

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

7.º (sete)

hsm

Cicloergômetro para teste Wingate

**Alunos: Ednei Rogério de Souza Zampese
Eleandro Ferronato de Souza**

Prof. Orientador: Dr. Marcelo Massarani

**EPUSP
2000**

AGRADECIMENTOS

No presente projeto agradecemos ao apoio e ensinamento transmitidos pelos grandes professores desta Escola que nos proviram do conhecimento para confecção deste primeiro trabalho na Engenharia.

Em especial agradecemos ao Prof. Dr. Marcelo Massarani e ao Prof. Boris Zampese, cuja dedicação permitiu fazer-nos evoluir com o projeto e tornou menores as barreiras encontradas no caminho, podendo considerá-los como ativos participantes desta obra e de um pedaço expressivo de nossas vidas.

O apoio de nossas famílias sempre foi indiscutível e devemos agradecer a eles em todos os momentos.

Fazemos um agradecimento ao Prof. Dr. Lucas Moscato pela compreensão das dificuldades atravessadas pelo grupo.

Deixamos nosso agradecimento ao amigo Engº. Michel Friedhofer pelo conhecimento gentilmente "emprestado" além de equipamento e componentes.

SUMÁRIO

1. RESUMO GERAL DO TRABALHO	6
2. INTRODUÇÃO	7
2.1. Razões fisiológicas para o Teste Wingate	7
2.2. Procedimentos do Teste	10
3. ESTUDO DE VIABILIDADE DO PROJETO	12
3.1. RISCOS E BENEFÍCIOS DO EXERCÍCIO	12
4. ESTUDO DA NECESSIDADE	15
4.1. Vantagem Competitiva.	15
4.2. Colocação mercadológica do cicloergômetro	18
5. FORMULAÇÃO DO PROJETO	20
5.1. Formulação de características	21
5.1.1. Sistema Mecânico	23
5.1.2. Sistema Ergométrico	24
5.1.3. Sistema de Controle	26
5.2. Especificações técnicas	34
5.2.1. Especificações Funcionais	34
5.2.2. Especificações Operacionais	34
5.2.3. Especificações Construtivas	34
6. SÍNTESE DE SOLUÇÕES	37
6.1. Sistema Mecânico	37
6.2. Sistema Ergométrico	37
6.2.1. Sistema de posicionamento do guidão	38
6.2.2. Sistema de posicionamento do selim	40
6.2.3. Sistema de regulagem radial do pedal	41
6.3. Sistema de Controle	41
6.3.1. Sistema de Atuação	42
6.3.2. Sistema de Aquisição de Dados	46
6.3.3. Sistema de Tratamento e Controle	51

7. EXEQUIBILIDADE FÍSICA	54
7.1. Parte Mecânica	54
7.2. Sistemas de Controle	54
8. Valor Econômico	55
9. Projeto do Sistema Mecânico	56
9.1. Escolha da Relação de Transmissão	56
9.2. Escolha da melhor forma de transmissão de potência	60
9.2.1. Solução de Transmissão por Engrenagens	61
9.2.2. Solução de Transmissão por Correias	64
9.2.3. Solução de Transmissão por Correntes	67
9.2.4. Solução Mista	68
9.2.5. Fechamento da Solução	69
9.3. Dimensionamento dos Eixos	70
9.3.1. Eixo de Entrada	70
9.3.2. Eixo Intermediário	74
9.3.3. Eixo de Saída	78
9.4. Verificação dos Rolamentos	82
9.4.1. Eixo de Entrada	83
9.4.2. Eixo Intermediário	84
9.4.3. Eixo de Saída	85
10. Projeto do Sistema de Controle	86
10.1. Descrição do Freio Eletromagnético e Modelo	86
10.2. Atuador: Controlador de Corrente	88
10.3. Sensor de Força	91
10.4. Sensor de Rotação	93
10.5. Microprocessador	94
10.6. Chip de Comunicação Serial RS232	97
10.7. Conversor D/A	98
10.8. Fonte de Alimentação	100
10.9. Software de Apresentação de Resultados	101

10.10.	Software de Controle _____	102
10.11.	Protocolo de Aquisição de Dados e Controle _____	103
10.12.	Conversão de Valores Recebidos em Valores Reais _____	104
10.12.1.	Rotação do eixo: _____	104
10.12.2.	Strain gage: _____	104
10.12.3.	Intervalo de tempo: _____	105
11.	<i>Simulação e Discussão de Resultados</i> _____	107
12.	<i>Conclusão</i> _____	110
13.	<i>BIBLIOGRAFIA</i> _____	111
14.	<i>Anexos</i> _____	112
14.1.	Seleção da Força (F) _____	112
14.2.	Cálculos _____	113
14.3.	Tabela de Resultados Obtidos e Expectativa do Teste _____	114
14.4.	Listagem dos Arquivos de Saída dos Testes _____	115
14.5.	Listagem do Software de Apresentação de Resultados _____	121
14.6.	Listagem do Software Residente _____	127
14.6.1.	Header.asm: _____	127
14.6.2.	Final.asm _____	128
14.7.	Catálogo de Correntes _____	137
14.8.	Catálogo de Correias _____	138
14.9.	Tabela e Curvas para Escolha da Relação de Transmissão _____	139
14.10.	Desenho de Montagem da Caixa de Transmissão com Engrenagens 140	
14.11.	Desenhos de Construção de Componentes da Máquina _____	141
14.12.	Estrutura da Máquina _____	142
14.13.	Datasheet do Sensor de Força _____	143
14.14.	Curva de Resposta do Freio Eletromagnético _____	144
14.15.	Diagrama Elétrico da Placa de Aquisição de Dados _____	145
14.16.	Leiaute da Placa de Aquisição de Dados _____	146

14.17. Datasheets dos Componentes Principais da Placa _____ 147

1. RESUMO GERAL DO TRABALHO

Este trabalho tem por fim o desenvolvimento de uma máquina para auxiliar na avaliação de um exame físico comum na área da Educação Física , o **Teste Wingate**. O incentivo à elaboração deste projeto foi dado por um grupo de amigos especializados em Fisiologia Esportiva, apresentando este projeto um caráter comercial e a oportunidade de se implementar um projeto completo como trabalho de conclusão de curso.

O desenvolvimento deste projeto, sob orientação do Prof. Dr. Marcelo Massarani, está sendo efetuado segundo as diretrizes do curso de Metodologia de Projeto ministrada por esta instituição. Sendo este trabalho dividido em 2 grandes partes:

- Estudo de Viabilidade e Escolha da Melhor Solução: parte descritiva do projeto onde se buscarão suas possíveis soluções . E através de uma análise construtiva, funcional e econômica será selecionada sua melhor solução.
- Projeto: apesar do caráter comercial deste projeto, durante o período de orientação, como parte integrante do trabalho de conclusão de curso, o projeto prevê a confecção de seu projeto executivo assim como a implementação de seu protótipo.

2. INTRODUÇÃO

O teste *Wingate* foi projetado para crianças, muito embora tenha se popularizado seu uso para adultos, ao final da década de 1970. Este teste objetiva avaliar fisicamente os indivíduos de forma a medir suas variáveis anaeróbicas. Este procedimento permite se obter o *feed-back* do treinamento de atletas profissionais e/ou se direcionar o condicionamento físico de pessoas através de suas condições anaeróbicas. O teste pode ser usado para avaliar a curva de potência dos braços ou das pernas dos indivíduos, mas é normalmente utilizado no segundo caso.

A medição precisa da curva de potência permite determinar a performance da potência anaeróbica e capacidade anaeróbica do envolvido. A distinção entre as duas grandezas - potência e capacidade - diferenciam-se com relação ao fator tempo; a potência refere-se ao máximo (ou pico) de potência alcançada em um período de 5 segundos do teste, e a capacidade refere-se à potência média desenvolvida durante todos os 30 segundos do teste.

2.1. Razões fisiológicas para o Teste *Wingate*

As atividades musculares dividem-se com relação às suas características em anaeróbicas e aeróbicas e diferenciam-se basicamente pela reação de dissipação de energia. Nas atividades anaeróbicas, não se utiliza o oxigênio, mas é uma defesa que o organismo tem de reagir de maneira rápida a situações de perigo, onde se consegue obter grande potência em intervalos de tempo curtos, situação essa que não se pode manter senão por pouco tempo, pelo acúmulo de ácido láctico e lactatos, que são derivados do primeiro, que imobilizam a contração da musculatura se em grande concentração. Em contrapartida, as reações aeróbicas ocorrem na presença de oxigênio, liberam maior quantidade de energia por unidade de glicose queimada e são as responsáveis pela liberação de energia e movimentação muscular em atividades de longa duração; a queima da glicose é mais completa e não se produz ácido láctico na reação.

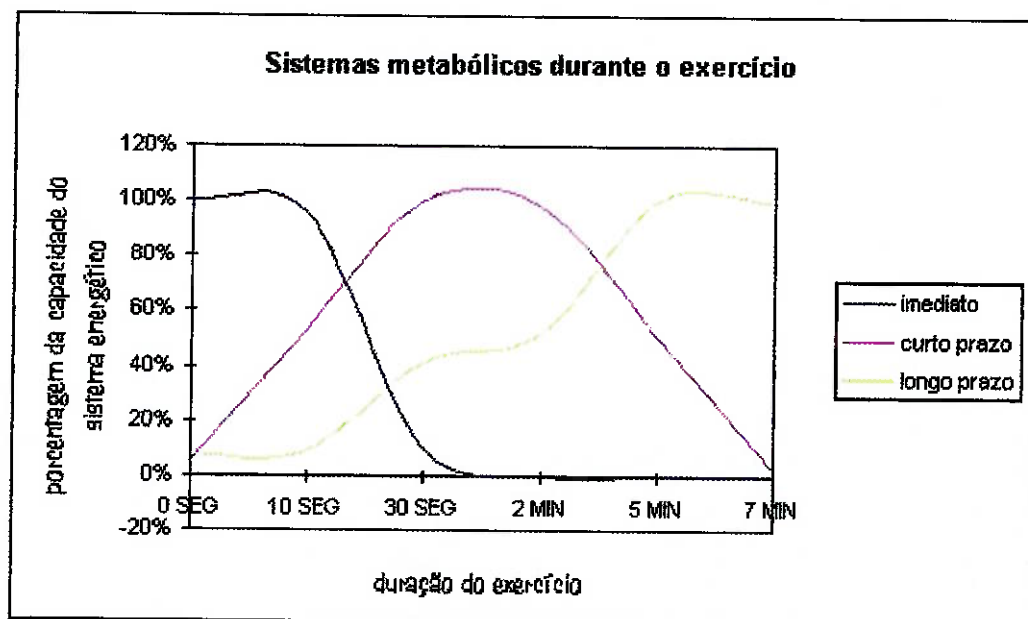


Figura 1 – Sistemas metabólicos durante o exercício

O gráfico da figura 1 demonstra a capacidade do sistema energético com relação ao tempo que se desenvolve a atividade física. A curva azul demonstra a atividade predominantemente anaeróbica, que é a situação que configura o objeto de estudo do presente trabalho, onde se desenvolve o máximo de capacidade durante 30 segundos – note que o indivíduo não consegue manter a faixa máxima por muito mais do que 10 s; e após os 30 segundos a fadiga causada pelo lactato leva o rendimento dele para valores muito baixos. A curva amarela revela atividades predominantemente aeróbicas, com valores crescentes de exigência física. A curva roxa representa a atividade de curto prazo.

