

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**VEÍCULO DE INSPEÇÃO DE TUBULAÇÕES COM CONTROLE E
TRANSMISSÃO DE DADOS SEM FIO**

Artur Max Friedrich

São Paulo 2006

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**VEÍCULO DE INSPEÇÃO DE TUBULAÇÕES COM CONTROLE E
TRANSMISSÃO DE DADOS SEM FIO**

**Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
Graduação em Engenharia Mecânica**

Artur Max Friedrich

Orientador: Prof. Dr. Paulo Carlos Kaminski

**Área de concentração:
Engenharia Mecânica**

São Paulo 2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Friedrich, Artur Max

**Veículo de inspeção de tubulações com controle e transmissão de dados sem fio / A.M. Friedrich. -- São Paulo, 2006.
58p.**

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

**1.Veículos especiais 2.Tubulações (Inspeção) 3.*Wireless*
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.**

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais por terem sempre me incentivado e ajudado durante toda a minha vida, além de me proporcionarem a oportunidade de alcançar meus objetivos. Este trabalho é o resultado de uma série de pequenas conquistas que tive durante toda minha vida.

Quero agradecer também ao professor orientador deste trabalho de formatura, Professor Kaminski por ter acreditado e investido neste trabalho de formatura.

RESUMO

Este projeto visa dar continuidade ao projeto desenvolvido pelos alunos Fernando e Ricardo (Oliveira; Penna de Azevedo Filho, 2005). A idéia inicial e os conceitos de funcionalidade foram introduzidos no projeto de 2005. No Brasil não há um equipamento de inspeção de tubulações com sistema de controle e transmissão de dados *wireless*, logo o propósito deste projeto é incorporar um sistema de controle de tração e direção e um sistema de transmissão de imagens através do sistema *wireless* (sem fio) para que a inspeção da tubulação seja feita com mais flexibilidade. Esse tipo de equipamento é muito usado para inspecionar o interior de tubulações de esgoto e águas fluviais. Esse tipo de inspeção deve ser feita periodicamente para evitar-se quebra ou entupimento das tubulações. As especificações de construção e as especificações de equipamentos para a construção de um protótipo serão tratadas neste trabalho de conclusão de curso.

ABSTRACT

This objective of this design is to continue the design developed by Fernando e Ricardo (Oliveira, F. P.,2005). The initial idea and concepts of operation were introduced in design of 2005. In Brazil don't have an equipment for inspect pipes with a system of control and transmission of dates wirless so the intention of this design is to incorporate a direction and traction control system and a picture broadcast system through of wireless system for to inspect the pipe with more flexibility. This type of equipment is used to inspect the inside of pipes of drain and water. This type of inspect must be made periodically to prevent the break or the blocked of the pipes. The specification of construction and equipments for the construction of a prototype were developed in this design.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1 INTRODUÇÃO	11
2 ESTUDO DE VIABILIDADE	13
2.1 Necessidade	13
2.2 Problema proposto.....	15
2.3 Proteção do veículo	16
3 DESENVOLVIMENTO DO VEÍCULO	17
3.1 Sistema de mobilidade	17
3.1.1 Custo do sistema de mobilidade (custo inicial)	20
3.2 Sistema de controle sem fio	21
3.2.1 Controle RC digital	21
3.2.2 Controle RC analógico	22
3.2.3 Controle RC industrial	22
3.2.4 Custo do sistema de controle sem fio.....	23
3.3 Sistema de filmagem e medição	24
3.3.1 Câmera com emissor e placa de computador para recepção dos dados	25
3.3.2 Câmera sem fio que tem um sistema <i>wireless</i> que se conecta com a internet	26
3.3.3 Custo do sistema de filmagem	27
3.4 Sistema de posicionamento do sistema de filmagem e medição.....	28
3.4.1 Custo	29
3.5 Chassi	30
3.5.1 Custo do chassi (custo inicial)	31
4 DEFINIÇÃO DO PRODUTO	32
4.1 ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA DE MOBILIDADE.....	35
4.1.1 Potência e torque do motor	35
4.1.3 Mancais.....	38
4.1.4 Eixos.....	40
4.1.5 Transmissão por correntes	42
4.2 Especificação do chassi.....	44

4.3 Especificação do sistema de filmagem.....	46
5 TABELA DE CUSTO DO PROTÓTIPO	47
6 FORNECEDORES.....	48
7 TESTES E RESULTADOS	49
8 PROPOSTAS DE MELHORIAS	49
9 CONCLUSÃO	50
10 BIBLIOGRAFIA	52
11 ANEXOS.....	53
11.1 Cronograma do andamento do projeto.....	53
11.2 Catálogo do motor Bosch.....	54
11.3 Catálogo da correia sincronizadora.....	55
11.4 Catálogo da polia sincronizadora	56
11.5 Catálogo dos rolamentos.....	57

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Dispositivo usado na inspeção.
- Figura 2 - Cabos do dispositivo.
- Figura 3 - Tubulação de esgoto danificada.
- Figura 4 - Veículo capotado.
- Figura 5 - Controle por motor de passo.
- Figura 6 - Controle por motor CC.
- Figura 7 - Rádio controle digital.
- Figura 8 - Sistema de servos motores.
- Figura 9 - Rádio controle digital industrial.
- Figura 10 - Tubulação sem deformação.
- Figura 11 - Tubulação com deformação.
- Figura 12 - Sistema de emissão e recepção.
- Figura 13 - Sistema de emissão e recepção via internet.
- Figura 14 - Sistema de rabo de andorinha.
- Figura 15 - Sistema de barras paralelas.
- Figura 16 - Sistema de esteiras.
- Figura 17 - Sistema de posicionamento da câmera.
- Figura 18 - Sistema de medição.
- Figura 19 – Diagrama.
- Figura 20 - Motores Bosch.
- Figura 21 - Correias sincronizadoras.
- Figura 22 - Mancal de rolamento.
- Figura 23 – Desenho em corte do mancal.
- Figura 24 – Fixação do mancal.
- Figura 25 – Diagrama de carregamento no eixo.
- Figura 26 - Transmissão por correntes.
- Figura 27 – Desenho do chassi.
- Figura 28 - Chassi real.
- Figura 29 – Câmera.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custo do sistema de mobilidade.

Tabela 2 – Custo do sistema de controle sem fio.

Tabela 3 – Tabela de custo do protótipo.

Tabela 4 – Tabela de fornecedores.

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é projetar e construir um protótipo de um veículo de inspeção de tubulação de águas fluviais. Essa inspeção tem caráter qualitativo (ver as condições do interior da tubulação) e também tem caráter quantitativo (medir a deformação que uma tubulação apresenta devido à carga imposta pelo solo sobre a tubulação).

No mercado nacional não há um sistema que seja totalmente isento de cabos umbilicais que possa filmar as condições da tubulação e que possa medir a deformação apresentada pela tubulação. As empresas que atuam nessa área (como a SABESP) montam seus próprios dispositivos, que na maioria das vezes não apresentam todas as características necessárias para que seu manejo seja simples, barato e confiável. Outra solução encontrada por essas empresas é a importação de dispositivos prontos disponíveis no mercado externo. No entanto, essa solução é cara.

Ressalta-se ainda que a maioria dos dispositivos montados ou importados não tem a filmagem e a medição em conjunto, assim como também não apresentam o sistema de filmagem e controle sem fio (sistema *wireless*), sendo necessário o uso de cabos para a transmissão dos dados e das imagens acarretando a perda de mobilidade do veículo dentro da tubulação. O maior problema encontrado no uso dos cabos é o fato dos cabos poderem enrolar no veículo e provocar a sua parada quando este se encontra dentro da tubulação, fazendo como se perca tempo para solucionar esse problema.

Com os sistemas incorporados no veículo o operador não precisará se preocupar com os cabos de transmissão (no caso dos cabos enrolarem no veículo provocando a sua parada ou até mesmo o seu tombamento), além de permitir também um maior controle do veículo para que a medição da deformação da tubulação tenha uma melhor precisão.

Este projeto visa também melhorar os aspectos construtivos e de funcionamento do primeiro. Os aspectos a serem trabalhados neste projeto são:

- Incorporar um sistema de tração ao veículo, sendo possível que este sistema tenha mais de uma velocidade.

- Adicionar um sistema que permita que o dispositivo tenha como fazer pequenas manobras quando estiver dentro da tubulação.
- Incorporação de um sistema de transmissão de dados por telemetria para que o dispositivo não necessite de cabos para transferir as informações (imagens).
- Aumentar a robustez estrutural do dispositivo.
- Melhorar o mecanismo de posicionamento da câmera, tornando a ajustagem do posicionamento mais rápida e mais precisa, para que o operador possa fazer a inspeção de diferentes diâmetros de tubulação com uma maior rapidez.

Com o projeto desenvolvido e com os desenhos de fabricação disponíveis este trabalho também propõe a construção de um protótipo e a realização de testes em laboratório e em campo.

2 ESTUDO DE VIABILIDADE

2.1 Necessidade

A partir do projeto e dos estudos de funcionalidade dos alunos Fernando e Ricardo (Oliveira; Penna de Azevedo Filho, 2005) observou-se que para o desenvolvimento de um produto com melhorias, é necessário que o veículo de inspeção seja isento de cabos umbilicais, pois assim o veículo pode ter uma melhor mobilidade e independência quanto à operação.

No entanto para que a mobilidade e a independência sejam alcançadas (já que são requisitos de projeto) é necessária a incorporação de dois sistemas: sistema de controle e sistema de filmagem, onde ambos, devem ser sem fio.



Figura 1 - Dispositivo usado na inspeção.



Figura 2 - Cabos do dispositivo.

