro horas a mais são necessárias porque, embora o carregador forneça uma carga em regime constante, as reações químicas no interior da bateria não se processam linearmente, e o tempo a mais garante que as reações na bateria serão completas e ela estará completamente carregada.

Um tempo muito curto de carregamento pode levar a bateria a um superaquecimento. A maioria dos fabricantes de baterias de NiCd e NiMH recomendam que a carga rápida (fast charge) seja realizada de maneira que a corrente aplicada não exceda a capacidade nominal das mesmas. Desta forma a

carga estaria completa em 1 hora no máximo. É preferível que as baterias sejam carregadas com carga lenta (14 - 16 horas) com uma corrente de carga de C/10, para um aumento da vida útil.

Existem no mercado dois principais carregadores a corrente constante> o Triton e o SuperCycler (Figura 33).



Figura 33 - Fotos dos carregadores a corrente constante Triton 2 (à esquerda) e Super Cycler XT (à direita).

Características do Super Cycler XT:

- 2 canais totalmente independentes;
- Quantidade de células por canal = 12 x 1,25 ou 15 volts;
- Terminação de carga = Tempo, Zero Delta V (NiCd e NiMH), CC/CV (Li-Íon) e Temperatura (opcional);
- Alimentação 12 volts cc;
- Capacidade máxima de carga para NiMH: 0-5000mAh

Características do Triton 2:

- 1 canal;
- Quantidade de células por canal = 24 x 1,2 ou 28 volts;
- Terminação de carga = Tempo, Zero Delta V (NiCd e NiMH), CC/CV (Li-Íon) e Temperatura (opcional);
- Alimentação 12 volts cc;
- Capacidade máxima de carga para NiMH: 0-9900mAh.

Observa-se que o Triton agrega algumas vantagens relevantes em relação ao Super Cycler, para pouca variação no preço. Assim, definiu-se a escolha pelo Triton.

8 FUNCIONAMENTO GLOBAL DO VEÍCULO

Há três tipos de sinal dentro do veículo: o sinal do vídeo, o sinal para controle dos servos e motores, e a corrente que liga a iluminação do veículo.

A iluminação do veículo pode ser controlada apenas no próprio veículo, portanto não é possível desligar a fonte de luz pelo controle remoto.

O sinal do vídeo será emitido pela câmera para o transmissor UHF, que enviará o sinal, em UHF, para um receptor acoplado na TV.

O sinal de controle dos motores e servos será enviado do transmissor FM para o receptor, onde haverá uma divisão: os canais que controlam os servos serão ligados diretamente a eles, e os canais que controlam os motores serão ligados ao microcontrolador PIC. O microcontrolador acionará o driver de potência, que acionará o motor CC.

As figuras 35 e 36 apresentam desenhos esquemáticos do funcionamento global do veículo.

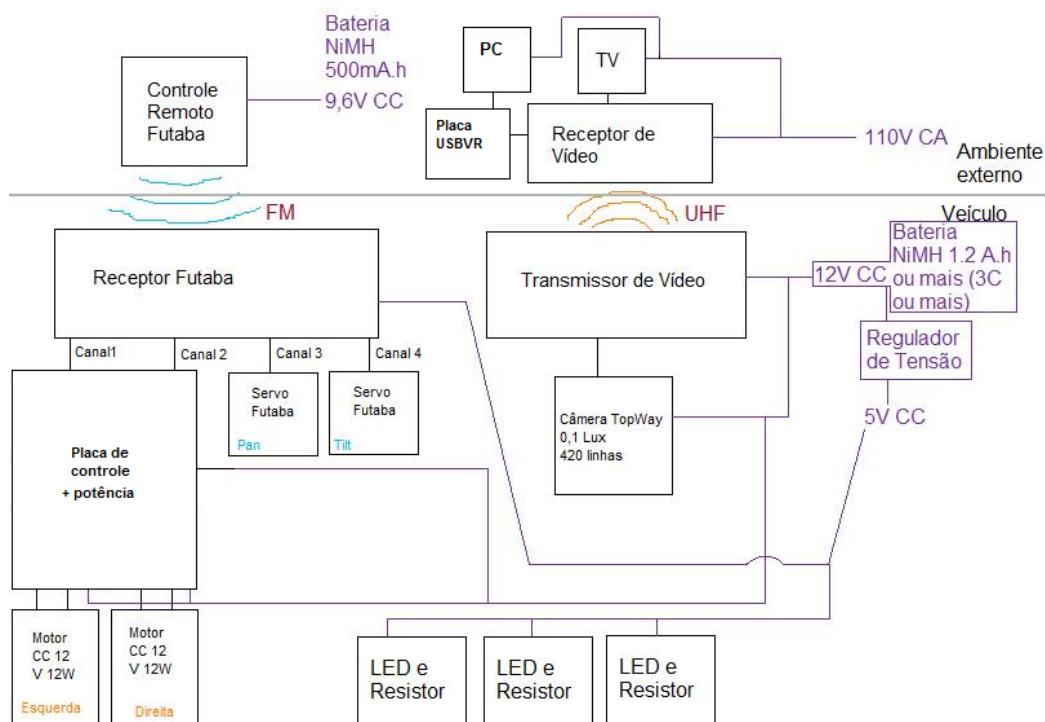


Figura 35 – Esquema de funcionamento do veículo.