No meio esportivo, este teste predominantemente anaeróbico pode ser apropriadamente considerado uma combinação do teste físico de curta e longa duração, pois a duração total é de 30 s - o curto (até 10s) e longo (de 10 até 90 s)

Potência Anaeróbica. Os máximos de potência anaeróbica principalmente refletem a habilidade do atleta de usar o sistema fosfagênico com uma alta taxa pois essa habilidade é normalmente determinada com o princípio do teste (5 a 10 primeiros segundos). Cientistas concluíram que o sistema fosfagênico e o glicótico correspondem, respectivamente, a 23% e 49% da

performance dos atletas tranados de forma aeróbica no teste do *Wingate*. Se os primeiros 10 s forem bem examinados, é provável que a porcentagem fosfagênica seja maior do que a apresentada acima. A contribuição fosfagênica para todos os 30 s do teste foi substanciada por pesquisadores (Jacobs et al., 1982) que concluíram que as atletas femininas reduziram os níveis de fosfágeno delas a 70% do nível original de adenosina-trifosfato e estima 40% do fosfato de creatina original delas depois de executar o *Wingate*.

Capacidade Aeróbica. A capacidade anaeróbica reflete a habilidade para derivar energia de uma combinação fosfagênico e caminhos glicóticos aeróbicos. Um grupo de pesquisadores (Jacobs et al., 1982) concluíram que a capacidade de glicogenolítica não era completamente utilizada para as partes iniciais do teste. A duração de 30s do *Wingate* é certamente menor do que o 40 s (Margaria et al., 1964) ou 2 min (Meribo et al., 1988); isso traz a certeza de que fazendo o teste com a duração de 30s garante a operação de trabalho nas atividades anaeróbicas e a possibilidade da taxa de produção máxima de lactatos. Porém, é possível que a máxima taxa de produção de lactato que indica potência anaeróbica, possa ocorrer algumas vezes durante o Teste *Wingate*. A produção anaeróbica da energia é evidenciada dos altos valores de lactato no sangue (que atingem de 6 a 15 vezes o valor de descanso).

Dessa forma, o teste wingate é um turno de exercício de esforço máximo que dura 30 segundos, e conta principalmente com os dois caminhos anaeróbicos, e secundariamente com o metabolismo aeróbico para produzir energia.

2.2. Procedimentos do Teste

Protocolo do Wingate. O protocolo de Wingate tem cinco períodos de tempos pré-definidos: (1) exercício preliminar; (2) intervalo de alívio; (3) intervalo de aceleração; (4) Teste Wingate propriamente dito; e (5) resfriamento.

Como com os outros testes anaeróbicos, o exercício preliminar é recomendável. Dois especialistas do teste encorajam o uso de uma prévia que inclui 5 min de pedalar a baixa intensidade entremeado por quatro a cinco piques de 4 a 6 segundos de duração; cada um deles deve estar com a carga de torção resistente prescrita para a teste aplicada.

O intervalo de alívio entre o fim do exercício anterior e o começo do Wingate não deve ser menor que 2 min do exercício anterior, nem maior que 5 min depois da parte prévia do exercício preliminar. Os 2 min mínimos provêm da possibilidade de recobrir uma possível fadiga que eventualmente possa ter ocorrido durante a prévia do exercício preliminar; o máximo de 5 minutos provém da necessidade de não permitir que o músculo desaqueça, tendo sua temperatura diminuída e que haja prejuízos no fluxo sanguíneo. A atividade durante intervalo de descanso deve consistir em simplesmente descansar enquanto sentado na bicicleta ou pedalando ao mínimo esforço (por exemplo, com carga de 1 kg ou 10 N e rotação entre 10 e 20 rpm).

O período de aceleração é muito rápido. É iniciado imediatamente após o intervalo de recuperação e consiste duas componentes de tempo. Na primeira, pedalar a aproximadamente 20 rpm por aproximadamente 10 segundos com uma força resistente de um terço do prescrito. Pela segunda, aumentar a rotação enquanto os aumentos de força prescrita são feitos em menos de 5 segundos; assim, o período de aceleração dura cerca de 15 segundos.

A duração do esforço máximo despendido pelo indivíduo para o Teste de Wingate é de 30 segundos, onde se aplica a carga prescrita e o envolvido pedala ao seu máximo.

O desaquecimento leva de 1 a 2 minutos e consiste em pedalar de baixo a moderado nível de força na bicicleta ergométrica imediatamente após o teste de Wingate.

Protocolo do Teste Wingate

Período	Duração	Atividade
Exercício Preliminar	5 minutos	Pedalar em baixa intensidade, com 4 a 5 <i>sprints</i> de duração de 4 a 6 segundos com a carga prescrita
Recuperação	2 a 5 minutos	Descanso; pedalar lento à mínima carga
Aceleração	15 Segundos	Pedalar por 10 segundos a um terço da carga prescrita e, em menos de 5 segundos, carregar com a força prescrita
Teste Wingate	30 Segundos	Pedalar contínuo com a máxima velocidade que o atleta puder desempenhar
Desaquecimento	1 a 2 minutos	Pedalar com baixa carga; desaquecer.

Cronometragem e Contagem. A contagem oficialmente deve ser iniciada após o período de aceleração, o qual é determinado pelo técnico que prescreve e aplica a carga. A cronometragem é iniciada e o indivíduo deve pedalar o mais rápido possível que puder pelo período de 30 s, sem contudo levantar do celim.

Medições. As medições do teste de wingate são os picos de potência anaeróbica (peak-AnP) e a capacidade anaeróbica (AnC). Para medir a potência anaeróbica deve-se armazenar o número de rotações feitas no pedal durante o teste e, através dos valores de carga aplicada, determinar sua curva de potência. A capacidade anaeróbica é baseada no número total de revoluções ao final dos 30 segundos, para fins comparativos. A (AnC) pode ser medida em joules ou em revoluções por unidade de tempo.

3. ESTUDO DE VIABILIDADE DO PROJETO

3.1. RISCOS E BENEFÍCIOS DO EXERCÍCIO

Estilos de vida sedentários são altamente prevalentes em países industrializados. Evidências convincentes demonstram que a atividade física regular protege contra o desenvolvimento e a progressão de diversas doenças crônicas. Estes dois pontos sugerem que resultariam benefícios consideráveis em termos de saúde pública se os indivíduos sedentários se tornassem fisicamente mais ativos.

Está claramente estabelecido que há um considerável benefício de saúde associado com níveis moderados de exercício físico, embora a intensidade e a quantidade exatas, necessárias para prevenir uma morte prematura, não sejam especificamente conhecidas. Contudo, parece que muitos indivíduos sedentários seriam mais saudáveis se simplesmente realizassem uma ligeira caminhada de 30 a 60 minutos a cada dois dias.

Embora um exercício de intensidade moderada seja seguro para a maioria dos indivíduos, é desejável que alguns tenham pelo menos uma breve avaliação de saúde antes do início de um programa de exercícios físicos de alta intensidade ou antes de serem submetidos a um teste de esforço. Para muitos indivíduos a avaliação pré-exercício pode ser realizada por profissionais de saúde em condições não-médicas. A idade, o estado de saúde, o tipo de teste e as características do exercício planejado são fatores que determinam a extensão da avaliação e a necessidade de participação médica.

As doenças cardiovasculares são as principais causas de morte em grande parte do mundo desenvolvido. A morte súbita e inesperada é relativamente comum em populações com alta prevalência de doenças cardiovasculares. A maior parte dos casos de morte súbita ocorre em indivíduos de meia-idade e idosos, com doença arterial coronariana avançada, e ocorre durante uma série de atividades, incluindo o exercício físico. É importante lembrar que a

causa de morte nesses casos é a doença cardiovascular, não o exercício, embora o exercício ou uma combinação de exercício e agitação possa ser um fator em alguns casos. O exercício de alta intensidade em pessoas sem doença cardiovascular subjacente não resultará em morte súbita. A morte durante o exercício intenso é rara, ocorrendo talvez em uma taxa de uma morte por ano numa população de 15.000 a 20.000 adultos que se exercitam.

O risco de morte é transitoriamente aumentado durante o período do exercício propriamente dito, mas diminuído pelo resto do dia. O risco de morte durante o exercício deve ser considerado em relação às taxas gerais de mortalidade mais baixas, verificadas em grupos fisicamente ativos. O risco de uma parada cardíaca primária é levemente maior (21 comparado com 18 eventos por 10 elevado a 8a. potência pessoas-hora) durante o exercício em indivíduos que se exercitam regularmente do que o risco geral para homens sedentários. Contudo, o risco geral de ocorrer uma parada cardíaca em homens ativos é muito menor do que para homens sedentários (5 comparado com 18 eventos por 108 pessoas-hora). Uma outra evidência confirma uma relação risco-benefício favorável de um estilo de vida ativo. Estudos epidemiológicos demonstram de modo consistente taxas gerais de mortalidade mais baixas em grupos mais fisicamente ativos. Em adição, houve um aumento considerável na participação de adulta em programas de exercícios físicos sem um aumento concomitante nas taxas de morte súbita nos Estados Unidos.

Em resumo, o risco de complicações médicas sérias durante o exercício é baixo, mas é maior do que durante atividades sedentárias. A relação risco-benefício de um estilo de vida ativo é favorável. O exercício de intensidade moderada tem o potencial de melhorar a saúde de muitos indivíduos sedentários, e deveria ser amplamente recomendado. A maioria dos indivíduos, exceto aqueles com doença importante diagnosticada, pode iniciar um programa de exercícios físicos de intensidade moderada (intensidade de exercício de 40% a 60% do consumo máximo de oxigênio e progressão gradual, tal como caminhada, sem uma avaliação médica ou um teste de esforço. Se houver algum questionamento em relação à segurança e

conveniência de um programa de exercícios para algum indivíduo, uma avaliação médica é recomendada.

Os indivíduos a serem encaminhados para o teste de esforço ou aqueles que planejam aumentar sua atividade física podem ser classificados em três níveis de risco: os *aparentemente saudáveis*, que são assintomáticos e aparentemente saudáveis, com não mais do que um fator de risco coronariano (hipertensão arterial, colesterol sérico alto, tabagismo, diabetes ou genética propensa a doenças coronarianas); *indivíduos de maior risco*, que possuem sintomas de uma possível doença cardiopulmonar ou metabólica ou dois ou mais fatores coronarianos; e *indivíduos com doença*, nos quais já se constatou a doença cardíaca, pulmonar ou metabólica.

Por outro lado, a atividade física promove relaxamento e contração muscular, assim como ativa as reações enzimáticas que mantêm a homeostase através do bom fluxo sanguíneo. As respostas cardiovasculares ao exercício serão dependentes do seu tipo, intensidade e duração. As atividades para manutenção de saúde não precisam ultrapassar os 60 minutos, depois do lastro fisiológico. Um dos métodos de programa de treinamento é o "313", onde treina-se 3 dias, descansa-se 1 e treina-se mais 3 dias. Ocorrem três efeitos principais ocorrem durante o exercício, e são essenciais para que o sistema circulatório possa suprir o enorme fluxo sanguíneo necessitado pelos músculos: a descarga simpática em massa; o aumento do débito cardíaco; o aumento da pressão sanguínea.

4. ESTUDO DA NECESSIDADE

4.1. Vantagem Competitiva.

Um bom gerenciamento logístico do projeto pode proporcionar uma fonte de vantagem competitiva, uma posição de superioridade duradoura sobre os concorrentes em termos da preferência do cliente, o que garante o sucesso deste produto.

A fonte da vantagem competitiva em termos de mercado é encontrada na capacidade de produzir diferenciando o produto aos olhos do cliente ou pela capacidade de operar a baixos custos.

Considerando as bases de sucesso em qualquer contexto competitivo, o sucesso comercial é conquistado através da vantagem de custo ou vantagem de lucro, ou ambas. Simplificando, os produtos bem-sucedidos ou têm vantagem pela alta produtividade, ou uma vantagem de valor percebido, ou uma combinação de ambas. Essa é uma meta do projeto do produto e das especificações necessárias para que se empenhe em projetar diminuindo o risco de um fracasso.