O maior objetivo da inspeção de tubulações é avaliar o estado da infraestrutura e a possível substituição ou reabilitação do estado atual em que a tubulação é encontrada. Para avaliar o estado da estrutura da tubulação são observados os seguintes aspectos durante a inspeção na rede de esgoto:

- Tubos desalinhados: construções mal executadas fora de normas.
- Deterioração: quebra natural da tubulação devido a ação da carga promovida pelo solo ou tráfego de veículos.
- Intrusão de raízes: crescimento de raízes de vegetação
- Desabamentos e rupturas: estrutura mal projetada colapsada devido a ação da carga promovida pelo solo
- Vazamentos: perda de fluido da tubulação para o ambiente
- Redução de Vazão: aumento da perda de carga devido ao depósito de algum tipo de material (terra, areia).
- Infiltração de água: infiltração da água da chuva para dentro da tubulação devida a existência de rachaduras na tubulação.



Figura 3 - Tubulação de esgoto danificada.

2.2 Problema proposto

Assim sendo, o problema proposto é o desenvolvimento de um veículo de inspeção de tubulações de águas fluviais, onde este veículo deve ser capaz de se adaptar a tubulações que atualmente são usadas nas construções, sendo que o diâmetro dessas tubulações pode variar de 400 mm a 1200 mm. Essas tubulações podem ser de plástico, concreto ou revestidas com tijolos.

O veículo deve ter seu controle e transmissão de imagens sem a necessidade do uso de fios ou cabos. No entanto como o sistema de controle e o sistema de filmagem têm um custo alto é necessário também que o veículo seja confiável e não apresente pane de qualquer tipo quando estiver operando dentro da tubulação.

O projeto anterior (Oliveira; Penna de Azevedo Filho, 2005) além de não ter muita mobilidade e independência apresentou também algumas características que podem ser melhoradas para aumentar a sua durabilidade e a sua qualidade de inspeção. Pode-se melhorar a precisão da medida da deformação na tubulação com o melhor posicionamento da câmera, mas o maior problema apresentado pelo projeto anterior é a fato de existir a

possibilidade de capotamento do veículo, o que não pode ocorrer de forma alguma pois desalinha completamente a câmera (não sendo possível a medição da deformação), além de diminuir drasticamente a vida útil do equipamento.

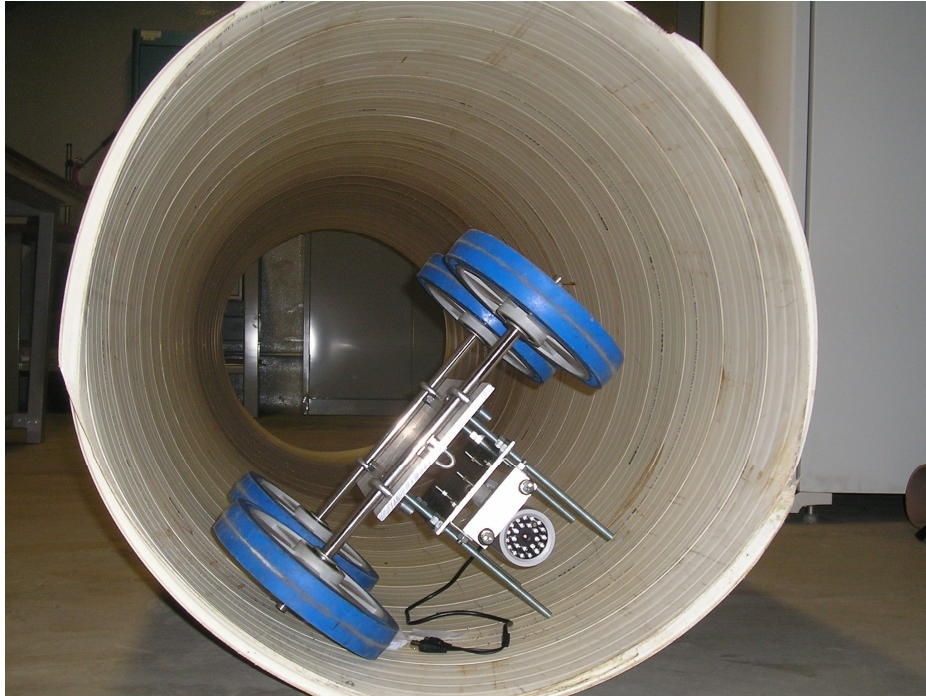


Figura 4 - Veículo capotado.

2.3 Proteção do veículo

Devido ao ambiente ser agressivo o veículo deve apresentar proteção contra corrosão e aos impactos.

Para que seja evitada a corrosão nas diversas partes do veículo deve-se tomar a precaução de vedar o sistema de mobilidade, o sistema de tração, a transmissão e o sistema de filmagem.

A proteção contra impactos deve garantir que o veículo preserve todos os sistemas embarcados como, por exemplo: câmera, motores elétricos, sistema de controle e sistema de recepção de imagens.

3 DESENVOLVIMENTO DO VEÍCULO

3.1 Sistema de mobilidade

O sistema escolhido para dar mobilidade ao veículo foi o sistema de esteira, pois este sistema permite que com apenas dois canais de comunicação seja possível controlar completamente o veículo. Ou seja, o veículo pode se deslocar para a esquerda, direita, para frente e para trás.

Outro aspecto observado para a escolha do sistema de esteira é o fato desse sistema apresentar uma grande confiabilidade em comparação ao sistema de rodas comuns, pois o veículo dotado com esse sistema tem baixa possibilidade de “encalhar” dentro da tubulação, já que a esteira faz com que o veículo tenha o seu próprio piso, ou seja, a roda entra em contato apenas com a esteira, e a esteira entra em contato com o piso da tubulação. O sistema de esteira também apresenta uma maior área de contato com o piso da tubulação, promovendo maior aderência e menor possibilidade de escorregamento do sistema de tração (rodas patinando em relação ao piso da tubulação.)

Um primeiro passo para definição do projeto do sistema de mobilidade é usar esteiras de borracha (encontradas facilmente no mercado).

A tração sobre as duas esteiras (lado direito e lado esquerdo do veículo) pode ser promovida por motores elétricos (motores de passo, ou motores de corrente contínua), os quais são controlados pelo sistema de controle sem fio que está embarcado no veículo.

Os motores devem ter torque suficiente para vencer o torque promovido pelo peso próprio do veículo (chassi, sistema de controle, sistema de filmagem, carenagem de vedação, motores, transmissão e bateria de alimentação (bateria automotiva).).

O sistema de transmissão é composto pelo motor (que está fixado ao chassi), engrenagem motriz (fixada ao eixo do motor), engrenagem movida (fixada ao eixo de tração da esteira) e corrente de transmissão. Cada esteira terá um sistema de transmissão independente, ou seja, o veículo terá um par do sistema de transmissão descrito anteriormente (lado direito e lado esquerdo).

O controle dos motores pode ser feito de dois diferentes modos: usando um motor de passo e usando um motor de corrente contínua.

- 1- No caso do uso de um motor de passo juntamente com um canal do rádio controle seria necessário um microprocessador para controlar o motor de passo (neste caso cada esteira teria um motor de passo diferente).

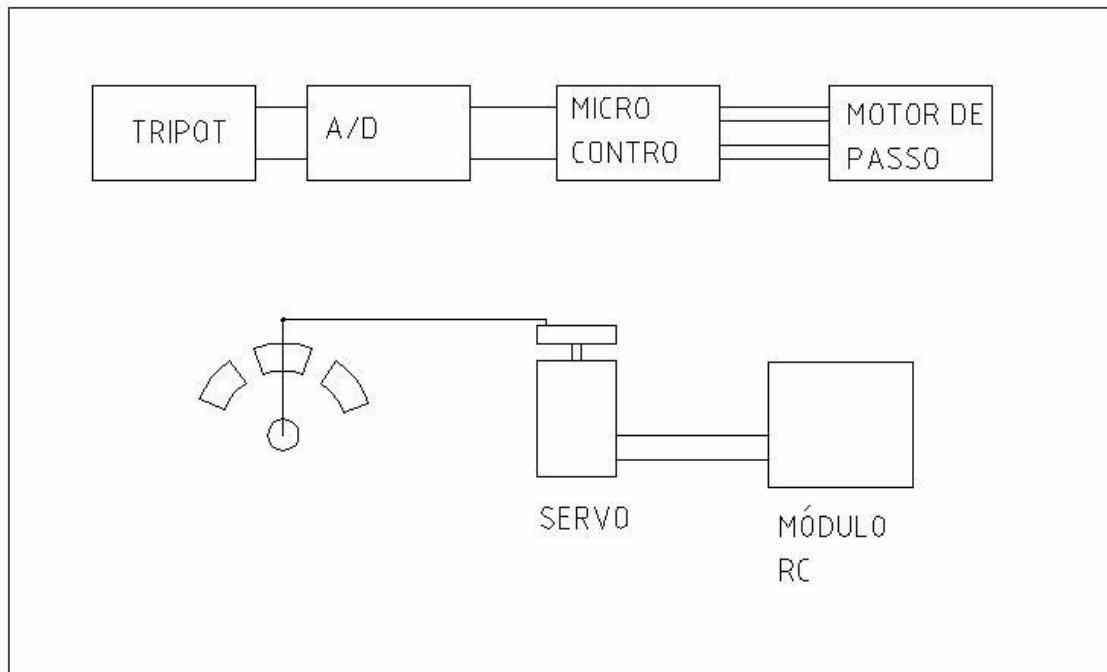


Figura 5 - Controle por motor de passo.

- 2- Usando um motor de corrente contínua ligado a um potenciômetro tripolar (tripot) que teria seus terminais ligados a um dos canais do rádio controle. Este sistema permite apenas uma rotação de controle.