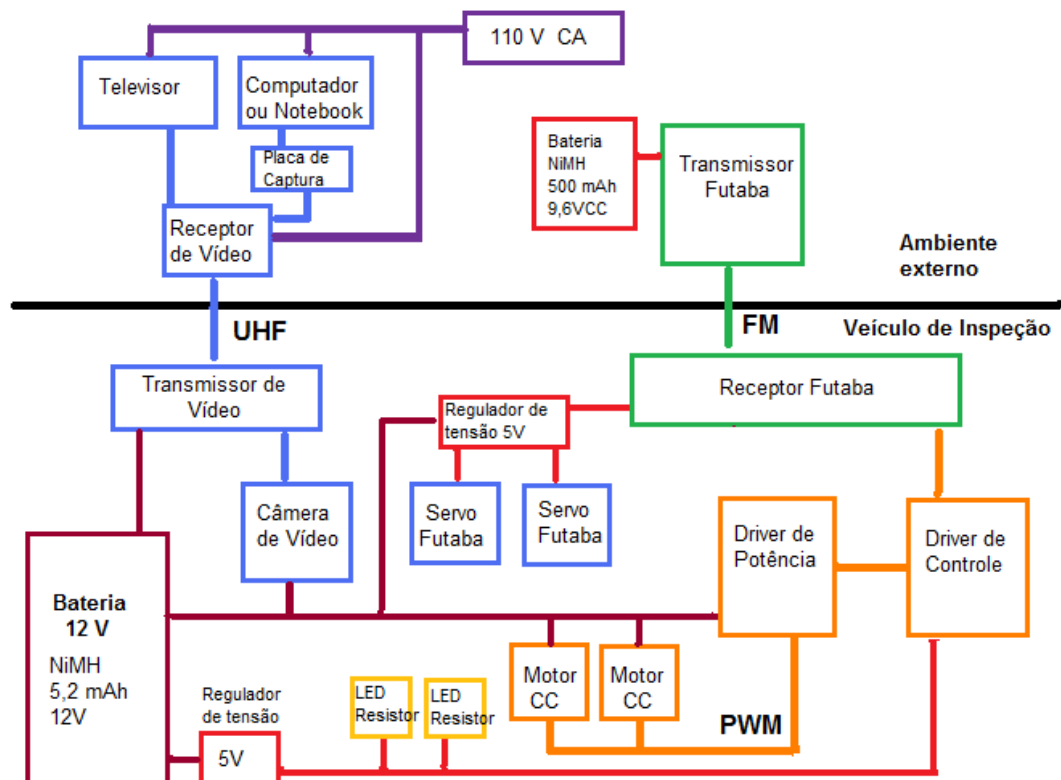


Figura 36 – Esquema do veículo, destacando-se os sistemas embarcados no veículo ou pertencente ao exterior do mesmo. Azul: Sistema de Visualização. Verde: Sistema de Comando do Veículo. Laranja: Sistema de Locomoção. Amarelo: Sistema de Iluminação. Lilás: alimentação 110V. Vermelho: alimentação menor que 12V. Vermelho escuro: Alimentação 12V.

9 FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO

Durante a construção do protótipo algumas mudanças foram realizadas em relação ao que foi inicialmente pensado, tais como o material da polia e o material da carenagem. Estas mudanças foram incorporadas ao projeto.

Durante a fabricação, percebeu-se que as correias desempenhando um papel de locomoção como de tanque poderiam trazer tensões excessivas e desnecessárias ao chassi do veículo e aos eixos. Devido ao fato de os eixos serem independentes, estas tensões poderiam comprometer o funcionamento dos eixos, além de trazer danos ao chassi do veículo. Assim, optou-se por colar as correias nas polias á maneira de um pneu, permanecendo assim a aderência com o solo e a altura do veículo em relação ao solo, sem gerar tensões na estrutura.