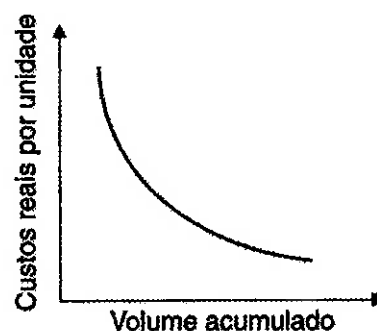


Figura 2 Curva de Experiência de um produto

Fonte: Christofer, Martin; Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, 1997

A vantagem de produtividade permite alcançar uma economia produtiva em termos de escala. É conhecida do meio mercadológico a curva da experiência (fig. 2), que se aplica ao valor agregado na atividade produtiva, ou seja, os custos que não sejam aqueles dos materiais comprados. Nela se vê que quanto maior for o volume acumulado, menores são os custos de

produção por unidade. Dessa forma, é necessário buscar um mercado o maior possível para que, logo no lançamento, os custos de produção sejam baixos.

A vantagem em valor reflete o antigo axioma do marketing de que “os clientes não compram produtos, eles compram satisfação”, relatando que a compra não é efetuada pelo produto como ele é, e sim pela promessa do que ele proporcionará. Os benefícios proporcionados podem ser tanto intangíveis, como é caso da melhoria dos serviços de atendimento ao cliente, prazos de entrega, adição de *status* pessoal, por exemplo. Podem ser diferenciais tangíveis, desenvolvendo uma estratégia baseada em valores adicionados normalmente exigirá uma abordagem, mais segmentada no mercado. Ao examinar os mercados, normalmente se descobrem que existem segmentos de valor distintos, de onde se conclui que os clientes, em um dado mercado, dão importância distinta a benefícios diferentes. Os benefícios tangíveis definem as características do produto; o que ele deve conter que é um diferencial perceptível aos olhos do cliente e que fazem com que tenha sucesso. Se o diferencial do produto não for percebido, ou se tiver curta duração, há a necessidade de se posicionar de forma vantajosa na matriz abaixo:

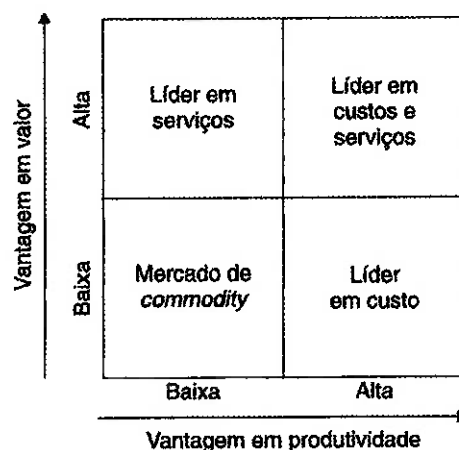


Figura 3 Matriz da Vantagem Competitiva

Fonte: Christofer, Martin; Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, 1997

A forma mais vantajosa de situar o produto é buscando o quadrante direito superior, onde há grandes vantagens em produtividade, com reduções de

custo devidas à economia de grande escala e, por outro lado, o produto possui qualidade percebida pelo consumidor.

Por outro lado, um produto deve nascer de uma boa idéia e de uma aceitação mercadológica. De nada adianta um projeto que respeite as especificações técnicas rigorosamente, se essas mesmas especificações não refletirem um desejo do mercado. A qualidade, dessa forma, está sendo cumprida, mas não há clientes suficientes para garantir-lhe o sucesso.

A matriz de oportunidades permite detectar as efetivas oportunidades para o produto por meio da análise conjunta da atratividade do segmento ou mercado. Para tanto, deve ser avaliada uma escala (baixa, média e alta) no qual a atratividade do mercado para seu produto é colocada e a situação competitiva do produto, situando a oportunidade no gráfico (fig. 4). Quanto mais o produto estiver no canto superior direito, maior a chance de sucesso para o produto, o que indica que o diferencial do cicloergômetro deve ser requerido no mercado e o cicloergômetro desenvolvido por este trabalho deve estar com vantagem competitivas nesse mercado.

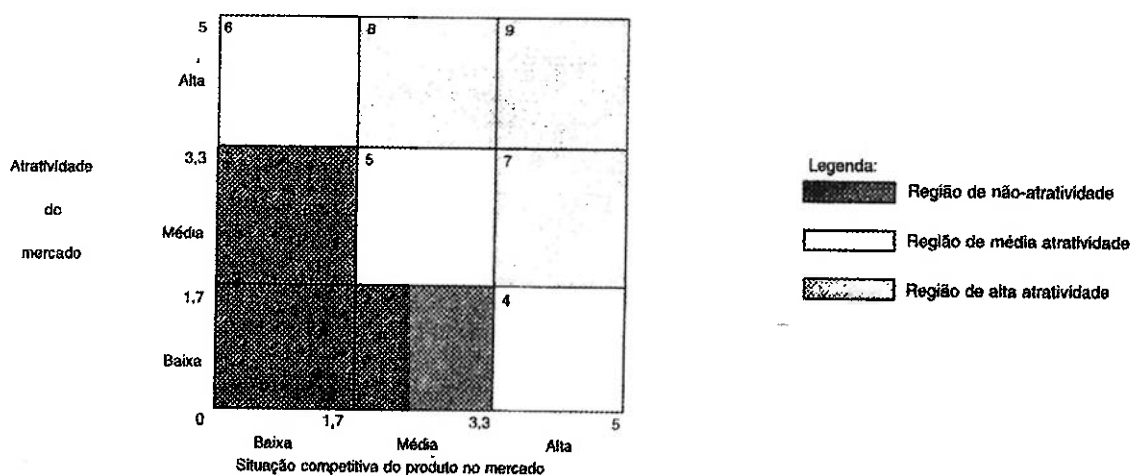


Figura 4 Matriz de Oportunidade

Fonte: Mattar F. N. e Santos D. G.; Gerência de Produtos, 1999

4.2. Colocação mercadológica do cicloergômetro

A idéia do cicloergômetro nasceu do desejo de se atuar com a cultura adquirida em todo o curso de Engenharia Mecânica e Mecatrônica no campo da Educação Física, procurando-se médicos especialistas que sugeriram a fabricação deste equipamento no Brasil.

Atualmente, este teste é feito com muito pouca tecnologia, e o controle dos dados e do torque resistente pode ser tratado com ferramentas utilizadas amplamente na área de automação e de projetos mecânicos. Nos aparelhos encontrados no Brasil, a força atua em um disco por meio de uma fita polimérica que está em contato com um volante, sem controle e com pouca precisão. Por outro lado, a tomada de dados se faz com cronômetros manuais e depende da rapidez de quem o manuseia.

Com os conhecimentos do Curso de Engenharia, foi proposto a construção de uma máquina com essas funções que oferecesse parâmetros de saída e que analisasse com precisão e acurácia muito maior, com ampla aceitação, de acordo com entrevistas feitas com especialistas da Medicina Esportiva.

O ambiente globalizado devido às facilidades nas importações e na obtenção de informações, e a conseqüente expansão dos mercados consumidores e da concorrência, faz da análise internacional de preços uma importante arma no sentido de ampliar o conhecimento do mercado. Mesmo dessa forma, o mercado oferece alternativas como a que nos foi oferecida. Há cicloergômetros, mas não com o tomada de dados e controle computadorizados. Dessa forma, é averiguada a atratividade do mercado (Matriz da figura 4). Para situar de forma favorável, é necessário que o diferencial seja sustentado pelas características do produto, descritas no próximo item. Mais um ponto favorável, foi a desvalorização do real frente ao dólar ocorrida no primeiro semestre do ano que, na economia brasileira favoreceu o produto em duas frentes: a da diminuição do risco de concorrência de produtos importados que eventualmente possam ser vendidos no Brasil; e a do aumento da possibilidade de exportar o produto

para outras economias. Os tratados de firmação do Mercosul também oferece grandes oportunidades de abertura dos mercados consumidores do produto.

Atrelado ao desempenho favorável nas vendas, é necessário formular uma técnica de produção que consiga obter as economias de grande escala no setor produtivo. Garantindo a venda do equipamento, pode-se minorar os custos de estocagem e fabricação, e obtendo todas as vantagens em relação à participação no mercado que o pioneirismo confere, como o tempo desde o lançamento do cicloergômetro, até o lançamento de produtos que a ele concorrem. Esse período deve ser o de projeto, lançamento e colocação do produto concorrente no mercado, que se espera ser de 18 meses.

Um elemento importante a ser considerado no produto é a versatilidade. O cicloergômetro não serve apenas para o Wingate mas em substituição a todas as bicicletas ergométricas convencionais para se fazer análise de desempenho também aeróbico. Daí a ampliação do produto, que cumpre uma gama maior de tarefas de forma extremamente acurada e precisa, agindo como substituta de dois equipamentos de teste.

Por fim, o crescimento da importância da prática de exercícios, frente ao ambiente concorrente das grandes cidades, retratada na popularização de técnicas antes desconhecidas ou até na expansão das redes de academias, retrata a grande possibilidade de a popularização da prática esportiva como reguladora e harmonizadora das atividades diárias para se obter uma vida saudável, de abrir um grande mercado para o produto desenvolvido por este trabalho.

5. FORMULAÇÃO DO PROJETO

Para facilitar a formulação do projeto, o mesmo será dividido em sistemas, cada qual com seus subsistemas e soluções individuais. Após uma filtragem interna aos subsistemas avaliar-se-ão as interações entre os sistemas, o que possibilitará uma avaliação global do produto e a definição de todas as especificações de projeto.

O projeto pode ser visualizado segundo o seguinte diagrama de blocos:

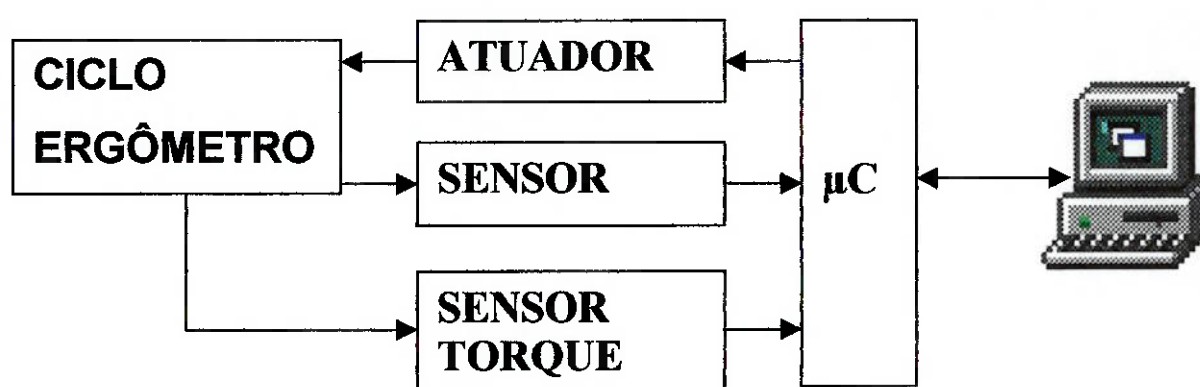


Figura 1 – Diagrama de Blocos Esquemático

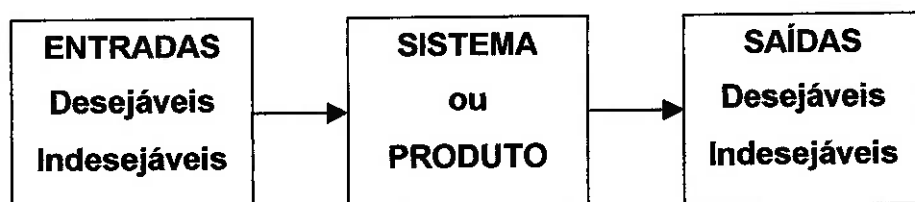
Segundo o Diagrama de Blocos Esquemático acima, o projeto pode ser dividido nos seguintes subsistemas:

1. Sistema Mecânico;
2. Sistema Ergométrico
 - 2.1. Sistema de posicionamento do guidão
 - 2.1.1. Posicionamento linear;
 - 2.1.2. Posicionamento angular.
 - 2.2. Sistema de posicionamento do selim
 - 2.2.1. Posicionamento linear ;
 - 2.2.2. Posicionamento angular.
 - 2.3. Sistema de regulagem radial do pedal.
3. Sistema de Controle
 - 3.1. Sistema de Aquisição de Dados

- 3.1.1 Sensor de Torque;
- 3.1.2 Sensor de Rotação;
- 3.1.3 Placa de Aquisição de Dados;
- 3.2 Sistema de Atuação;
- 3.3 Sistema de Tratamento e Controle
 - 3.3.1 Microcomputador;
 - 3.3.2 Software de Apresentação de Resultados;
 - 3.3.3 Software de Aquisição de Dados e Controle.