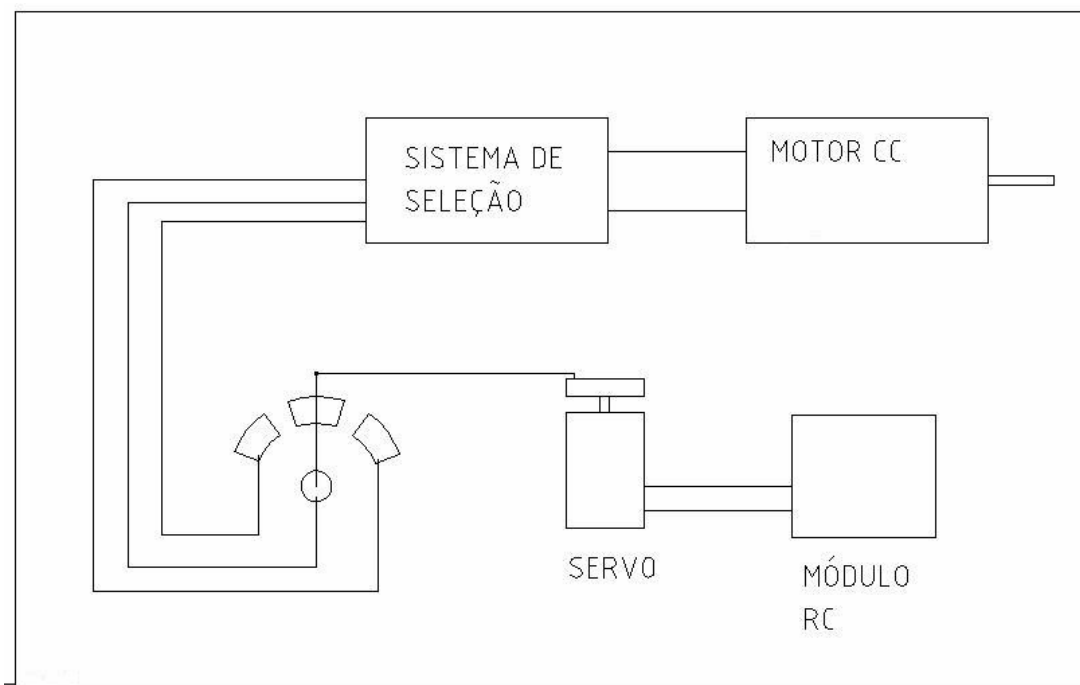


Figura 6 - Controle por motor CC.

A construção com o uso do motor de corrente contínua é mais fácil e mais barata que a construção usando-se motor de passo, no entanto o motor de passo apresenta um controle bem melhor quanto a rotação já que ela pode ser variada progressivamente.

3.1.1 Custo do sistema de mobilidade (custo inicial)

Elemento	Custo
Esteiras	R\$ 139,5
Motores de corrente contínua	R\$ 120
Motores de passo	R\$ 200
Engrenagem movida	R\$ 27
Engrenagem motora	R\$ 85
Corrente (Norma ASA passo ¼ ")	R\$ 48 por metro

Tabela 1 – Custo do sistema de mobilidade.

3.2 Sistema de controle sem fio

O projeto do veículo tem como requisito principal o controle do mesmo sem a presença de fios ou cabos de alimentação ou transmissão de dados, pois assim o veículo pode ter uma maior mobilidade dentro da tubulação.

No entanto os sistemas de controle sem fio têm um valor elevado, logo sua confiabilidade deve ser alta, e deve ser um dos requisitos de projeto, já que a perda do veículo dentro da tubulação traria um grande prejuízo.

3.2.1 Controle RC digital

Após uma pesquisa de mercado e uma pesquisa técnica chegou-se a conclusão que o sistema que melhor atinge os requisitos do projeto é o sistema de rádio controle digital usado em aeromodelos.

Esse sistema, apresentado na figura 7 e 8, apresenta 6 canais, (controla 6 parâmetros), alcance de 800 metros e não sofre interferência de ondas externas (ondas de rádio) e é alimentado por uma bateria leve.

Um modelo confiável e que esta disponível no mercado é o 6EXA fabricado pela FUTABA (www.futaba.com) .

Este modelo vem com 4 servos motores, sistema de emissão, sistema recepção e antena.



Figura 7 - Rádio controle digital, (www.futaba.com).

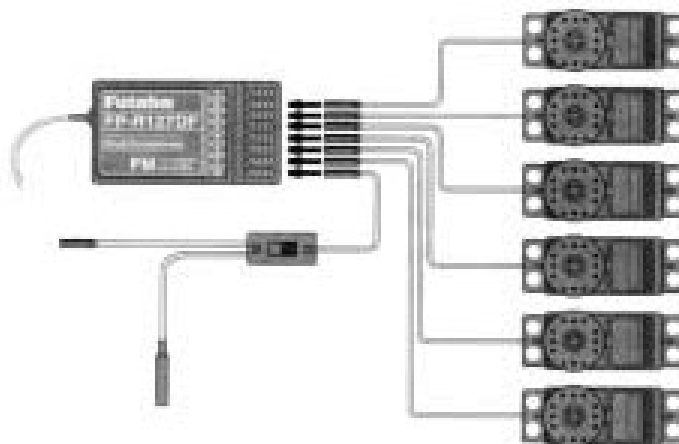


Figura 8 - Sistema de servos motores, (www.futaba.com).

3.2.2 Controle RC analógico

Sistema usado em aeromodelos disponível com 6 canais, alcance de 150 metros. Este sistema não pode ser usado em uma distância muito próxima do receptor (4m), pois o sistema de controle fica instável. Além disso, este sistema sofre interferência de ondas externas (ondas de rádio).

Têm um preço de mercado mais barato em relação os outros sistemas de controle e o aspecto externo é semelhante ao controle RC digital.

3.2.3 Controle RC industrial

O sistema de controle RC industrial (figura 9) é altamente confiável, com alcance de até 3 km, exige uma bateria mais robusta em relação aos outros tipos sistemas de controle, e tem um preço de mercado mais elevado, ficando em torno de R\$ 2500. Pelo fato deste sistema ser blindado ele não sofre interferência externa de ondas de rádio.



Figura 9 - Rádio controle digital industrial, (www.futaba.com).

3.2.4 Custo do sistema de controle sem fio

Tipo de sistema	Custo
Controle RC digital	R\$ 900
Controle RC analógico	R\$ 350
Controle RC industrial	R\$ 2500

Tabela 2 – Custo do sistema de controle sem fio.

3.3 Sistema de filmagem e medição

O veículo deve apresentar um sistema de filmagem, pois com esse sistema é possível obter informações qualitativas (condições da tubulação) e informações quantitativas medindo-se o grau de deformação da tubulação, através da análise da imagem capturada conforme mostra a figura 10.

O sistema de medição por laser será mantido do projeto anterior pois como o veículo deste projeto irá apresentar um melhor sistema de posicionamento, será possível avaliar se o sistema de medição a laser pode dar uma boa precisão de medição nas deformações encontradas nas tubulações.



Figura 10 - Tubulação sem deformação.

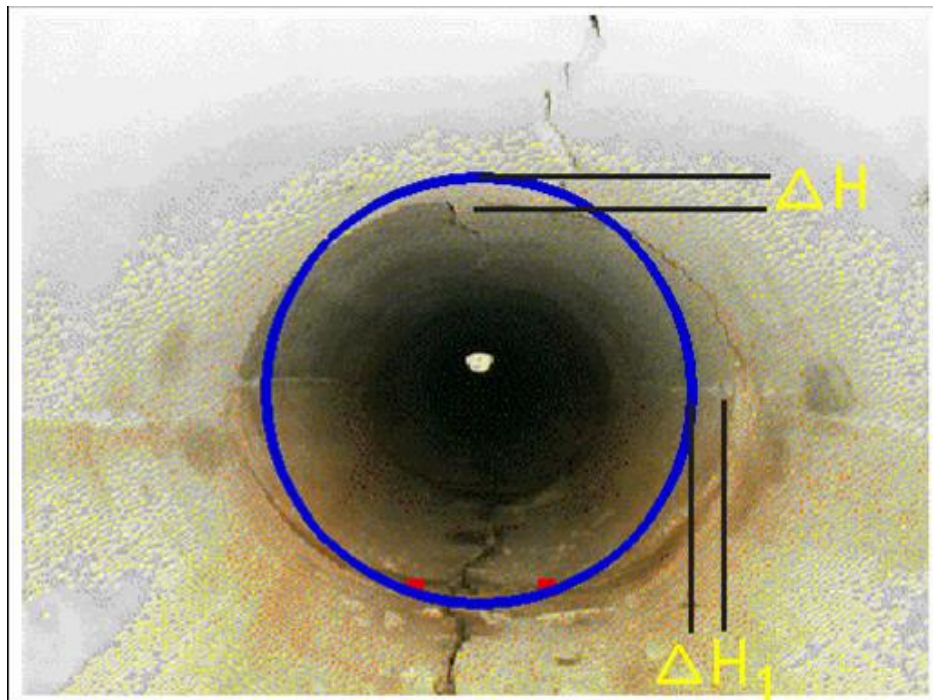


Figura 11 - Tubulação com deformação.

Um dos requisitos do projeto é o uso de um sistema de filmagem em que a transmissão da imagem seja sem fio, para que o veículo tenha maior mobilidade. A seguir serão apresentados os sistemas de transmissão de imagem encontrados no mercado.

3.3.1 Câmera com emissor e placa de computador para recepção dos dados

Esse sistema apresentado na figura 12, tem alcance de 500 m, sendo composto por uma câmera que possui um sistema de emissão dos dados, e uma placa que é instalada em um computador que recebe e grava os dados recebidos. Esse sistema é alimentado por uma bateria de 12 V.



Figura 12 - Sistema de emissão e recepção.

3.3.2 Câmera sem fio que tem um sistema *wireless* que se conecta com a internet

Esse sistema, apresentado na figura 13, é composto por uma câmera que se conecta a internet via *wireless*. A partir de um *browser* em um servidor de internet é possível visualizar as imagens via um computador conectado à internet. Este sistema apresenta um alcance de 200 m e é alimentado por uma bateria de 9 V.

É necessário se conectar a um serviço de internet *wireless* de banda larga para que este sistema funcione.