Entretanto, um novo problema veio a se apresentar: o veículo não fazia curvas. Com a configuração de esteiras, a locomoção em forma de tanque funciona pois, em uma curva, todo um lado do veículo exerce a força sobre o solo para virar. Com a retirada da esteira, todo o esforço de realização da curva recai sobre um dos motores traseiros. Entretanto, um motor traseiro não tem torque suficiente para carregar todo o veículo, levando-o a mudar de direção. Isto só foi percebido após a finalização da construção do carrinho.

Assim, foi necessário procurar uma nova solução. Após pensar-se em várias delas, chegou-se á conclusão que a estrutura do veículo deveria ser alterada. A maneira mais eficiente seria aquela que demandasse o menor tempo possível para isso, e gerasse resultados satisfatórios.

Foi então decidido que o chassi do veículo seria partido, de tal maneira que a parte traseira do veículo, que possui os motores e as transmissões seriam parte de uma parte articulada do veículo.

Um exemplo fácil de se visualizar é uma carreta, que possui duas partes: uma maior que leva a carga, e outra menor que exerce a tração. Como a tração do veículo é traseira, esta seria a parte menor, e a parte maior a parte dianteira. A característica deste formato é que automaticamente, quando a configuração dos motores estiver no sentido de se realizar uma curva, esta parte articulada altera facilmente sua direção, levando toda a outra parte ligada a ela a se mover nesta nova direção.

Um esboço da idéia da nova configuração é apresentado na figura 37.

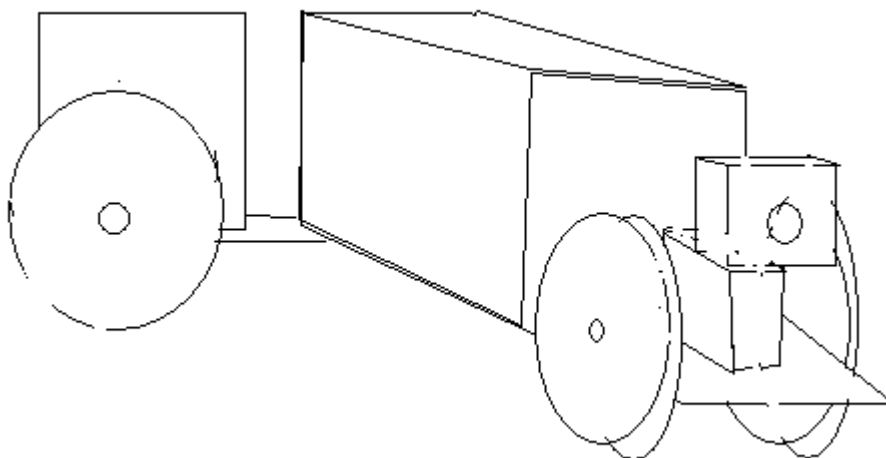


Figura 35 – Esboço da nova configuração do veículo.

Uma desvantagem desta configuração é a dirigibilidade. O usuário deverá se familiarizar com o modo de dirigir para manter o veículo na direção que deseja.

Uma vantagem a ser salientada é a facilidade de se realizar manobras, devido ao maior número de graus de liberdade que o veículo possui.

Confrontando esta solução com todos os pré-requisitos do projeto, percebe-se que ela atende a todos. Ao orçamento do veículo, esta nova configuração não trouxe influência, pois o acréscimo de material utilizado foi proveniente da sobra do que já havia sido adquirido.

Quanto á parte de programação e montagem eletrônica demandou um pouco de dedicação para acertos de pequenos erros que surgem normalmente da aplicação da teoria em projetos reais, mas estas dificuldades foram trabalhadas e pensadas de maneira a resolvê-las.

10 CONCLUSÃO

O projeto está dentro das restrições e especificações propostas.

Salienta-se a facilidade de manobrar o protótipo devido á utilização de controle remoto de aeromodelismo, o que confere ao veículo dirigibilidade semelhante á de um carrinho de controle remoto para crianças.

Outro ponto relevante a se considerar é o orçamento do projeto, que se apresentou bem abaixo do limite máximo previsto.

Um possível ponto fraco para o protótipo é a ausência de visualização para trás, para o caso de ser necessário o retorno do mesmo em locais em que não há espaço para manobras. O fio de nylon auxiliará a máquina a alinhar-se ao caminho para retorno na marcha ré.

Todos os desenhos de fabricação, os esquemas, o programa computacional, e o um manual de instruções para o usuário do veículo, estão em anexo.

REFERENCIAS

(1) WIKIPEDIA. Encyclopedie Libre. Énergie Éolienne. Apresenta uma visão geral a respeito da exploração da energia eólica. Disponível em:
<http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_%C3%A9olienne>. Acesso em : 8 de Abril de 2007.