5.1. Formulação de características

Para que sejam definidas as especificações funcionais de cada sistema interno ao projeto, serão consideradas as entradas e saídas possíveis a cada subsistema, quantificando-as quando possível. Cada item será tratado segundo o diagrama de blocos funcional a seguir:



Primeiramente será descrito o sistema completo, e cada subsistema descrito na sequência. Desta forma, o projeto descreve-se como o seguinte diagrama de blocos:

**ENTRADAS
DESEJÁVEIS**

- Posicionamento da bicicleta com todos os pontos de apoio em contato com a superfície de apoio;
- Atleta com limite de peso de **1200N**;
- Rotação imposta inferior a **500rpm**;
- Utilização adequada, isto é, limitando-se ao propósito de utilizá-la como uma bicicleta ergométrica;
- Utilização em ambiente adequado, como por exemplo protegido de intempéries;
- Controle Remoto;

**SAÍDAS
DESEJÁVEIS**

- Estabilidade Estática e Dinâmica;
- Torque resistivo controlado;
- Acionamento de torque instantâneo;
- Coleta de dados de rotação precisa o suficiente para tratamento posterior;

**ENTRADAS
INDESEJÁVEIS**

- Bicicleta não plenamente apoiada, isto é, “manca”;
- Atleta com peso superior a **1200N**;
- Rotação imposta superior a **500rpm**;
- Utilização inadequada;
- Utilização em ambiente inadequado;

**SAÍDAS
INDESEJÁVEIS**

- Instabilidade Estática e/ou Dinâmica;
- Torque resistivo aplicado diferente do desejado;
- Tempo de acionamento do torque afetando a validade do teste;
- Coleta de dados imprecisa;
- Vibração no pedal oriunda de oscilação no acionamento perceptível;
- Ruído excessivo;

Agora cada sistema citado anteriormente será detalhado, em busca das especificações técnicas para a seleção de soluções.

5.1.1. Sistema Mecânico

O sistema mecânico envolve os aspectos construtivos do produto, de forma a prover rigidez mecânica a todos os sistemas

**ENTRADAS
DESEJÁVEIS**

- Rigidez estrutural;
- Posicionamento da bicicleta com todos os pontos de apoio em contato com a superfície de apoio;
- Atleta com limite de peso de **1200N**.

**SAÍDAS
DESEJÁVEIS**

- Estabilidade Estática e Dinâmica.

**ENTRADAS
INDESEJÁVEIS**

- Superfície de apoio não nivelada, tornando a bicicleta “manca”, isto é, não plenamente apoiada;
- Estrutura que não permitir o correto posicionamento;
- Atleta de peso superior a **1200N**;

**SAÍDAS
INDESEJÁVEIS**

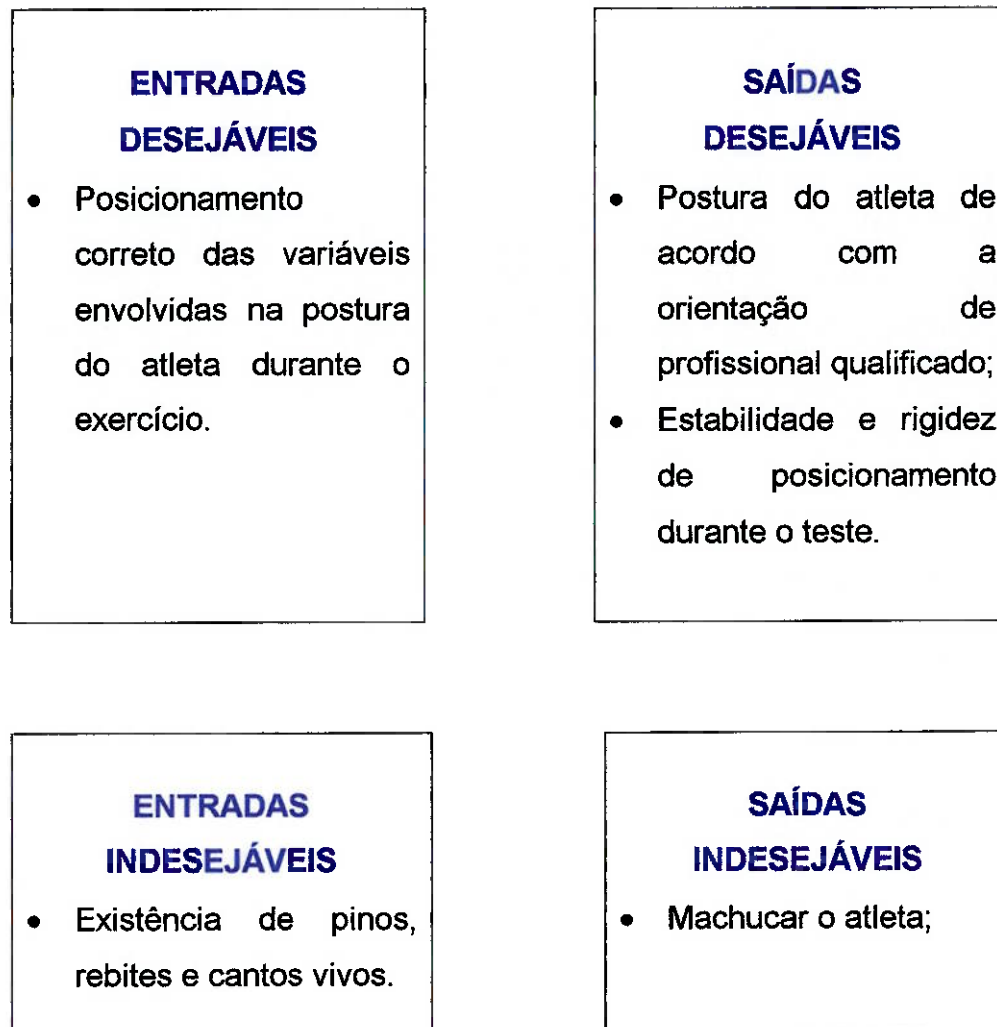
- Falta de estabilidade Estática e Dinâmica;
- Rompimento de peças estruturais;
- Atleta com dificuldade de se amoldar ao equipamento.

5.1.2. Sistema Ergométrico

O sistema ergométrico envolve todos os sistemas a serem desenvolvidos para garantir uma correta postura, isto é, ergonomia, do atleta no desenvolvimento do exercício. Este sistema é rígido para cada atleta, posicionado no início do exercício as regulagens dos sistemas devem manter-se até o fim do teste. Contudo devem permitir ajustes, pois a ergonomia correta não é dependente apenas da altura das pessoas, mas de

características mais particulares como os comprimentos de braços e pernas, que diferem em pessoas de mesma estatura.

Desta forma, tem-se o seguinte diagrama de entradas e saídas do sistema ergométrico :



5.1.3. Sistema de Controle

Este sistema tem como finalidade o controle e aplicação de um determinado torque resistivo ao movimento dos pedais. Este torque deverá ser mantido constante durante todo o teste.

ENTRADAS DESEJÁVEIS

- Valor de torque resistivo a ser mantido, entre 0-30Nm.

SAÍDAS DESEJÁVEIS

- Torque resistivo ao movimento dos pedais controlado e constante.

ENTRADAS INDESEJÁVEIS

- Ruídos;
- Vibrações mecânicas;
- Torque superior a

SAÍDAS INDESEJÁVEIS

- Torque resistivo não controlado.

Seguindo a divisão do Sistema Controle anteriormente explicitado, serão descritos cada subsistema individualmente:

5.1.3.1. Sistema de Aquisição de Dados

Sistema responsável pela aquisição dos dados necessários para a malha controle e para a avaliação do teste segundo os parâmetros do WinGate.

5.1.3.1.1 Sensor de Torque

Sensor de torque necessário tanto para fechar a malha de controle como para se obter os dados de potência instantânea, imprescindíveis ao teste.

ENTRADAS DESEJÁVEIS

- Tensão de Alimentação regulada;
- Níveis de Torque entre 0-30N.m no eixo do pedivela.

SAÍDAS DESEJÁVEIS

- Torque resistivo instantâneo em níveis de tensão TTL ou saída digital serial.

ENTRADAS INDESEJÁVEIS

- Ruídos;
- Vibrações mecânicas;
- Oscilações na tensão de Alimentação;
- Torque superior a 30N.m.

SAÍDAS INDESEJÁVEIS

- Saída do sensor que não corresponda ao correto torque resistivo;
- Oscilações no sinal de saída.

5.1.3.1.2 Sensor de Rotação

Sensor de rotação necessário para, juntamente com o valor do torque resistivo, se obter os dados de potência instantânea, parâmetro integrante da avaliação do teste de WinGate.3

**ENTRADAS
DESEJÁVEIS**

- Tensão de Alimentação regulada;
- Níveis de Rotação entre 0-180rpm no eixo do pedivela.

**SAÍDAS
DESEJÁVEIS**

- Rotação instantânea em níveis de tensão TTL ou saída digital.

**ENTRADAS
INDESEJÁVEIS**

- Ruídos;
- Vibrações mecânicas;
- Oscilações na tensão de Alimentação;
- Rotações superiores a 180rpm.

**SAÍDAS
INDESEJÁVEIS**

- Saída do sensor que não corresponda à correta rotação instantânea;
- Oscilações no sinal de saída.

5.1.3.1.3 Placa de Aquisição de Dados

Sistema responsável pela aquisição dos dados dos sensores, assim como pela comunicação entre os sistemas de tratamento e controle e o de atuação.

**ENTRADAS
DESEJÁVEIS**

- Sinais corretos do sensores, em níveis de tensão ou sinais digitais;
- Sinais corretos de controle oriundos do Sistema de Tratamento e Controle;
- Tensão regulada de alimentação.

**SAÍDAS
DESEJÁVEIS**

- Enviar corretamente os sinais dos sensores, tratados previamente para, o Sistema de Tratamento e Controle através de interface serial;
- Enviar sinais corretos de controle ao atuador.

**ENTRADAS
INDESEJÁVEIS**

- Ruídos;
- Vibrações mecânicas;
- Oscilações na tensão de Alimentação;
- Sinais recebidos de forma incorreta.

**SAÍDAS
INDESEJÁVEIS**

- Tratamento dos dados dos sensores de forma errônea, com seu posterior envio ao Sistema de Tratamento e Controle;
- Envio de sinais incorretos ao atuador.

5.1.3.2. Sistema de Atuação

Sistema responsável pela conversão de sinais elétricos em agentes mecânicos de forma a resistir ao movimento rotativo dos pedais.

ENTRADAS DESEJÁVEIS

- Sinais corretos de controle oriúndos do Sistema de Tratamento e Controle.

SAÍDAS DESEJÁVEIS

- Acionamento resultando em um torque resistivo controlado a partir dos comandos vindos do Sistema de Tratamento e Controle.

ENTRADAS INDESEJÁVEIS

- Sinais recebidos de forma incorreta.

SAÍDAS INDESEJÁVEIS

- Ação de torque resistivo incompatível ao sinal de controle recebido;
- Atraso no acionamento.

5.1.3.3. Sistema de Tratamento e Controle

Sistema responsável pela implementação da malha de controle da planta. É responsável também pelo tratamento dos dados coletados de forma a possibilitar uma análise gráfica segundo os critérios do teste do WinGate.