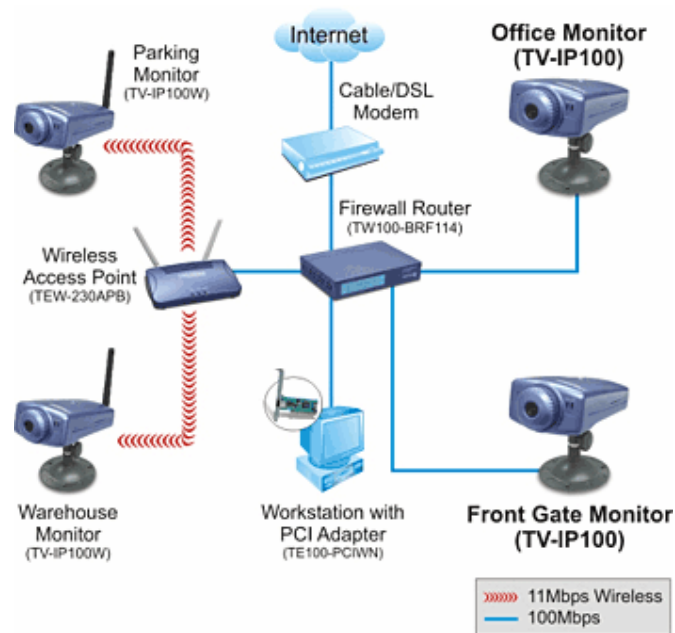


Figura 13 - Sistema de emissão e recepção via internet.

3.3.3 Custo do sistema de filmagem

- Câmera com emissor e placa de computador pra recepção dos dados
R\$ 650
- Câmera sem fio que tem um sistema *wireless* que se conecta com a internet.

R\$ 950 mais o custo de uma assinatura de um provedor de internet de banda larga *wireless*.

3.4 Sistema de posicionamento do sistema de filmagem e medição

O diâmetro das tubulações mais comuns varia de 400 mm até 1200 mm, logo o sistema de medição deve estar com o eixo da lente da câmera alinhado com o eixo da tubulação para que assim não se tenha erros de medição da deformação que a tubulação apresenta.

O sistema de medição a laser será o mesmo do projeto anterior (um par de laser com uma distância conhecida entre os feixes do laser), no entanto será acrescentado um sistema de deslizamento que seja perpendicular ao eixo longitudinal do veículo para o sistema de filmagem, pois assim o ajuste da altura da câmera será bem mais rápido.

O sistema de posicionamento do sistema de filmagem e medição deve ser manufaturado em alumínio para ter o máximo de redução de peso, já que o veículo terá que transportar as baterias de alimentação dos motores de tração, e essas baterias tem um peso elevado e não podem ser substituídas por baterias de peso menor e carga elétrica menor.

Um sistema de grande facilidade de operação, fixação e de grande precisão quanto ao posicionamento é o sistema de rabo de andorinha (figura 14).

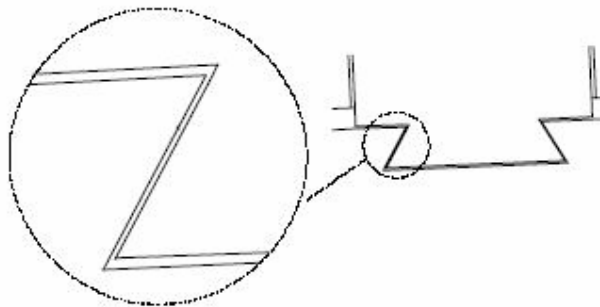


Figura 14 - Sistema de rabo de andorinha.

Outra solução encontrada é o sistema de barras paralelas (figura 15), aonde percorre uma peça deslizante entre as barras onde estão fixados a câmera e o par de feixe de laser. No entanto esse tipo de construção pode apresentar uma flexão das barras provocando flutuações da imagem captada durante a filmagem dentro da tubulação.

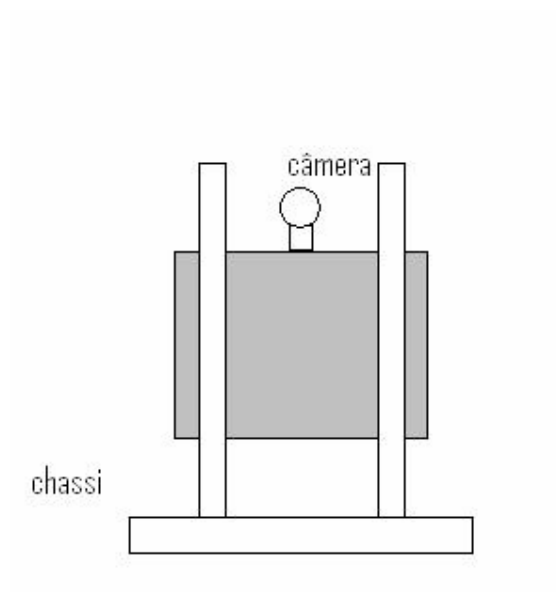


Figura 15 - Sistema de barras paralelas.

3.4.1 Custo

Tanto o sistema de rabo de andorinha quanto o sistema de barras paralelas tem um custo inicial (material e mão de obra) na faixa de R\$ 300.

Esse valor é calculado através da hora-máquina dos fornecedores disponíveis no mercado.

3.5 Chassi

O chassi do veículo suporta todos os sistemas de controle, de transmissão, de filmagem e posicionamento do sistema de filmagem.

O chassi é manufaturado em metal (alumínio) e suporta os sistemas descritos, além de dar forma ao veículo. Para projeto do chassi tomou-se como base a tubulação de menor diâmetro encontrada no mercado (400 mm).

No entanto, pelo fato do veículo deste projeto apresentar transmissão motorizada, não haverá intercâmbio do comprimento dos eixos quando se desejar inspecionar uma tubulação com diâmetro diferente da primeira tubulação, pois para isso seria necessária a desmontagem de um eixo com certo comprimento para a montagem do outro eixo com um comprimento diferente para o novo diâmetro de tubulação. Essa desmontagem necessitaria ser feita por uma pessoa qualificada.

Para solucionar esse problema tomou-se como padrão a tubulação de 400 mm (menor diâmetro de tubulação fluvial empregada no mercado) para o projeto do chassi, pois como o veículo possui um sistema de controle de mobilidade não haverá problemas de posicionamento da câmera nas tubulações de diâmetros maiores que 400 mm.

A proposta inicial do projeto do chassi escolhe o alumínio como o material a ser empregado na sua construção, pois o alumínio torna a estrutura leve e ao mesmo tempo resistente às cargas que deverão atuar sobre a estrutura. O peso da estrutura é de extrema importância, pois quanto mais leve a estrutura menor será a energia gasta no deslocamento de veículo e maior será o tempo de inspeção dentro da tubulação.

Para a fabricação do chassi será usada chapa de $\frac{1}{4}$ de polegada de alumínio.

3.5.1 Custo do chassi (custo inicial)

Inicialmente o chassi está orçado em R\$ 250 contando a chapa de 1/4' de polegada e a sua usinagem. Esse valor foi definido com base no preço do quilo do alumínio laminado que é vendido no mercado.

4 DEFINIÇÃO DO PRODUTO

A partir do estudo de viabilidade e do estudo de desenvolvimento do projeto baseado tanto nos custos, como também na funcionalidade dos subsistemas o projeto do veículo apresentará as seguintes características:

- Tração

A tração do veículo será através do sistema de esteiras (figura 16), pois este sistema permite que com apenas dois canais de comunicação seja possível controlar completamente o veículo, ou seja, o veículo pode se deslocar para a esquerda, direita, para frente e para trás.

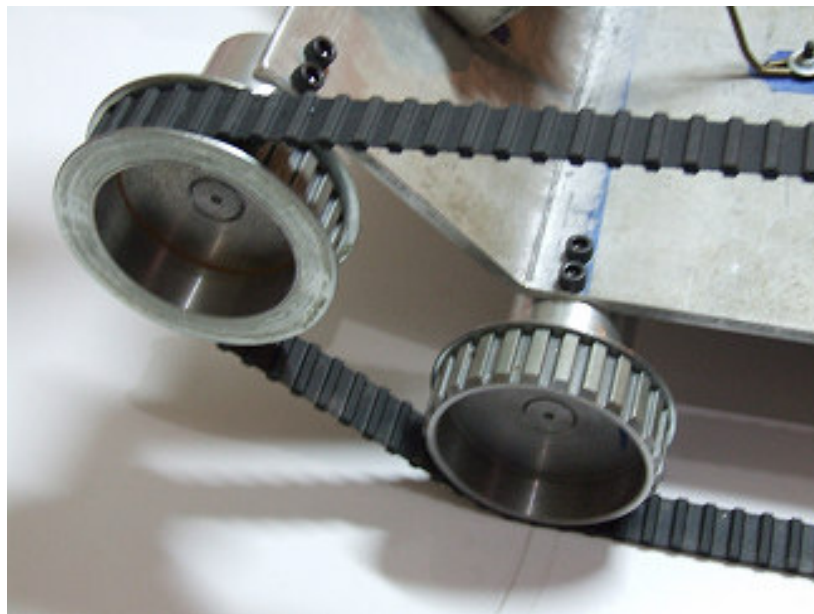


Figura 16 - Sistema de esteiras.

Este sistema também apresenta uma maior área de contato com o piso da tubulação, promovendo maior atrito e menor possibilidade de escorregamento do sistema de tração (rodas patinando em relação ao piso da tubulação.), além de apresentar também uma grande confiabilidade em comparação ao sistema de rodas comuns.

A possibilidade de capotamento também é diminuída com esse sistema pois com ele o veículo tem um maior controle dentro da tubulação.

- Posicionamento da câmera

Será usado o sistema de barra paralela (figura 17), pois este sistema apresenta grande facilidade de operação, fixação e de grande precisão quanto ao posicionamento.