(2) CANADIAN WIND ENERGY ASSOCIATION. Apresenta a notícias a respeito da energia eólica. Disponível em :
http://www.canwea.ca/french/news_releases_fr.cfm?ID=41. Acesso em : 25 de Abril de 2007.

(3) La Production d' Électricité d'Origine Renouvelable dans le Monde - 5ème inventaire. 5 de março 2004. Disponível em :
<[http://www.edf.com/41523d/Accueilfr/Presse/Touslesdossiersdepresse/5emeinventairedeLaproductiondelectricitedoriginerenouvelabledanslemonde:La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde](http://www.edf.com/41523d/Accueilfr/Presse/Touslesdossiersdepresse/5emeinventairedeLaproductiondelectricitedoriginerenouvelabledanslemonde:La%20production%20d%27electricite%20d%27origine%20renouvelable%20dans%20le%20monde)> Acesso em : 17 de abril de 2007.

(4) WIKIPEDIA. Encyclopedie Libre. Débat sur L'Énergie Eolienne. Apresenta uma visão geral a respeito das vantagens e desvantagens da exploração da energia eólica. Disponível em:
http://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9bat_sur_l%27%C3%A9nergie_%C3%A9olienne
Acesso em : 20 de Abril de 2007

(5) KRISTINSSON K., RAO R. Learning to Grow: A Comparative Analysis of the Wind Turbine Industry in Denmark and India. In: DRUID-DIME WINTER CONFERENCE. Aalborg, January 26-28, 2006. Disponível em:
<<http://www.druid.dk/conferences/winter2006/papers/dw2006-654.pdf>> Acesso em : 30 de maio de 2007.

(6) RENEWABLES MADE IN GERMANY. Énergie Éolienne. Apresenta a exploração da energia eólica na Alemanha. Disponível em : <<http://www.renewables-made-in-germany.com/fr/energie-eolienne>> Acesso em: 10 de junho de 2007.

(7) WIKIPEDIA. Encyclopédie Libre. Éolienne. Apresenta dados a respeito da exploração da energia eólica. Disponível em: <<http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89olienne>> Acesso em : 8 de Abril de 2007 .

(8) LM GLASFIBER. Apresenta a empresa LM Glasfiber. Disponível em : <<http://www.lmglasfiber.com/Technology/Design/Wing%20construction.aspx>> Acesso em : 12 de junho de 2007

(9) AIRDUCT INSPECTION ROBOT. Apresenta um robô de inspeção de dutos de ar. Disponível em:<<http://asl.epfl.ch/research/systems/Scrappy/scrappy.php>> Acesso em : 2 de Abril de 2007.

(10) ROBOT MOBILE IRBOT. Apresenta a fabricação de um robô para diversão. Disponível em : <http://www.robot-mobile-irbot.com/> Acesso em : 2 de Abril de 2007.

(11) CHIAVERINI, VICENTE. Tecnologia Mecânica. Volume 1. 2ª edição. Makron Books, São Paulo, 1986.

(12) BISSOLI, JOSÉ GUILHERME. ESTEVES, GUILHERME PISSAIA. Robô Aspirador de Pó (Vacuum Cleaner Robot). Trabalho de Formatura, Departamento de Engenharia Macatrônica – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

ANEXO A

CÓDIGO FONTE DO PROGRAMA IMPLEMENTADO NO MICROCONTROLADOR.

```
#include "C:\desenv~2\ccs\examples\16F873.h"
#fuses XT,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#use delay(clock=4000000)
long passo1;
long passo2;
#int_timer1 /* interrupcao */
intreq(){
    set_timer1(65486); /* seta timer 1 */
    if (input (PIN_B1) == 1) passo1++;
    else {
        if (input (PIN_B2) == 1) passo2++;
        else {
            if (passo1!=0 && passo2!= 0) {
                set_pwm1_duty((passo1*25-210)+(330-passo2*10-165));
                set_pwm2_duty((passo1*25-210)+(passo2*10-165));
                /* centralizado: passo*20-125*/
                passo1 = 0;
                passo2 = 0;
            }
        }
    }
}

void main () {
    setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1); /* seta timer 1, sem divisão de
frecuencia*/
    setup_timer_2(t2_div_by_1,99,1);
    setup_ccp2(ccp_pwm);
    set_pwm2_duty(28);
    setup_ccp1(ccp_pwm);
    set_pwm1_duty(80);
    enable_interrupts(global);
    enable_interrupts(int_timer1);
    SET_TRIS_B(0b00000110); /*seta as portas B1 como entrada (input), e as outras portas B
como saída (output)*/
    passo1 = 0;
    passo2 = 0;
    while (TRUE) {
    }
}
```

ANEXO B

MANUAL DE INSTRUÇÕES **Veículo de Inspeção**

Índice

1	Instruções de Segurança	2
2	Introdução	3
3	Uso previsto	3
4	Componentes	4
5	Instruções de uso	
	5.1 Ligando o equipamento	4
	5.2 O controle	5
	5.3 Controlando o deslocamento do Veículo de Inspeção	6
	5.4 Controlando a câmera	6
6	Manutenção	7
7	Especificações técnicas	7

1- Instruções de Segurança

CUIDADOS

Para evitar qualquer tipo de acidente ou incidente que venha a causar ferimentos ao usuário, siga sempre as instruções a seguir.