5.1.3.3.1 Microcomputador

Elemento no qual residem o software de Apresentação de Resultados e o software de Aquisição de Dados e Controle da planta. Os dados são adquiridos da Placa de Aquisição de Dados através de uma de suas portas de comunicação serial, através de protocolo RS232.

**ENTRADAS
DESEJÁVEIS**

- Receber dados oriundos da placa de Aquisição de Dados.

**SAÍDAS
DESEJÁVEIS**

- Disponibilizar os dados oriundos da placa de Aquisição de Dados para possível tratamento;
- Enviar sinais de comando para o atuador através da placa de aquisição de dados pela porta de comunicação serial.

**ENTRADAS
INDESEJÁVEIS**

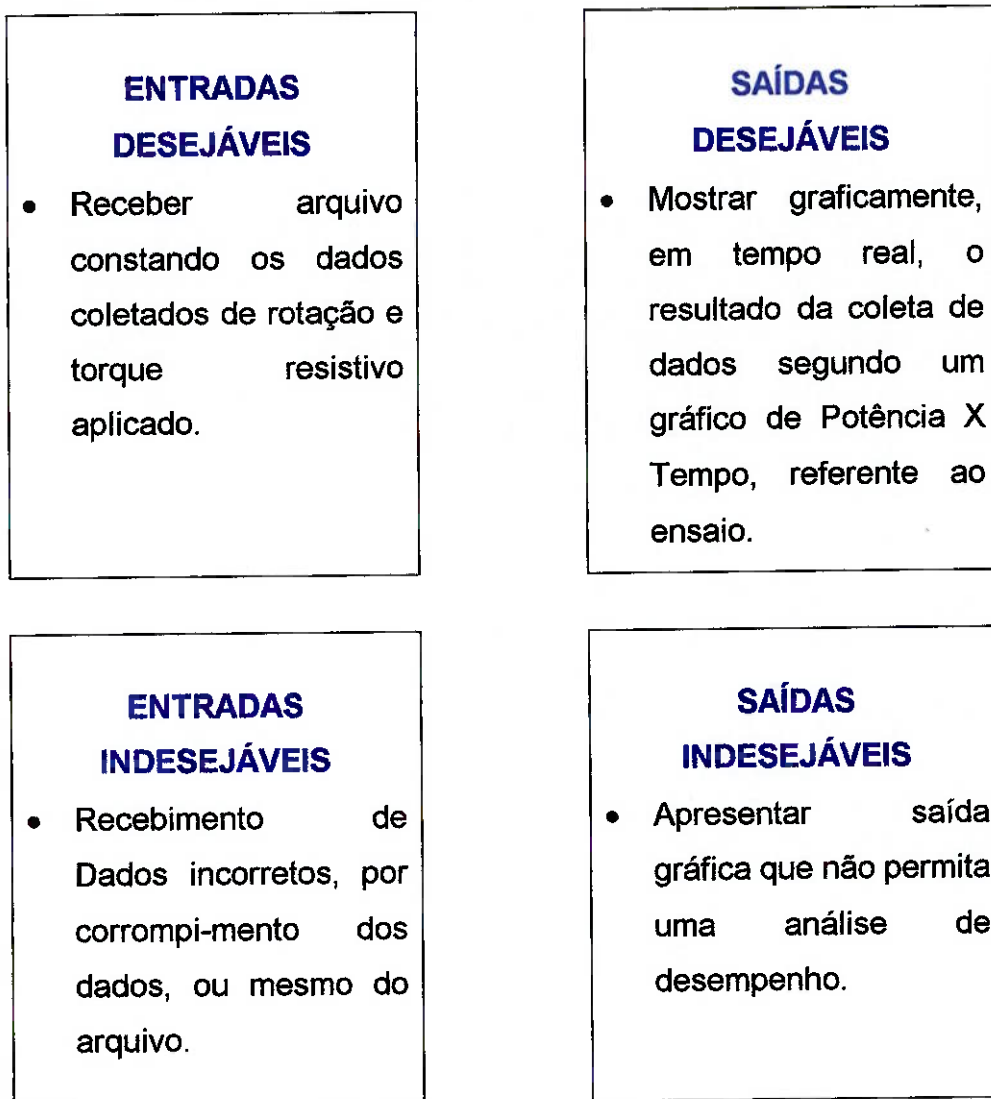
- Recebimento de Dados fora do protocolo de comunicação.

**SAÍDAS
INDESEJÁVEIS**

- Envio de sinais incorretos de comando ao atuador.

5.1.3.3.2 Software de Apresentação de Resultados (SAR)

Software responsável pela apresentação gráfica dos dados do ensaio, segundo um gráfico de Potência X Tempo. A partir deste gráfico é possível avaliar o indivíduo através dos parâmetros de análise do Teste do WinGate.



5.1.3.3.3 Software de Aquisição de Dados e Controle (SADC)

Observando-se que a malha de controle não está definida, e para que seu algoritmo de controle seja mais facilmente testado e avaliado, o software de controle será implementado no microcomputador. Este software indica quais valores os parâmetros de atuação devem assumir para cada estado do sistema, de forma a controlá-lo. O SADC é responsável pela aquisição de dados da placa de aquisição de dados para o computador e também

comunica-se com o mecanismo de atuação através da placa de aquisição de dados e sua interface serial com o computador, no qual este programa reside.

**ENTRADAS
DESEJÁVEIS**

- Dados que representem o estado atual do sistema de forma a realimentar a malha de controle.

**SAÍDAS
DESEJÁVEIS**

- Disponibilizar os dados coletados através de arquivo;
- Envio ao sistema de atuação o correto parâmetro de atuação de forma a controlar o sistema.

**ENTRADAS
INDESEJÁVEIS**

- Recebimento de Dados incorretos, por corrompimento dos dados, ou de protocolo.

**SAÍDAS
INDESEJÁVEIS**

- Dados incorretos de coleta ou controle.

5.2. Especificações técnicas

5.2.1. Especificações Funcionais

- Capacidade de adaptação a pessoas entre **1,50 e 2,20m**;
- Faixa de Torque Aplicado : **0-30 N.m**;
- Faixa de Rotação de Operação: **0-180rpm**;

5.2.2. Especificações Operacionais

- Durabilidade: Vida útil de 1 ano sem manutenção;
- Confiabilidade: os dados impostos e adquiridos suficientemente precisos para tratamento posterior;

5.2.3. Especificações Construtivas

- Resistência mecânica aos esforços de uma pessoa de **1200 N** com uma potência de trabalho de **1200 W**, empregando um coeficiente de segurança **3**.
- Limites dimensionais do mecanismo atuador: **0,50m X 0,50m X 0,50m**;
- Regulagem de altura do guidão de **750 m** a **1150 m**, tomando-se como referência a altura do eixo de giro do pedal;
- Regulagem angular do guidão de **-15°** a **+5°**, tomando-se como o eixo perpendicular ao chão e centro de giro na base do guidão (altura do eixo do pedal) e sentido anti-horário representando os valores positivos;
- Regulagem de altura do selim de **540 m** a **920 m**, tomando-se como referência a altura do eixo de giro do pedal;
- Regulagem angular do selim de **-15°** a **+15°**, tomando-se como o eixo perpendicular ao chão e centro de giro na base do selim (altura do eixo do pedal) e sentido anti-horário representando os valores positivos;
- Regulagem do raio do pedal de **0,15m** a **0,25m**;
- Facilidade de Conserto: utilizar peças intercambiáveis ao máximo, com padrões em polegadas;

- Estilo, adequando-se ao público alvo - freqüentadores de academias, atletas profissionais;
- Design

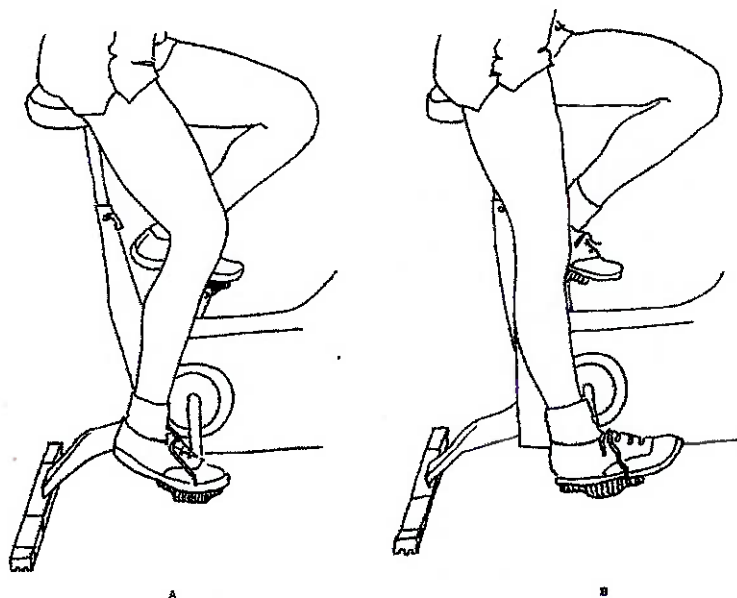


Figura 5 – Ajustagem do celim para o Wintest. A perna não pode estar dobrada quando chegar na parte inferior do curso do pé-de-vela (A). Ela deve estar alinhada nessa posição (B), requerendo o ajuste do celim.

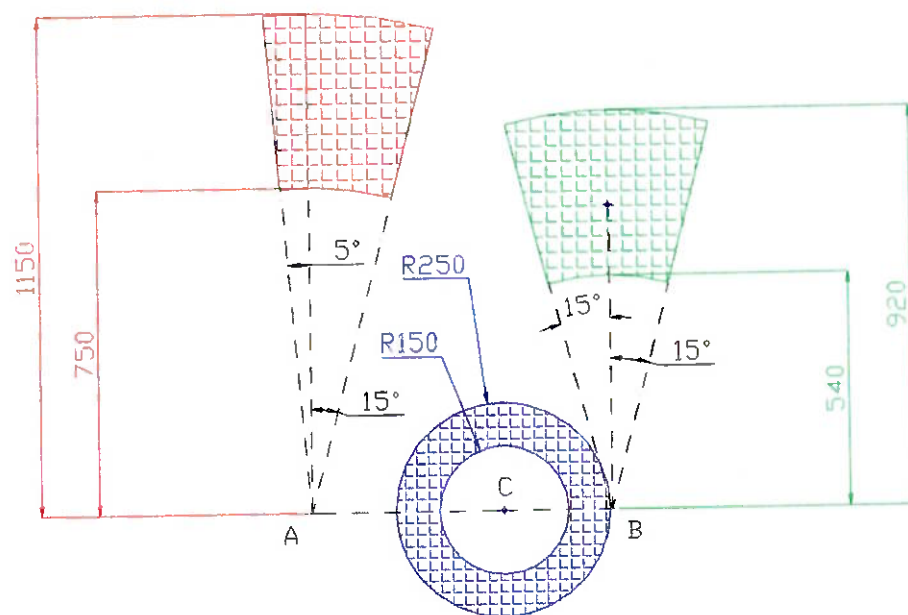


Figura 6 – Representação das regiões possíveis de montagem, combinando-se as variações lineares e angulares. Em azul a regulação do raio; em vermelho, as do guidão e em verde as do celim.

6. SÍNTESE DE SOLUÇÕES

Nesta parte serão descritas as possíveis soluções para a implementação do projeto. Primeiramente será feita uma avaliação de soluções interna a cada subsistema. E avaliar-se-ão as interações entre os sistemas, o que possibilitará a avaliação global de cada sistema e a escolha do melhor conjunto de soluções.

Cada subsistema apresenta seus sistemas internos, descritos a seguir.

6.1. Sistema Mecânico

O sistema mecânico envolve a estrutura da bicicleta, tendo como função a correta disposição dos subsistemas e suas interfaces. Além de dar sustentação e rigidez ao conjunto.