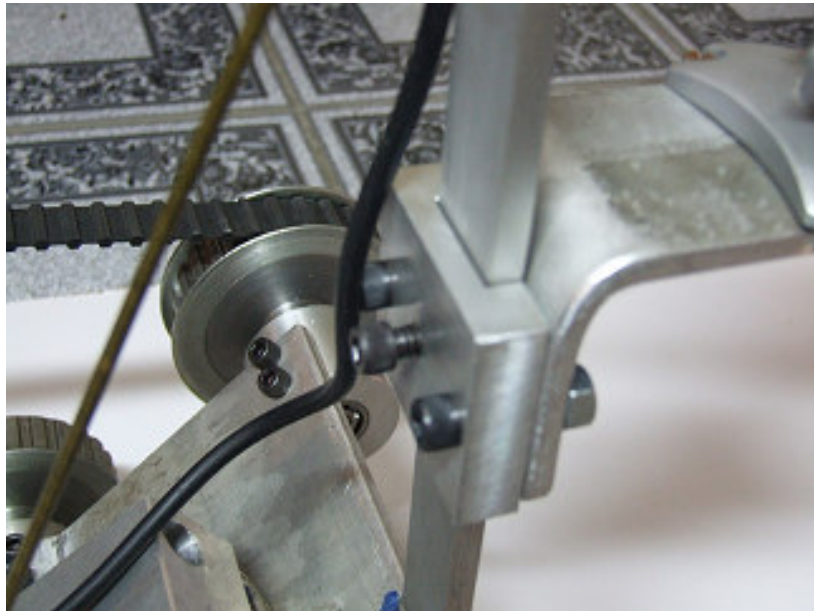


Figura 17 - Sistema de posicionamento da câmera.

- Transmissão de sinal de filmagem

A transmissão do sinal de filmagem será com emissor (câmera wireless) e placa de computador para recepção dos dados.

Esse sistema tem alcance de 500 m e é alimentado por 12 V de tensão.

- Medição

Será mantido o sistema de medição do projeto anterior, ou seja, o par de raio laser (figura 18), pois esse sistema apresentou um ótimo desempenho além de ser barato, de fácil operação e tratamento dos dados coletados pela filmagem.

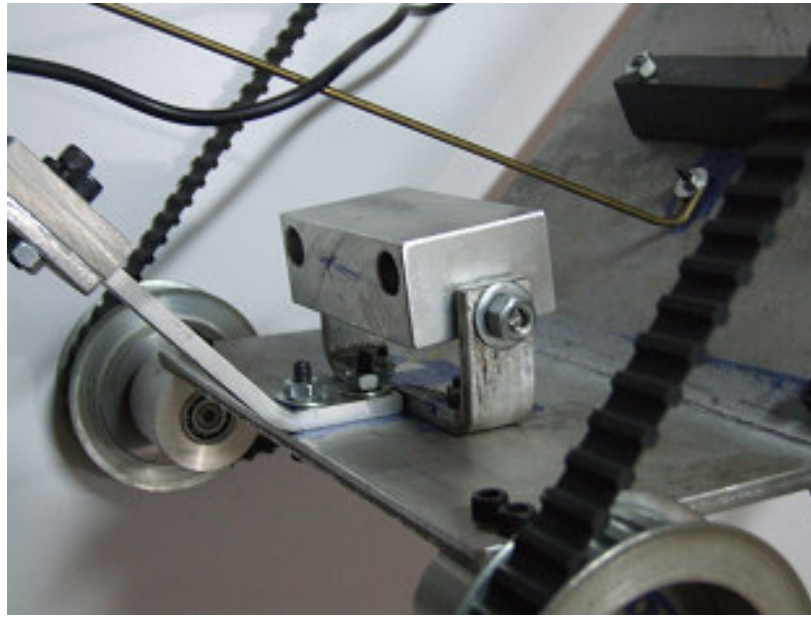


Figura 18 - Sistema de medição.

- Transmissão de sinal de controle de direção

O controle RC digital foi o que melhor se enquadrou ao sistema de controle do veículo, pois possui 6 canais de comunicação e possui 4 servos motores no kit básico vendido no mercado.

Este sistema também é muito confiável e tem um ótimo alcance (2000m).

4.1 ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA DE MOBILIDADE

4.1.1 Potência e torque do motor

Para o cálculo da potência e torque do motor foi considerado que o protótipo tem uma massa máxima estimada de 25 kg, contando todos os subsistemas montados e a bateria automotiva, que é o componente de maior massa do protótipo.

Ressalta-se ainda que com base nas velocidades de outros veículos existentes no mercado (que variam de 0,1 a 0,3 m/s), foi adotado que o protótipo terá uma velocidade constante de 0,1048 m/s. Outro aspecto importante levado em consideração, é que a situação de máximo torque exigido do motor é no caso do protótipo estar subindo um plano inclinado de 60° e, além disso, foi considerada a hipótese de toda a massa estar concentrada em um único eixo (apenas para os cálculos) (figura 19).

A partir das hipóteses citadas acima se tem o seguinte diagrama para o desenvolvimento do equacionamento.

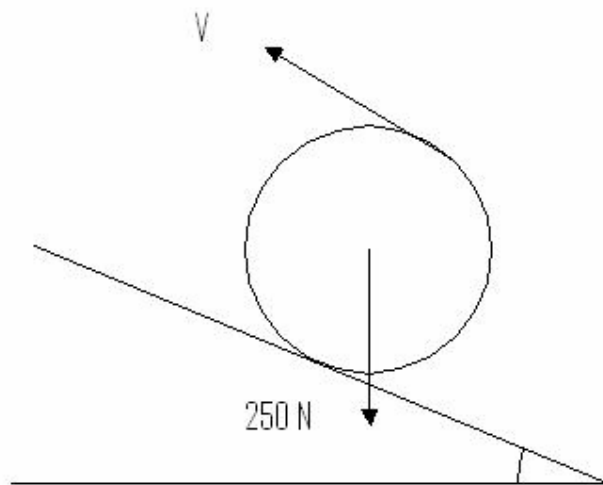


Figura 19 – Diagrama.

$$V = \omega R$$

$$\omega = \frac{V}{R} = \frac{0,1048}{0,04} = 2,61 \frac{rad}{s} \quad (\text{Velocidade angular das rodas})$$

$$T = FR = 250 \sin(60^\circ) \cdot 0,04 = 8,66 N.m \quad (\text{Torque exigido do motor})$$

$$P = T\omega = 8,66 \cdot 2,61 = 22,6 W \quad (\text{Potência exigida do motor})$$

Com base nos cálculos acima a escolha do melhor motor para essa aplicação limitou-se a motores cuja tensão de alimentação seja de 12 V (tensão da bateria automotiva).

Consultando-se o catálogo de motores da Bosch escolheu-se o motor do tipo CEP de 12 V de tensão de alimentação, 57 W (figura 20) de potência nominal e 9 N.m de torque nominal. A rotação deste motor (75 rpm) está acima da adotada para o protótipo, mas essa rotação será corrigida pela relação de transmissão entre as engrenagens da transmissão por correntes.

Nos anexos deste trabalho se encontra o catálogo com as dimensões e referência do motor escolhido.

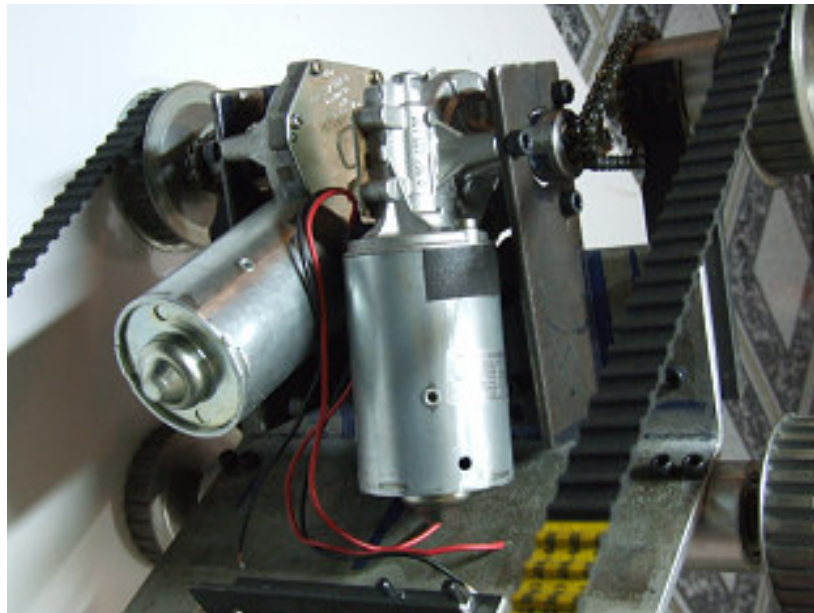


Figura 20 - Motores Bosch.

4.1.2 Sistema de esteiras (correias sincronizadoras)

Conforme discutido anteriormente o sistema de esteiras foi o adotado para o protótipo pois este sistema proporciona uma maior aderência das rodas do protótipo junto à parede da tubulação.

Para implementar-se o sistema de esteiras foram usadas duas correias sincronizadoras duplo dente de passo $3/8''$, 20 mm de largura do tipo D-L (figura 21).



Figura 21 - Correias sincronizadoras.

A escolha desse tipo de correia se justifica, pois ela é facilmente encontrada no mercado e pelo fato de ser duplo dente, garante que não haverá escorregamento da correia nas polias, assim como aumentará a aderência da correia na parede da tubulação. Outra característica importante apresentada por esse tipo de correia é a sua flexibilidade, e isso proporciona um gasto menor de energia do motor, pois a força necessária para que a correia se ajuste na polia (dobramento da correia) é pequena comparando-se com as correias mais grossas.

No caso das rodas do protótipo, foram usadas polias sincronizadoras de largura 20 mm, diâmetro primitivo de 78,84 mm, 26 dentes do tipo D-L.

Por questão de custo preferiu-se usar polias de aço do que as polias de alumínio, no entanto foi necessário usinar o cubo de cada polia para se reduzir ao máximo o peso total do protótipo.

Nos anexos deste trabalho se encontra o catálogo das polias e das correias.

4.1.3 Mancais

Para se diminuir ao máximo o atrito entre os eixos e os mancais foi utilizado rolamentos rígidos de uma carreira de esferas no protótipo (figura 22).