BATERIAS

- **Não deixe cair nem dê um choque forte nas baterias.** Pode haver um curto-circuito causando superaquecimento e vazamento do eletrólito, resultando em queimaduras ou danos por agente químico.
- **Não jogue as baterias no fogo e nem as aqueça. Não desmonte e nem tente reconstruí-las.** Quebra, superaquecimento e vazamento de eletrólito podem causar ferimentos, queimaduras ou cegueira.
- **Siga rigorosamente as instruções do carregador para carregar as baterias.** Lembre-se: as baterias do controle são de **NiCd** (NíquelCádmio). As baterias do carrinho são de **NiMH** (Níquel Metal Hidreto).
- **Se o veículo não for ser usado por muito tempo, REMOVA as baterias do controle e do carrinho e guarde-as em um lugar seco.** Se as baterias permanecerem nos equipamentos, o eletrólito pode vazar degradando a performance e encurtando a vida do controle e do veículo.

CONTROLE

Não guarde o sistema de controle nos seguintes lugares:

- Muito quente (mais de 40 ° C) ou muito frio (-25 ° C ou menos).
- Onde há exposição direta ao sol.
- Alta umidade.
- Vibrações fortes.
- Muita poeira ou vapor.

2- Introdução

Este manual fornece instruções para a operação normal do Veículo de Inspeção.

Não está incluso neste manual todas as instruções referentes à operação das partes que compõe o carrinho (ver capítulo 3). Para instruções a respeito dos componentes, procurar com o manual do fabricante de cada um.

As observações importantes devem ser seguidas com rigor para não causar danos ao equipamento, ao usuário, ou a outros materiais.

3- Uso previsto

O Veículo de Inspeção destina-se à captação de imagens em ambientes de pouca luminosidade, difícil acesso devido às dimensões reduzidas, e que possibilita a transmissão de sinais FM e UHF. Foi projetado com o objetivo de inspecionar pás eólicas.

4- Componentes

Compõe o Veículo de Inspeção as seguintes partes:

- Um carrinho.

O carrinho contém as seguintes partes principais:

- Uma minicâmera marca KTC, modelo 320CHD Color CCD.
- Dois servos marca Futaba, modelo S3004 e seu suporte.
- Um transmissor UHF marca KTC, modelo RT 500 2.4GHz
- Dois motores marca ActionMotors, modelo MR101-140M-PT.
- Sistema mecânico: eixos, mancais, rolamentos, engrenagens, carenagem, chassi, quatro polias, duas correias.
- Uma placa de controle
- Um receptor FM R127DF.
- Uma bateria NiCd do receptor.
- Uma bateria NiMH dos motores.

- Um controle FM marca Futaba, modelo T4YF.

- Um carregador de bateria Triton2.

5- Instruções de uso

5.1 Ligando o equipamento.

Precaução: verifique se antena do transmissor não está solta. Pode haver perda de controle do veículo se a antena se desprender durante a inspeção.

Para ligar:

- 1- Ligar o controle.
- 2- Ligar o carrinho.

Para desligar:

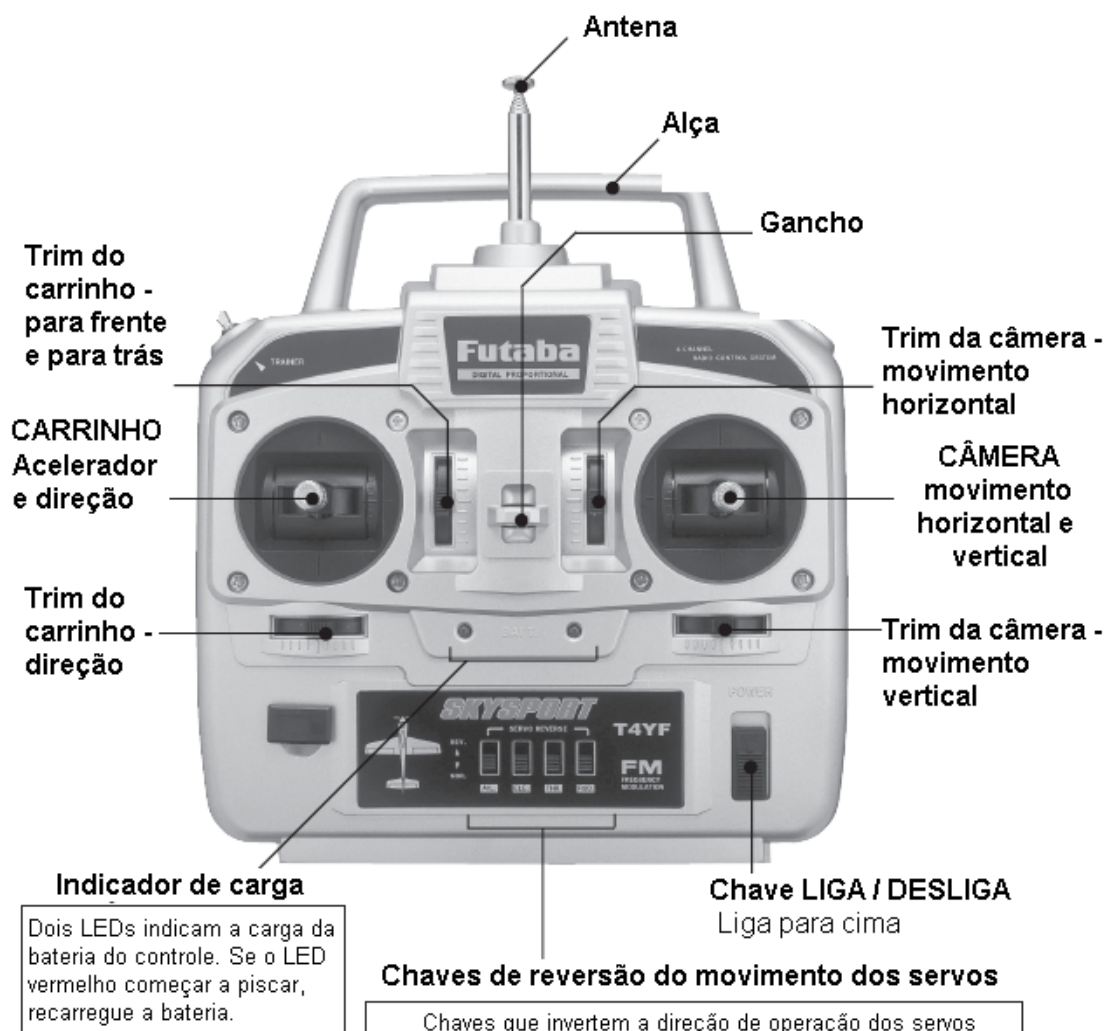
- 1- Desligar o carrinho.
- 2- Desligar o controle.

ATENÇÃO:

- **Não ligar o carrinho ANTES do controle.**
- **Não desligar o controle ANTES do carrinho.**

Se o carrinho estiver ligado com o controle desligado, as interferências que o receptor capta podem resultar em movimentos bruscos imprevisíveis do carrinho, causando danos a ele mesmo, a uma pessoa ou a outros equipamentos.

5.2 O controle:

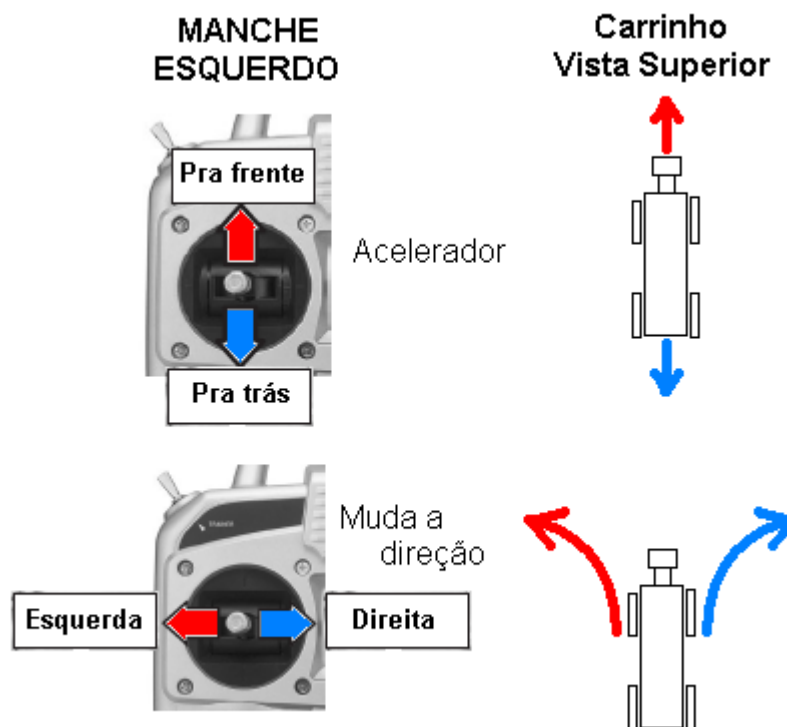


ATENÇÃO:

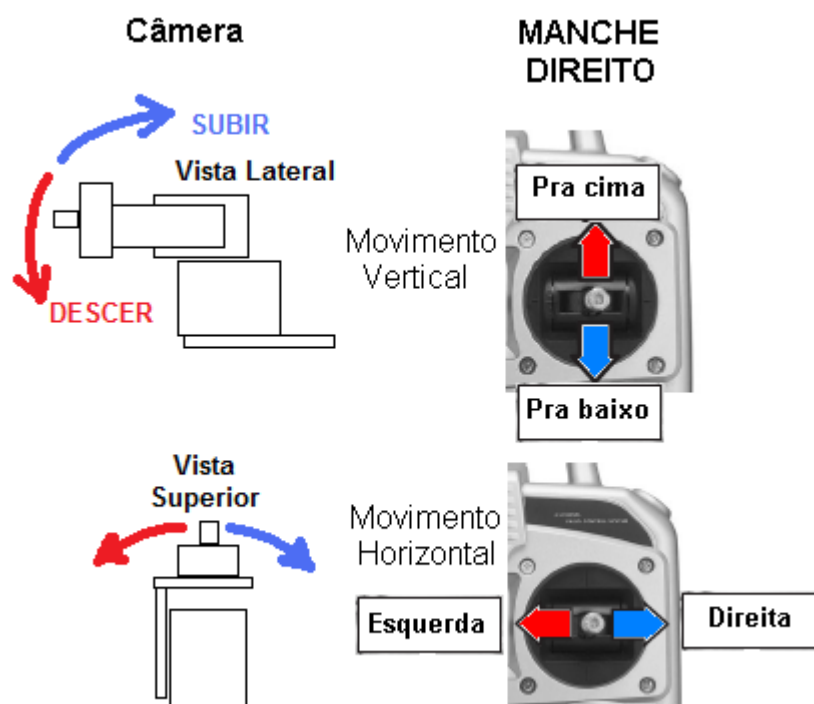
**NÃO MUDE A POSIÇÃO
DAS CHAVES DE REVERSÃO
E DOS TRIM.**

**Eles foram previamente regulados para o
manuseio adequado do Veículo de Inspeção**

5.3 Controlando o deslocamento do Veículo de Inspeção



5.4 Controlando a câmera.



6- Manutenção

Para a retirada da bateria para carregamento, ou de outros componentes internos para ajustes, basta retirar a tampa traseira da careenagem e retirar a gaveta interna.

O carregamento da bateria do motor deve ser feito segundo instruções do carregador Triton2.

A bateria do motor consiste em dois pacotes unidos em paralelo, cada um com 12V e 5200mAh. Para o carregamento, recomenda-se separar os dois pacotes, carregando-os separadamente. O carregador tem em sua memória o programa [1], de carregamento para uma bateria de NiMH de 12V, e 2600mAh, prevendo um tempo de carregamento de cerca de 5 horas.

Salienta-se que o carregador é programável, podendo este tempo ser reduzido para até 45 min, se for utilizada uma corrente de carregamento de 5.2V (ver manual, como obter o tempo mínimo de carregamento com segurança).

Observa-se também que o bom funcionamento do carregador está condicionado à presença de uma fonte que forneça a corrente requerida, a uma tensão de 12V, sem muitas oscilações.

O carregamento da bateria do receptor FM deve ser feito de acordo com as instruções do manual da Futaba.

7- Especificações técnicas

- Um carrinho.

- Dimensões principais: 150X150X
- Massa: 5 kg

- Uma minicâmera marca KTC.

- Modelo : 320CHD
- Dispositivo de Imagem : CCD 1/4" Sharp
- Número de pixels : (H) 510 X (V) 492
- Sistema de Sincronismo : Interno
- Resolução Horizontal : 420 Linhas
- Sinal de Vídeo : 1 Vpp 75 Ω
- Características de Gamma : 0,45
- Iluminação mínima : 0,1 Lux P/B - 0,5 Lux Color
- Lente : 3,6mm
- Consumo : 12 Vdc 300 mA
- Temperatura de Operação : (-10° ~ 50°) 95% umidade
- Temperatura de Armazenamento : (-20° ~ 60°) 95% umidade

- Dois servos marca Futaba, modelo S3004 e seu suporte.