Seu projeto é totalmente dependente do posicionamento dos demais subsistemas, desta forma, sendo necessária uma análise e seleção de todos os sistemas para uma correta definição deste. O desenvolvimento deste sistema é baseado nos diagramas de esforços dos conjuntos atuantes, buscando a durabilidade especificada.

6.2. Sistema Ergométrico

O sistema ergométrico envolve todos os sistemas a serem desenvolvidos para garantir uma correta postura, isto é, ergonomia, do atleta no desenvolvimento do exercício. Este sistema é rígido para cada atleta, posicionado no início do exercício as regulagens dos sistemas devem manter-se até o fim do teste. Contudo devem permitir ajustes, pois a ergonomia correta não é dependente apenas da altura das pessoas, mas de características mais particulares como os comprimentos de braços e pernas, que diferem em pessoas de mesma estatura.

O sistema ergométrico será dividido em 2 subsistemas independentes:

- 1- Sistema de posicionamento do guidão – posicionamento linear e angular;
- 2- Sistema de posicionamento do selim – posicionamento linear e angular;
- 3- Sistema de regulação radial do pedal.

6.2.1. Sistema de posicionamento do guidão

Deseja-se obter um posicionamento do guidão em uma região definida de um plano. Definiu-se que o posicionamento seria desenvolvido em 2 direções, uma linear e outra angular.

6.2.1.1. Sistema de posicionamento linear

Este sistema de posicionamento corresponde à regulação radial do guidão. As formas pela qual pode-se fazer o posicionamento linear é a discreta e a contínua.

Para a discreta, basta colocar tubos que podem ter as formas quadrada ou circular, montados de forma que um lado possa ser inserido dentro do outro com folga de 1mm e que sejam feitos furos passantes, que atravessem as duas paredes opostas de cada tubo (se este for quadrado) ou que atravesse o círculo em seu diâmetro. Por esse furo, monta-se um parafuso norma M10 de rosca fina, contraposto com uma porca, na outra extremidade. Esses furos são feitos em distâncias de 15 mm um do outro ao longo de certo comprimento em cada barra. O parafuso está sob esforços de cisalhamento puro.

Ao contrário da discreta, na montagem contínua, ao invés de abrir-se furos ao longo da barra, são abertos canais nos lados opostos (tubo quadrado) ou no diâmetro (tubo circular), onde se pode colocar comprimentos qualquer

para a conformação. O aperto da porca por um manete foça a parede de um tubo conta o outro, prendendo-os por atrito. O parafuso pode ser o mesmo, mesmo que, nessas condições, esteja sujeito à forças de tração.

Por outro lado, pode-se, ainda, recorrer a atuadores controlados por computador que fazem esse ajuste, como motores de passo lineares.

Abaixo, temos as possibilidades de se montar o ajuste linear. Como a forma de ajuste linear independe do resto do ergômetro, pode-se decidir a melhor forma aqui.

Tubo Quadrado					
	Precisão na movimentação	Esforços no parafuso	Preço	Praticidade	Estética
Discreta Circular	7	6	8	7	7
Contínua Circular	10	4	7	6	7
Discreta Quadr.	7	7	8	7	7
Contínua Quadr.	10	5	7	6	7
Atuadores	9	7	5	8	8

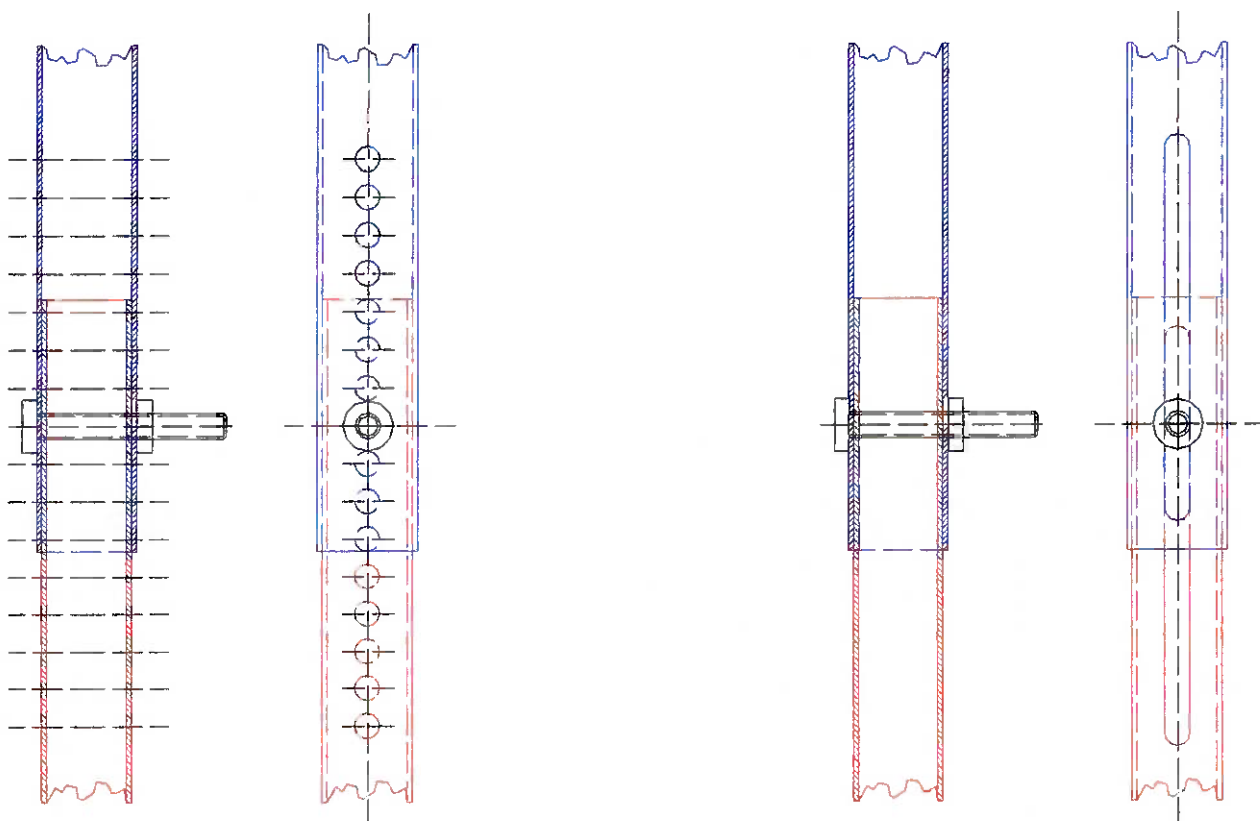


Figura 6 – Desenho das montagens tubulares que permitem variações de comprimento no celim, guidão e pedal. Na conformação da esquerda, a discreta e a da direita, a contínua.

6.2.1.2. Sistema de posicionamento angular

Este sistema de posicionamento corresponde à regulação angular, o que completa o movimento plano do guidão.

6.2.2. Sistema de posicionamento do selim

O posicionamento do selim, assemelha-se ao do guidão o qual deve permitir regulação em qualquer ponto de uma região definida de um plano. Como no caso do guidão o posicionamento será desenvolvido em 2 direções, uma linear e outra angular.

6.2.2.1. Sistema de posicionamento linear

Posicionamento correspondente à regulação linear do selim. O esquema pode ser visualizado emno anexo. As alternativas deste sistema já foram

descritas para o posicionamento do guidão, sendo considerada desnecessária descrever novamente os sistemas.

6.2.2.2. Sistema de posicionamento angular

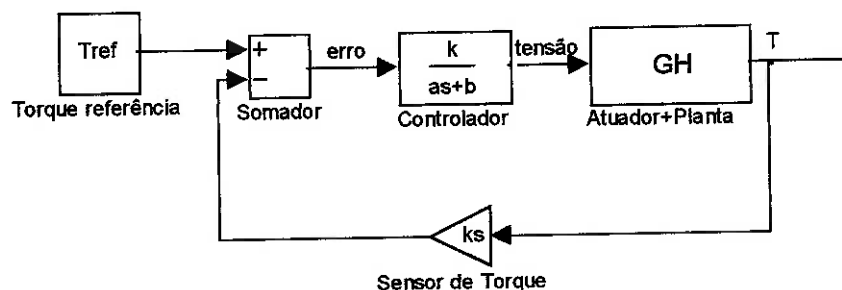
Posicionamento correspondente à regulação radial do selim. O esquema pode ser visualizado no anexo. Identicamente ao sistema de posicionamento linear as alternativas possíveis já foram descritas e não serão repetidas.

6.2.3. Sistema de regulação radial do pedal

A regulação radial do pedal apresenta soluções como as de posicionamento linear do selim e guidão. Desta forma pode-se visualizar seu esquema no Anexo, e as alternativas já foram descritas no sistema de regulação linear do guidão, não sendo, portanto, rerepresentadas.

6.3. Sistema de Controle

O sistema de controle corresponde aos sistemas desenvolvidos para impor uma força resistiva controlada ao movimento dos pedais. Os componentes deste sistema são descritos segundo o diagrama de blocos a seguir:



Como descrito anteriormente, o modelo descreve-se nos seguintes subsistemas:

- ✓ Sistema de Aquisição de Dados
 - Sensor de Torque;
 - Sensor de Rotação;
 - Placa de Aquisição de Dados;

- ✓ Sistema de Atuação;

- ✓ Sistema de Tratamento e Controle
 - Microcomputador;
 - Software de Apresentação de Resultados;
 - Software de Aquisição de Dados e Controle.

Cada subsistema será avaliado segundo seus requisitos e serão avaliadas as melhores soluções individuais, não desprezando-se as interfaces entre os subsistemas.

Observando o conjunto de sistemas a ser avaliado e suas interdependências, estabeleceu-se uma determinada ordem de estudo para os subsistemas. A ordem adotada é descrita na sequência de subsistemas. É válido notar que alguns sistemas foram avaliados em conjunto, apesar de tratados em sequência.

6.3.1. Sistema de Atuação

É o sistema que atua na planta, controlando-a. Após uma avaliação cuidadosa de todos os subsistemas, conclui-se que se tratava do sistema crítico, além de principal. Pois a seleção e estabelecimento das características da maioria dos outros sistemas de controle dependem das propriedades deste.

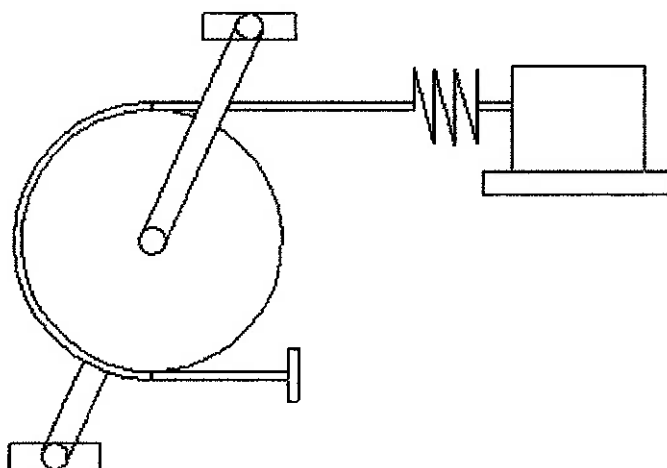
Este sistema é responsável por imprimir ao eixo dos pedais uma torque resistivo contrário ao movimento rotativo dos mesmos. Imaginava-se que esta tarefa seria de todo fácil, contudo ao analisar corretamente o problema,

verificou-se o erro desta previsão. Aplicar um torque resistivo e controlado não seria nada fácil.

As soluções visualizadas para este problema foram inúmeras, nos limitaremos a citar e optar pelas, consideradas, três melhores soluções.