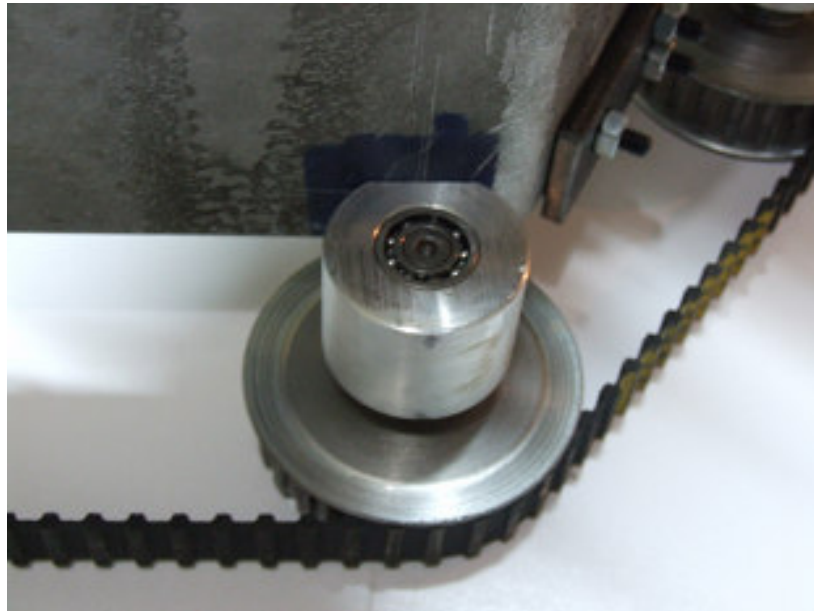


Figura 22 - Mancal de rolamento.

Como o peso estimado total do protótipo é de 250 N, o que determinou a escolha dos rolamentos foram suas dimensões, pois o coeficiente estático de um rolamento de esferas (mesmo de pequenas dimensões) é de 850 N. Logo foram escolhidos os rolamentos 61900 ($C_0 = 850N$) e 6202Z ($C_0 = 2850N$) para a construção do mancal do protótipo,

Já o corpo do mancal é confeccionado em alumínio laminado, pois deste modo há uma boa redução de peso do protótipo.

O mancal (com os rolamentos e o eixo) é fixado no chassi através de parafusos allen (figura 24).

Nos anexos estão as medidas e especificações dos rolamentos.

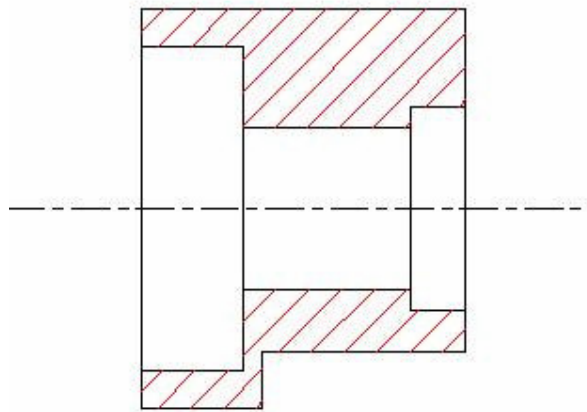


Figura 23 – Desenho em corte do mancal.

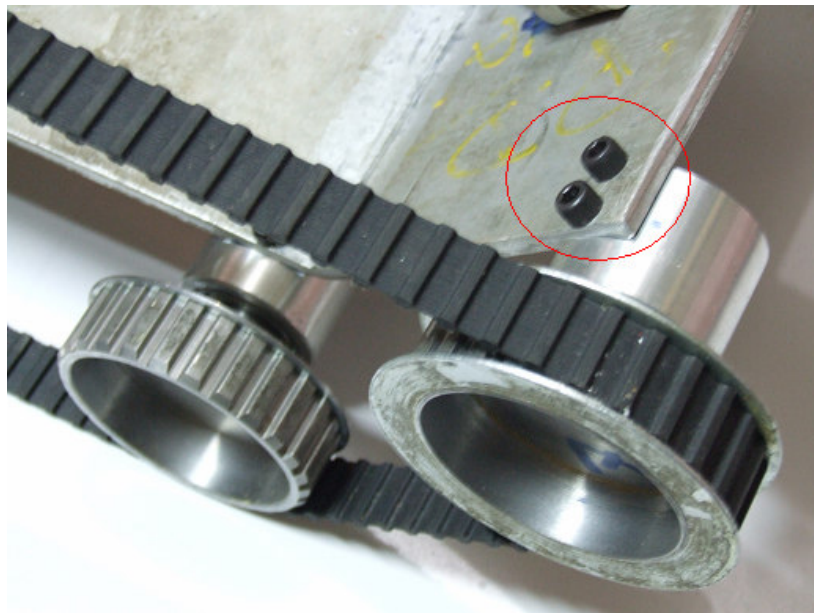


Figura 24 – Fixação do mancal.

4.1.4 Eixos

De acordo com as cargas aplicadas (conforme o diagrama de carregamento da figura 25) em cada eixo é possível se calcular o diâmetro mínimo de cada eixo de acordo com o método ASME descrito em Robert, L. Norton, "Projeto de máquinas".

$$\text{Carga em cada eixo} = \frac{\text{Carga}_{total}}{\text{eixos}} = \frac{250}{4} = 62,5N$$

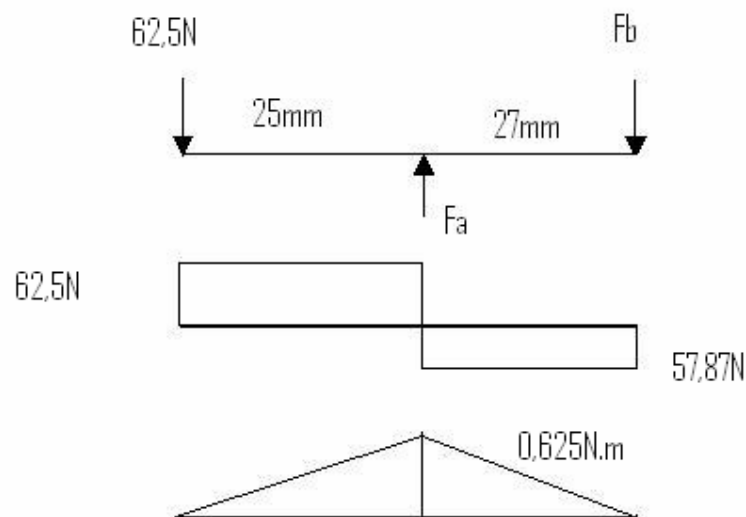


Figura 25 – Diagrama de carregamento no eixo.

$$\begin{cases} F_A + F_B = 62,5 \\ -F_A \cdot 25 + F_B \cdot 52 = 0 \\ F_A = 120,37N \\ F_B = 57,87N \end{cases}$$

O Torque calculado anteriormente é de 8,66 N.m

Escolhendo o aço SAE 1045 para se confeccionar o eixo temos que o diâmetro mínimo do eixo é de:

$$S_{ut} = 627 \text{ Mpa}$$

$$S_y = 513 \text{ Mpa}$$

$$S_e = 0,5.S_{ut} = 313,5 \text{ Mpa}$$

$$N_f = 2,5$$

$$d = \left\{ \frac{32.N_f}{\pi} \left[\left(\frac{M}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 \right]^{0,5} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 7,13 \text{ mm}$$

4.1.5 Transmissão por correntes

Para que a rotação do motor seja transferida para os eixos escolheu-se a transmissão por correntes (figura 26), pois esse tipo de transmissão é de fácil montagem e é indicada para instalações compactas.



Figura 26 - Transmissão por correntes.

A rotação do motor é de 75 rpm (7,85 rad/s) e deseja-se uma rotação de 2,62 rad/s nos eixos do protótipo, logo é necessário que seja feita uma redução de velocidade angular. Partindo-se de uma engrenagem motora de 9 dentes temos:

$$i = \frac{7,85}{2,62} \approx 3$$

$$\frac{Z_{movida}}{Z_{motora}} = 3$$

$$Z_{movida} = 3.9 = 27 \text{ dentes}$$

Tanto as engrenagens como as correntes são de passo $\frac{1}{4}$ ' seguindo a norma ASA.

De acordo com o fabricante a corrente escolhida tem carga de ruptura de 4800N, então faz-se o seguinte cálculo para a carga na corrente.

$$F_{corrente} = \frac{T_{eixo}}{R} = \frac{8,66}{0,04} = 216,5N$$

Como $216,5 \text{ N} < 4800 \text{ N}$ então a corrente escolhida pode ser usada tranquilamente, pois não irá ocorrer sua ruptura.

4.2 Especificação do chassi

O chassi foi projetado de modo que sirva de plataforma para que todos os componentes sejam fixados sobre ele. A forma escolhida para que isso seja possível foi fabricar o chassi com uma chapa de alumínio de $\frac{1}{4}$ ' de polegada dobrada de forma que os mancais sejam fixados com parafusos e que ao mesmo tempo o chassi não de movimento devido a flexibilidade da estrutura.



Figura 27 – Desenho do chassi.



Figura 28 - Chassi real.

4.3 Especificação do sistema de filmagem

Para o sistema de filmagem do protótipo foi utilizada a mesma câmera adquirida no projeto anterior (figura 29). No entanto essa câmera foi acoplada ao sistema de transmissão de imagens da Fujika.