- Servos standard (padrão)
- Requerimento de força: 4.8 V (compartilhada com o receptor)
- Consumo de corrente: 8mA (estacionário)
- Torque de saída: 3.2 Kg-cm (4.8V)
- Velocidade de Operação: 0.23seg./60°

- Transmissor/Receptor UHF marca KTC, modelo RT 500

- Frequência: 2,4Ghz
- Canais no Transmissor: 8
- Canais no Receptor: 12
- Alcance: 500 metros em campo aberto

- Dois motores marca ActionMotors, modelo MR101-140M-PT.

- Comprimento máximo: 76,2 mm
- Diâmetro máximo: 41,3 mm
- Tensão Vdc: 12V
- Em vazio:
 - o Rotação: 140 rpm
 - o Corrente: 0,34 A
- Máximo rendimento:
 - o Rotação: 101 rpm
 - o Torque: 10,2 kgf.cm
 - o Corrente: 1,62 A
- Máximo torque:
 - o Torque: 12 kgf.cm
 - o Corrente: 1,8 A

- Sistema mecânico: eixos, mancais, rolamentos, engrenagens, carenagem, chassi, quatro polias, duas correias.

- Uma placa de controle

- Um transmissor marca Futaba, modelo T4YF.

- 2 Manetes, 4 canais, transmissor FM
- Frequência de transmissão: 72 MHz
- Método de modulação: FM (Frequencia Modulada)
- Requerimentos de Força: bateria níquel-cádmio de 9.6 volts
- Consumo de corrente: 180mA

- Um receptor R127DF.

- 7 canais, receptor FM
- Frequencia de recepção: 72 MHz
- Frequencias intermediárias: 1ª 10.7 kHz, 2ª 455 kHz

- Requerimentos de força: bateria níquel-cádmio de 4.8 volts (compartilhada com os servos)
- Consumo de corrente: 10.0 mA

- Uma bateria NiCd do receptor: 4.8 volts

- Uma bateria NiMH: 20 células de NiMH tamanho AA, cada uma com 1.2V e 2600 mAh, ligadas em dois pacotes em paralelo, com um total de 12 volts e 5200mAh.

- Um carregador de bateria Triton2

- Voltagem de entrada: 11.0V – 15.0V DC
- Conexões de entrada: Plugues banana com opção de garras jacaré
- Número de saídas: uma
- Tipos de baterias, nº de células: 1-24 NiCd/MH (1.2-28.0V) / 1-5 LiPo ou Li-Ion (3.6-18.5V) / 6, 12, 24V Pb (2V por célula)
- Corrente de carga rápida: 0.1-7.0A linear NiCd/MH (incrementos de 0.1A, 90W max) 1C para LiPo/Li-Ion (90W max)
- Término da carga rápida: “zero deltaV” detecção de pico para NiCd/MH “cc/cv” para Pb e Li-Ion/LiPo * Corte por temperatura opcional para todos os tipos de baterias
- Sensibilidade de pico: NiCd 5-20mV, NiMH 3-15mV
- Retardo de início: 0-60 minutos
- Corrente “Trickle charge”: 0-250mA (somente NiCd/MH)
- Temporizador de segurança p/ carga rápida: 0-990 minutos
- Capacidade máxima de carga para NiMH: 0-9900mAh
- Carga complementar para NiMH: 0-1000mA
- Corte térmico: *50-150°F (10-65°C)
- Corrente de descarga: 0.1-3.0A
- Voltagem de corte na descarga: NiCd/MH 0.5-1.16V por célula (0.9V/célula fixa durante a ciclagem) Pb fixa em 1.8V por célula Li-Ion/LiPo fixa em 2.8V por célula
- Contagem de ciclos: 1-10 ciclos (somente NiCd/MH)
- Retardo entre ciclos: 1-60 minutos
- Memória: 10 memórias de baterias
- Tipo de tela: 2 x 16 LCD com luminosidade azul
- Informações mostradas: voltagem de entrada e saída, pico de voltagem, voltagem média da descarga, capacidade de carga e descarga, correntes, tempo e mensagens de erro.
- Sinais sonoros: 10 melodias, liga/desliga
- Conectores de saída: plugues banana
- Sobrecarga: solid state
- Dimensões: 157 x 102 x 51mm
- Peso: 466g

**ANEXO C
DATASHEETS**

74HC04; 74HCT04

Hex inverter

Product specification 2003 Jul 23 Supersedes data of 1993 Sep 01

ANEXO D

DESENHOS DE FABRICAÇÃO