➤ Freio de Cinta por Atrito

Esta solução busca implementar um controle aos tradicionais (correspondendo às bicicletas ergométricas comuns) freios de cinta. O conversor eletro-mecânico necessário selecionado foi um motor de passo linear devido aos altos custos de implementação de motor de passo rotativos (mais comuns) e fusos. A transformação de deslocamento em força resistiva seria feita por uma mola de coeficiente de elasticidade conhecido. Desta forma, o esquema desta solução pode ser visualizado a seguir:

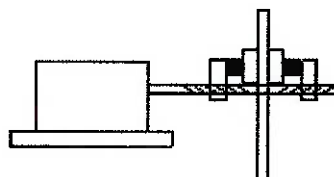


- Vantagens:
 - Pequeno número de componentes;
 - Facilidade de Adaptação às bicicletas atuais;
 - Controle do Motor de Passo bastante conhecido e difundido;
 - Baixo Custo;
 - Valor de Torque fácil de se obter indiretamente.

- Desvantagens:
 - Não linearidade do atrito devido às variações de temperatura;
 - Dificuldade de obtenção de molas confiáveis;
 - Dificuldade de seleção do material da cinta, variando seu atrito com a deposição de materiais;
 - Necessidade de calibração por desgaste.

➤ Freio de Sapata por Atrito

O emprego de freio de sapata é conhecido nos carros de passeio, normalmente chamado de freio a disco. O seu princípio de funcionamento assemelha-se ao do freio de cinta, contudo seu acionamento é feito através de motor de passo rotativo e parafuso e rosca sem fim. O seu esquema pode ser visualizado a seguir:



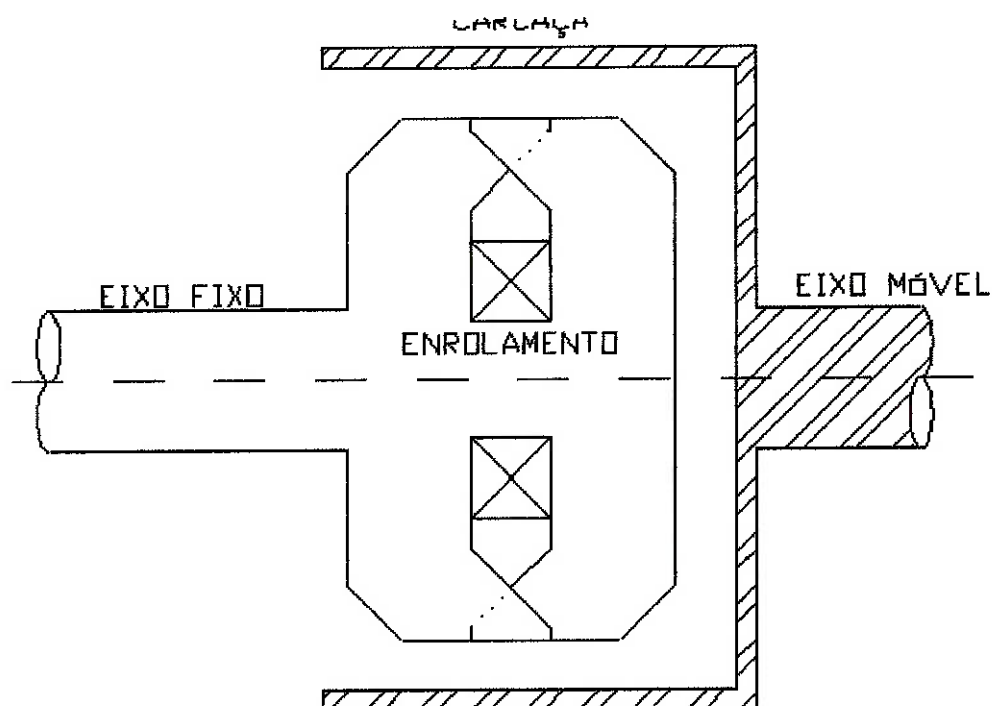
- Vantagens:
 - Controle do Motor de Passo bastante conhecido e difundido;
 - Motor de Passo rotativo com custo inferior ao linear;
 - Possibilidade de adaptação de componentes já existentes;
 - Valor de Torque fácil de se obter indiretamente..
- Desvantagens:
 - Não linearidade do atrito devido às variações de temperatura;
 - Dificuldade de obtenção de molas confiáveis;
 - Variação do coeficiente de atrito com a deposição de materiais;

- Necessidade de calibração por desgaste.

➤ Freio Eletromagnético

Esta solução pode ser tratada como a primeira a ser pensada, isto é, instalar um motor trabalhando ao contrário. Contudo, uma pesquisa inicial de mercado sobre existência de freios eletromagnéticos adequados, tanto aos níveis de rotação como de preço, fez desta opção uma das menos viáveis. No decorrer do ano e das pesquisas de componentes de subsistemas e opções, esta solução voltou a ser competitiva, tanto para projetá-la (o projeto de um freio eletromagnético fora anteriormente desenvolvido como Projeto de Formatura na unidade de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), como para comprá-la de um fornecedor – Stromag – anteriormente desconhecido.

O princípio de funcionamento do freio é a indução de uma força eletromagnética através da passagem de corrente através de um enrolamento fixo, o qual induz a presença de correntes parasitas na carcaça, resultando em forças resistivas ao movimento desta. Esta solução é normalmente utilizada como carga mecânica variável para o ensaio de motores. O seu esquema pode ser visualizado a seguir:



- Vantagens:
 - Atuação em corrente, semelhante ao motor de passo;
 - Custo compatível ao motor de passo linear;
 - Adaptação do sensor de torque facilitado;
 - Sem ruído;
 - Sem contato físico, isto é, sem desgaste mecânico.
- Desvantagens:
 - Função de Transferência da planta não-linear e multi-variável;
 - Adaptação de freios eletromagnéticos possível existentes apenas com implementação de aceleração, isto é, atuação em um volante a altas velocidades de rotação.

6.3.2. Sistema de Aquisição de Dados

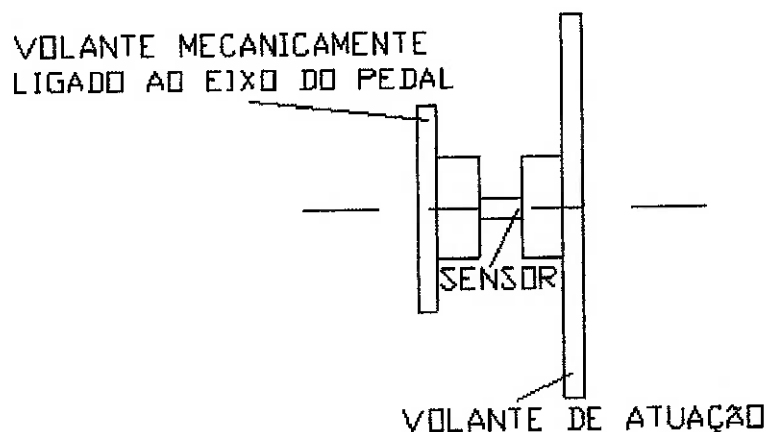
6.3.2.1. Sensor de Torque

A variável a ser sensoreada é o torque resistivo aplicado ao eixo do pedal. No princípio, imaginava-se estar tratando com um parâmetro trivial, facilmente medido e observado. Contudo, os modelos de sensor existentes, demonstraram que esta grandeza não seria obtida dentro dos níveis de custo desejados. Seria necessário introduzir um sensor entre o acoplamento do eixo do pedal e o volante de atuação (imaginando que este seria necessário), como ao medir a curva de torque dos motores elétricos convencionais.

As outras formas observadas de se medir o torque, dependem, basicamente, do mecanismo de atuação utilizado. Desta forma, cada solução será tratada com seu respectiva mecanismo de atuação.

➤ Sensor de Torque Rotativo

Sensor acoplado mecanicamente entre a o volante de atuação do torque resistivo e o eixo do pedal. Normalmente utilizado nos ensaios para se obter a curva de motores. Seu esquema pode ser visualizado a seguir:



- Vantagens
 - Confiabilidade ;
 - Facilidade de manutenção.
- Desvantagens
 - Alto custo;
 - Dificuldade de Adaptação ao modelo mecânico;
 - Disponibilidade.

➤ Medida Indireta – Freio de Cinta e Freio de Sapata

Neste método é possível medir indiretamente o valor do torque resistivo aplicado através do deslocamento do motor de passo.

Em ambos os casos, Cinta e Sapata, o motor de passo comprime uma mola à qual transmite o movimento de deslocamento efetuado pelo motor como uma força para o componente de contato. Através dos valores de coeficiente de

atrito e modelos de atrito em área é possível estimar a força de atrito resultante, sabendo desta forma, com o auxílio do raio de atuação, o valor do torque resistivo.

Basicamente:

$$N=K.x$$

$$F_a=\mu.N$$

$$T=F_a.R$$

Onde:

K = coeficiente de elasticidade da mola;

x = deslocamento imposto pelo motor de passo;

μ = coeficiente de atrito equivalente;

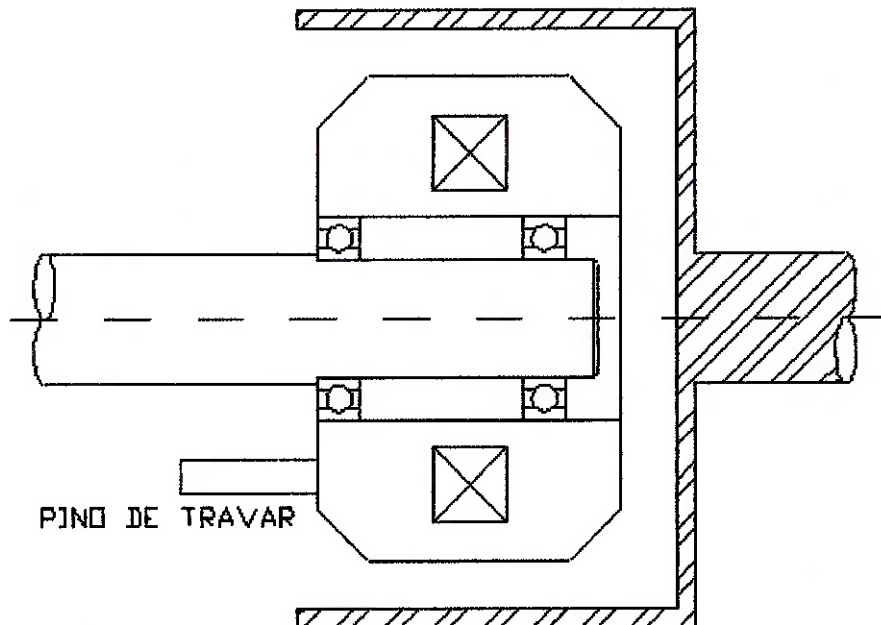
R = raio equivalente de acionamento;

T = **torque resistivo** (grandeza a ser medida)

- Vantagens
 - Instalado o Atuador correto, a medida do torque é indireta;
 - Nenhum componente ou custo adicional.

 - Desvantagens
 - Necessidade de Calibração;
 - Valores instáveis de coeficiente de atrito, coeficiente de elasticidade e , no caso do freio a cinta, raio;
 - Confiabilidade Inferior às medições diretas.
- Sensor de Força – Freio Eletromagnético

Esta solução utiliza-se do torque reativo da carcaça no eixo do enrolamento para medir o torque resistivo imposto. Faz-se com que o enrolamento fique apoiado sobre mancais e trava-se em um ou mais pontos de fixação. A fixação destes pontos são feitas com o auxílio de placas acopladas a *strain gages*, onde mede-se a força reativa, a qual é equivalente à resistiva.



- Vantagens
 - Medição “direta” de torque, já que o raio é fixo;
 - Fácil implementação mecânica;
 - Componentes à disposição no mercado – sendo alguns calibrados e sem variação à temperatura;
 - Medição em níveis de tensão, facilmente tratáveis por microprocessador através de conversão analógica-digital, após amplificação.
- Desvantagens
 - Custo adicional;
 - Componentes adicionais.

➤ Sensor de Rotação

Sensor responsável pela aquisição dos dados de rotação instantânea, necessários para se avaliar o indivíduo através do teste do WinGate.