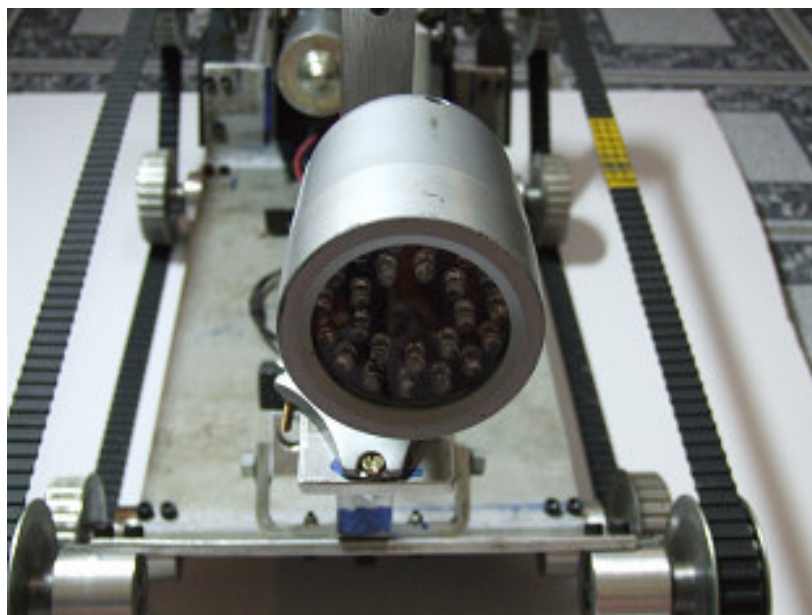


Figura 29 – Câmera.

5 TABELA DE CUSTO DO PROTÓTIPO

Denominação	Quantidade	Custo total com impostos (em R\$)
Alumínio do chassi	1	69
Aço dos eixos	8	28
Alumínio do mancal	8	40
Alumínio de revestimento (em chapa de 1 mm de espessura)	3	124
Correia sincronizadora	2	279
Polia sincronizadora	10	423
Rolamento 6202Z	8	150,53
Rolamento 61900	8	
Serviço de usinagem	-	500
Sistema de filmagem sem fio	1	250
Sistema de controle sem fio	1	850
Motores	2	248
Engrenagem 10 dentes	2	54
Engrenagem 30 dentes	2	170
Corrente ASA ¼"1 m	1 m	48
Emenda para corrente ASA ¼"	2	10
Bateria automotiva 12 V	1	200
		Total 3443,53

Tabela 3 – Tabela de custo do protótipo.

6 FORNECEDORES

Nome	Produtos vendidos	Endereço	Telefone
Domave	Peças metálicas em bruto	Avenida Rio Bonito, 1004	5683-8855
Schneider	Polias e correias sincronizadoras	Rua Florêncio de Abreu, 647	33150777
Radial	Rolamentos	Rua Itapira , 144	3346-3700
Lorictron	Sistema de filmagem sem fio	Rua Vitória, 358	3337-4494
Casa Ferreira	Motores Bosch	Rua Florêncio de Abreu, 150	3326-3099
Corteng	Engrenagens e correntes	Rua Barão de Monte Santo, 627	6606-4433

Tabela 4 – Tabela de fornecedores.

7 TESTES E RESULTADOS

Os testes realizados demonstraram que o veículo apresentou facilidade em ajustar o par de laser em um determinado ponto que se queria inspecionar.

Devido a baixa velocidade adotada, os movimentos do veículo ficaram mais suaves, não havendo portanto trepidações significativas que podem eventualmente distorcer a imagem captada pela câmera.

Quanto ao sistema mecânico, o protótipo não apresentou quebras ou mau funcionamento do sistema de esteiras, ou do sistema de tração por correntes.

8 PROPOSTAS DE MELHORIAS

Durante a apresentação do veículo foram dadas algumas idéias de melhoria:

1. Alterar a largura do protótipo para que caiba com uma maior folga na tubulação de 400 mm.
2. Aumentar a largura das esteiras e usar esteiras mais grossas.
3. Fazer com que a câmera tenha movimento rotatório, para inspecionar detalhes na lateral da tubulação sem que o veículo seja manobrado.
4. Blindar o veículo contra umidade e água.
5. Procurar no mercado uma placa de aquisição de imagens que possa ser usada em um laptop.
6. Usar correias sincronizadoras de alumínio para diminuir o peso total do protótipo.
7. Procurar no mercado uma bateria que tenha uma carga igual ou superior a atual, entretanto que apresente uma formato compacto e mais leve.
8. Trocar o suporte da câmera.
9. Utilizar motores de passo no acionamento dos eixos, para se obter velocidade variável.
10. Implementar um sistema de iluminação para ajudar na nitidez das imagens filmadas pela câmera.

9 CONCLUSÃO

Inicialmente foi estudado o protótipo obtido pelos alunos Fernando e Ricardo (Oliveira; Penna de Azevedo Filho, 2005) e a partir desse estudo foram definidos os principais aspectos que iriam ser desenvolvidos para este projeto. Esse estudo definiu como principais aspectos a serem desenvolvidos os seguintes itens: sistema de controle sem fio, sistema de mobilidade, sistema de transmissão, sistema de filmagem e medição, sistema de alinhamento do sistema de filmagem e sistema de transmissão de imagem.

Definidos esses subsistemas teve início o projeto do protótipo, visando sempre o emprego de peças ou equipamentos já existentes no mercado para que o projeto não ficasse muito caro e complexo. No entanto muitas das peças tiveram que ser usinadas, partindo-se de material em bruto como, por exemplo, os mancais de rolamento e o chassi. Muitas das peças utilizadas também foram obtidas do protótipo anterior como, por exemplo, o suporte do par de laser e a câmera.

O sistema de controle sem fio teve um ótimo desempenho nos testes realizados, pois mesmo com obstáculos, conseguiu manter o controle do protótipo sem sofrer interferências.

O sistema de mobilidade (sistema de esteiras) apresentou bom funcionamento dando uma boa aderência do protótipo com o piso. Acoplado ao sistema de mobilidade está o sistema de transmissão por correntes, que também apresentou um bom funcionamento sem desengrenar a corrente da engrenagem, apresentando também uma boa relação de transmissão deixando o protótipo em uma velocidade adequada, ou seja, não apresentando grandes vibrações durante a filmagem.

Já o sistema de filmagem e medição é praticamente o mesmo usado no protótipo anterior, apresentando diferença apenas na localização da câmera e do par de laser. No entanto foi projetado o sistema de alinhamento do sistema de filmagem para facilitar o trabalho do operador ao regular a altura da câmera em relação às rodas do protótipo, quando se inspeciona determinada tubulação com um determinado diâmetro.

E finalmente foi testado também o sistema de transmissão de imagem com o equipamento adquirido no mercado. Esse equipamento não apresentou

problemas na captação das imagens fornecidas pela câmera durante os testes, no entanto percebeu-se que é necessário um sistema de iluminação para que as imagens captadas pela câmera tenham uma melhor nitidez e não fiquem somente em preto e branco.

Muitas melhorias ainda podem ser feitas neste protótipo, melhorando-se o projeto e incorporando novos subsistemas.

Outro fato que deve ser observado é que para uma melhor avaliação do protótipo, devem ser feitos testes reais em tubulações reais, pois a partir desses testes que realmente irá se conhecer o verdadeiro desempenho do protótipo.

Durante a apresentação deste trabalho foram apontadas muitas melhorias que podem ser incorporadas a esse protótipo e essas melhorias estão descritas no título “PROPOSTAS DE MELHORIAS” deste trabalho.

10 BIBLIOGRAFIA

- Catálogo de rolamentos, SKF
- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, São Paulo. Disponível em <<http://www.sabesp.com.br>> acesso em: 20 de Maio de 2006.
- Futaba, Fabricante de sistemas de rádio controle. Disponível em <<http://www.futaba.com>> acesso em: 14 de Abril de 2006.
- Oliveira, F. P., "Dispositivo para diagnóstico de tubulações de água pluvial e esgoto", São Paulo, Brasil, 2005.
- Robert, L. Norton, "Projeto de máquinas", 2º edição. Bookman, São Paulo, Brasil, 2004.
- VídeoSan, empresa de inspeção de tubulações, Apresentações em power point diversas.

11 ANEXOS

11.1 Cronograma do andamento do projeto

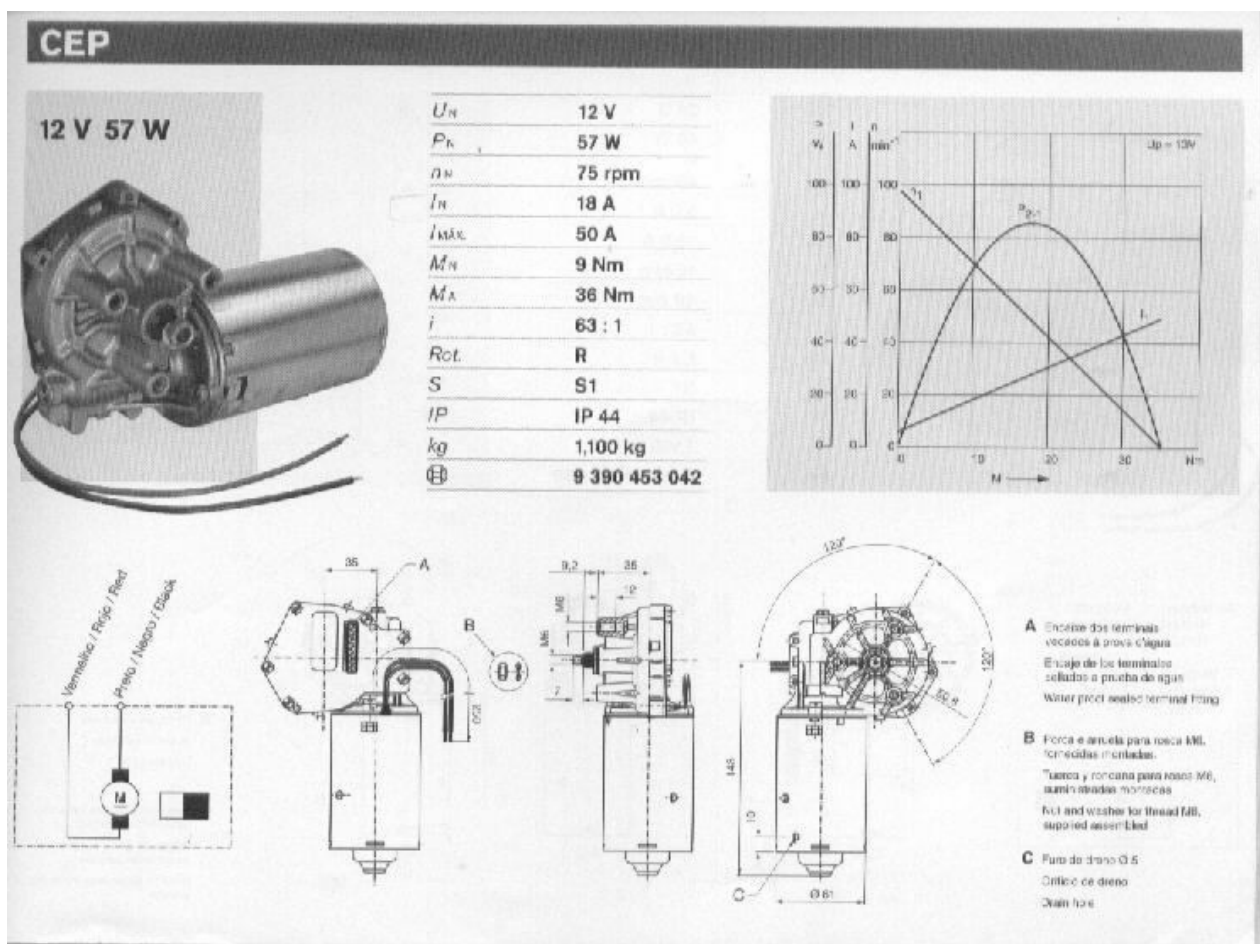
Atividade	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										

Atividades

1. Estudo de viabilidade.
2. Levantamento dos custos iniciais.
3. Escolha do sistema de controle sem fio.
4. Projeto do chassi.
5. Projeto da transmissão.
6. Projeto da instalação do sistema de controle e filmagem.
7. Projeto do mecanismo de alinhamento do sistema de filmagem e medição.
8. Detalhamento dos desenhos de fabricação.
9. Texto parcial do TF.
10. Apresentação do primeiro pôster.
11. Primeira apresentação.
12. Busca dos fornecedores e compra de componentes.
13. Usinagem dos componentes.
14. Montagem.

15. Pré-teste na tubulação de PVC do laboratório.
16. Teste em campo em tubulação real.
17. Término do texto final do TF.
18. Apresentação do segundo pôster.
19. Segunda apresentação.

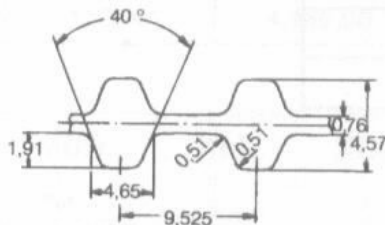
11.2 Catálogo do motor Bosch



11.3 Catálogo da correia sincronizadora

D-L

Passo 3/8" (9,525 mm) (D-L) – Serviço Leve



Código de Comprimento	Comprimento Primitivo Circunferência		Número de Dentes Internos
	Polegadas	Milímetros	
150 D-L	15,00	381,0	40
169 D-L	16,90	429,3	45
187 D-L	18,70	476,2	50
210 D-L	21,00	533,4	56
225 D-L	22,50	571,5	60
240 D-L	24,00	609,6	64
255 D-L	25,50	647,7	68
270 D-L	27,00	685,8	72
285 D-L	28,50	723,9	76
300 D-L	30,00	762,0	80
322 D-L	32,25	819,1	86
345 D-L	34,50	876,3	92
367 D-L	36,75	933,4	98
390 D-L	39,00	990,6	104
420 D-L	42,00	1066,8	112
450 D-L	45,00	1143,0	120
480 D-L	48,00	1219,2	128
510 D-L	51,00	1295,4	136
540 D-L	54,00	1371,6	144
600 D-L	60,00	1524,0	160

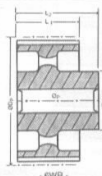
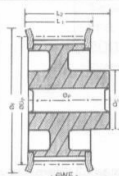
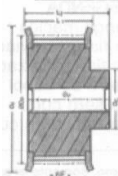
11.4 Catálogo da polia sincronizadora

Largura 100

Para correias de largura 3/4" (19,05 mm) L 075
Para correias de largura 1" (25,40 mm) L 100

Obs.: As correias com largura 3/4" (=075) trabalham nas polias largura 1".
Podem ser fabricadas polias 3/4" (=075) de largura, mediante encomenda.

Código	Número de Dentes	Tipo Polia	Diâm. Prim.	Diâm. sobre Flanges	Ø P Furo Mín.	Ø P Furo Máx.	Ø C Cubo	L1	* L2	Material	Peso aprox. kg
10 L 100	10	6F	30,33	36	8	13	20	31	38	Aço	0,23
12 L 100	12	6F	36,37	42	8	17	24	31	38	Aço	0,28
13 L 100	13	6F	39,43	44	8	19	26	31	38	Aço	0,32
14 L 100	14	6F	42,44	48	8	20	27	31	38	Aço	0,36
15 L 100	15	6F	45,50	52	8	22	30	31	38	Aço	0,44
16 L 100	16	6F	48,51	54	8	23	36	31	38	Aço	0,51
17 L 100	17	6F	51,54	57	10	24	36	31	38	Aço	0,54
18 L 100	18	6F	54,59	60	10	24	40	31	38	Aço	0,62
19 L 100	19	6F	57,61	63	10	24	40	31	38	Aço	0,69
20 L 100	20	6F	60,63	67	10	28	40	31	38	Aço	0,76
21 L 100	21	6F	63,68	71	10	28	46	31	38	Aço	0,82
22 L 100	22	6F	66,70	75	10	30	48	31	38	Aço	0,92
24 L 100	24	6F	72,77	79	12	30	50	31	38	Aço	1,1
26 L 100	26	6F	78,84	87	12	30	50	31	38	Aço	1,3
28 L 100	28	6F	84,89	91	12	30	50	31	38	Aço	1,4
30 L 100	30	6F	90,96	97	12	30	50	31	38	Aço	1,7
32 L 100	32	6F	97,03	103	12	30	50	31	38	Aço	1,8
36 L 100	36	6F	109,14	115	12	32	55	32	38	GG	1,7
40 L 100	40	6WF	121,29	127	12	35	60	32	38	GG	2,0
44 L 100	44	6WF	133,40	140	12	35	60	32	38	GG	2,1
48 L 100	48	6WF	145,54	152	12	35	60	32	38	GG	2,3
60 L 100	60	6WR	181,91	—	15	35	60	32	38	GG	2,2
72 L 100	72	6WR	218,29	—	15	35	60	32	38	GG	2,8
84 L 100	84	6WR	254,69	—	15	35	60	32	38	GG	3,0



LEGENDA

6F = com flange maciço
6WF = com flange aliviado
6WR = sem flange vazada
ØC = diâmetro do cubo
L1 = largura sem cubo
L2 = largura total com cubo

* Padrão europeu: Algumas L2 diferentes do sistema americano. Somente larguras L2.

As dimensões e tolerâncias do furo guia, e das larguras L1 e L2 podem ser modificadas sem aviso prévio.

* Veja procedimentos técnicos página 79.

Tolerância de excentricidade é de 0,05mm para polias com diâmetros externos de 0 a 200mm. Acima de 200mm de diâmetro, acrescentar 0,005mm para cada 10mm.

As polias padronizadas em nosso estoque somente possuem furo guia ou furo apontado, e não estão balanceadas.

O balanceamento e acabamento final das polias ficam sob responsabilidade do comprador.

Correias Schneider Ltda.

Rua Florêncio de Abreu, 647 (Metrô Luz) – CEP 01029-001 – São Paulo – SP – Fones: (11) 3326-3955 / 3315-0777 – Fax: (11) 3313-3258

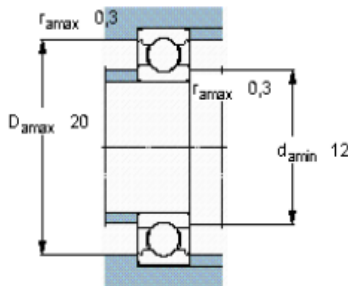
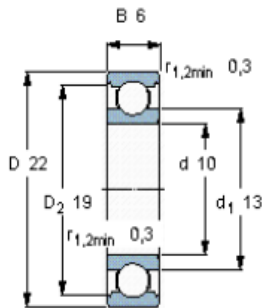
www.correias.com.br

11.5 Catálogo dos rolamentos



Rolamentos rígidos de esferas, uma carreira

Dimensões principais			Capacidades de carga		Carga limite de fadiga P_u	Velocidades		Massa	Designação
d	D	B	dinâmica	estática		Velocidade de referência	Velocidade limite		
mm			kN	C0	kN	r/min		kg	* - Rolamento SKF Explorer
10	22	6	2,08	0,85	0,036	75000	45000	0,01	61900

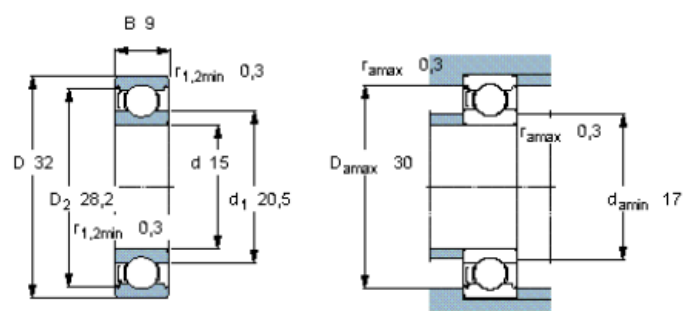


Fatores de cálculo

k_f 0,02
 f_0 9,3

Rolamentos rígidos de esferas, uma carreira

Dimensões principais			Capacidades de carga		Carga limite de fadiga P_u	Velocidades Velocidade de referência	Velocidade limite	Massa	Designação
d	D	B	C	C0					
mm			kN		kN	r/min		kg	-
15	32	9	6,85	2,85	0,12	50000	32000	0,03	6002-Z *



Fatores de cálculo

k_r 0,025
 f_0 14