Este tipo de sensor apresenta uma enorme variedade de tipos e cada tipo uma infinidade de modelos. Desta forma, a seleção deste componente, assim como da maioria dos componentes eletro-eletrônicos, foi feita levando-se em conta a disponibilidade. Um estudo mais detalhado de cada componente visando-se um menor custo de produção será efetuado posteriormente. Pois, a diferença de preço destes componentes só é significativa em economia de escala.

Desta forma, o componente barato, disponível e suficiente escolhido foi:

- Sensor de Presença Ótico, fixo à estrutura da bicicleta, sendo que a cada detecção de presença ele envia um pulso, pulso este conectado à interrupção do microprocessador. É necessária a colocação de uma roda dentada a algum eixo, sendo sua precisão diretamente ligada ao número de dentes. (É importante observar que a presença de redução já é prevista devido as diminutas dimensões entre os pedais, desta forma, a roda dentada faz-se necessária).

➤ Placa de Aquisição de Dados

Esta placa de aquisição de dados responde pela interface entre os sensores, o microcomputador, e os atuadores. Desta forma, sua configuração final é extremamente dependente da seleção dos demais componentes. Observando-se que a variação em custo das possíveis configurações não varia muito, prefere-se definir as possibilidades de cada componente após uma definição dos dispositivos de sensoriamento e atuação.

De qualquer maneira, é possível vislumbrar que os principais componentes desta placa resumem-se a :

- Microcontrolador;
- CI de interface serial RS232;
- Conversores A/D para sensoriamento;
- Conversores D/A para atuação;
- CI de atuação.

6.3.3. Sistema de Tratamento e Controle

Sistema responsável pela validação do exercício através das análises dos dados obtidos e através do correto controle do mecanismo.

➤ Software de Aquisição de Dados e Controle

Os parâmetros a serem avaliados na seleção de um software são:

- Front End com o usuário;
- Facilidade de Implementação;
- Disponibilidade;
- Confiabilidade.

Desta forma, optou-se por utilizar a ferramenta de programação *MICROSOFT VISUAL BASIC 5.0*. Devido à sua facilidade de comunicação com a serial, e seu ágil interfaceamento com os demais produtos da família Microsoft, além

da interface amigável com a poderosa ferramenta de tratamento matemático e controle *MatLab*.

➤ Software de Apresentação de Resultados

Além de todos os pontos levantados no item anterior, o VB, como comunmente é chamado, faz-se valer pela sua formatação gráfica. Seus componentes visuais também seduziram na escolha deste *software* como ferramenta de programação.

➤ Microcomputador

A escolha do microcomputador é irrelevante, ao se lembrar que ele será apenas utilizado no protótipo para facilitar a definição do algoritmo de controle. Desta forma, ele será selecionado pela disponibilidade. Tendo como requisito mínimo, a plataforma de trabalho : Windows 95 ou superior. É importante salientar que os parâmetros de memória e velocidade afetam a apresentação *Real-Time* do programa de Apresentação de Resultados, sendo necessário assim, o uso do bom senso ao se adotar o computador. Os computadores disponíveis para implementação são:

- Pentium 166MHz / 48Mb RAM;
- Pentium II 233MHz / 64Mb RAM.

Definidas algumas soluções e outras possibilidades de implementação para cada subsistema verifica-se que as combinações de Atuador e Sensor de Torque são as mais importantes, as quais devem ser julgadas em busca da melhor solução.

Solução A: FREIO DE CINTA COM MEDIDA INDIRETA DE TORQUE

Solução B: FREIO DE CINTA COM SENSOR ROTATIVO DE TORQUE

Solução C: FREIO DE SAPATA COM MEDIDA INDIRETA DE TORQUE

Solução D: FREIO DE SAPATA COM SENSOR ROTATIVO DE TORQUE

Solução E: FREIO ELETROMAGNÉTICO COM SENSOR DE FORÇA ACOPLADO

Solução F: FREIO ELETROMAGNÉTICO COM SENSOR ROTATIVO DE TORQUE

Segue-se a Matriz de Decisão

Atributo	Peso	A		B		C		D		E		F	
Facilidade de Implementação	0,10	6	0,6	5	0,5	5	0,5	4	0,4	7	0,7	6	0,6
Disponibilidade	0,15	6	0,9	4	0,6	7	1,05	5	0,75	6	0,9	4	0,6
Custo de Fabricação	0,15	6	0,9	5	0,75	7	1,05	6	0,9	5	0,75	4	0,6
Confiabilidade	0,20	6	1,2	8	1,6	6	1,2	8	1,6	8	1,6	8	1,6
Durabilidade	0,10	7	0,7	7	0,7	7	0,7	7	0,7	7	0,7	7	0,7
Performance	0,20	5	1,0	7	1,4	5	1,0	7	1,4	8	1,6	8	1,6
Utilização de Componentes Padrão	0,10	7	0,7	7	0,7	7	0,7	7	0,7	7	0,7	7	0,7
soma	1,0		4,56		6,25		6,2		6,45		6,95		6,4

A melhor solução segundo os parâmetros selecionados para o sistema de controle é a solução E:

FREIO ELETROMAGNÉTICO COM SENSOR DE FORÇA ACOPLADO

7. EXEQUIBILIDADE FÍSICA

7.1. Parte Mecânica

A análise da exeqüibilidade da parte mecânica feita mostra que as partes são passíveis de construção individual e a colocação das mesmas em conjunto também são, desde que feita uma estrutura que comporte as dimensões requisitadas e os alinhamentos necessários.

Para a confecção das peças são utilizados sistemas tradicionais de usinagem e o freio eletromagnético é modelo comercial e nos foi disponibilizado pela empresa STROMAG, fabricante do mesmo, para uso no protótipo.

7.2. Sistemas de Controle

A exeqüibilidade dos sistemas eletrônicos envolvidos é verificada pois foram utilizados componentes de larga escala comercial, assim sendo, comprovadamente exeqüíveis.

A interface entre os sistemas apresentaria apenas problemas quanto à interferência física e eletromagnética, contudo houve uma preocupação no correta seleção e posicionamento dos sistemas para que estes problemas não viessem a acontecer.

O emprego apenas dos modos tradicionais de produção e montagem ratificam a exeqüibilidade da montagem.

8. Valor Econômico

Abaixo, será tratado o custo de desenvolvimento do protótipo e sua expectativa de produção em escala, a 50 unidades/ano. Os valores encontrados para a produção em escala correspondem às expectativas.

Item	PRODUÇÃO	
	UNITÁRIA	ESCALA 50unid/ano
Sistema Mecânico		
Rolamentos	R\$ 54,00	R\$ 50,00
Estrutura	R\$ 11,20	R\$ 11,20
Montagem Estrutura	R\$ 360,00	R\$ 160,00
Conjunto Transmissão	R\$ 250,00	R\$ 100,00
Guidão	R\$ 20,00	R\$ 15,00
Celim	R\$ 20,00	R\$ 15,00
Motores Acionamento	R\$ 400,00	R\$ 300,00
Montagem Cicloergômetro	R\$ 600,00	R\$ 300,00
Sistema Controle		
Freio Eletromagnético	R\$ 500,00	R\$ 300,00
Sensor de Força	R\$ 100,00	R\$ 70,00
Sensor de Rotação	R\$ 3,00	R\$ 2,00
Controlador de Corrente	R\$ 12,00	R\$ 8,00
Microprocessador	R\$ 16,00	R\$ 10,00
Conversor D/A	R\$ 8,00	R\$ 5,00
Chip Comunicação Serial	R\$ 2,00	R\$ 1,00
Regulador de Tensão	R\$ 2,00	R\$ 1,00
Amplificador Operacional	R\$ 0,50	R\$ 0,30
Fonte de Tensão	R\$ 30,00	R\$ 25,00
Componentes Discretos	R\$ 8,00	R\$ 5,00
Confecção da placa	R\$ 200,00	R\$ 10,00
Mão de Obra	R\$ 40,00	R\$ 15,00
Leiaute da Placa	R\$ 150,00	R\$ 0
Total	R\$ 2.786,70	R\$ 1.403,50

9. Projeto do Sistema Mecânico

9.1. Escolha da Relação de Transmissão

Para escolha da relação de transmissão entre o pedivela e o volante, é necessária a análise da rotação que o atleta desempenha e a rotação onde o freio eletromagnético tem sua faixa de trabalho que possibilite a linearização da função de transferência do controlador. Dessa forma, estimou-se por a velocidade angular que desempenha o atleta em 120 rpm como rotação máxima. A relação de transmissão deve ser tal que respeite o seguintes requisitos:

- Curva de torque mínimo que o freio desempenha. Os freios eletromagnéticos possuem uma rotação abaixo da qual não oferecem qualquer resistência ao movimento. Essa rotação é baixa e está especificada nas curvas dos freios;
- Curva de torque máximo que o freio desempenha. As curvas dos freios explicitam a característica do motor de responder com um torque máximo para cada rotação. O torque máximo que o atleta executar deve ser respondido com uma atuação eficaz do freio;
- Rotação mínima, a partir da qual o freio se comporta de forma linear, oferecendo um torque resistente como função apenas da corrente nominal que passa pela sua bobina;
- Rotação máxima em que o freio eletromagnético atua. Cada freio atua em uma faixa de rotação desde algumas rpm até uma rotação máxima. A rotação máxima deve ser maior do que a rotação de trabalho;
- Dificuldade de o atleta partir, acelerando o conjunto. O conjunto de redução deve possuir um momento de inércia que seja possível de ser acelerado;
- Aquecimento do freio. A rotação de trabalho deve estar fora da faixa onde ocorre o aquecimento do freio.

Foram levantadas as curvas do sistema, partindo de uma rotação máxima de 120 rpm no eixo do pedivela, multiplicado por uma relação de transmissão i_{prim} (relação de transmissão primária), obtem-se a rotação do volante. Essas

curvas devem ser comparadas com as curvas de atuação do freio eletromagnético.

Este, por sua vez, passa a dar respostas em um patamar plano a partir de 2000 rpm e, para esta rotação, dá um torque de 2,0 Nm. Como as curvas de torque são curvas ascendentes, escolheu-se a rotação de 2000 rpm pois a essa rotação confere-se o torque resistente para o raio de 25 cm e um atleta de peso 120 Kgf, que é a situação crítica. O torque necessário é de 1,75 Nm, estando inferior com uma margem do torque que o freio desempenha na mesma rotação.

Por outro lado, na condição onde é necessário o menor torque, que corresponde a uma pessoa de 80 kg e um raio de 0,15m, é necessário um torque de 0,5 Nm do freio, superior aos 0,15 Nm mínimos que o mesmo oferece.

Dessa forma, a rotação de 2000 rpm parece ser uma boa escolha por ser a menor rotação onde se consegue que o freio atue de forma linear, sem que se tenham inércias girando a altas rotações. Vamos tomar ao longo deste texto i_{pe} como a relação de transmissão entre o eixo do pedivela e o eixo do freio eletromagnético.

Para escolher a relação de transmissão entre o eixo do pedivela e o eixo do freio eletromagnético, foram levantadas todas as possibilidades para que se chegasse a uma configuração onde se otimizasse os seguintes requisitos:

- Posição no gráfico do torque em função da rotação que o freio eletromagnético pode oferecer. Essa região deve satisfazer as seguintes condições, por sua vez:
 - Alocação em uma região o mais linear possível para facilitar o controle do torque;
 - Verificar se nessa região o freio consegue suprir a condição de 10% do peso do atleta (que foi especificado como de 1200 N, em seu máximo);

- Avaliar se o atleta tem condições de partir o sistema, considerando as inércias do volante (rotor do freio) e da transmissão acrescida, verificando por meio do Teorema do Momento Angular.

O gráfico 1 é um gráfico da resposta em torque em função da rotação do freio eletromagnético fornecido pelo fabricante.

O gráfico 2 é um gráfico da Relação entre o torque necessário para cada rotação em função de relações de transmissão testadas foi obtido partindo-se do peso máximo do atleta de 120 N e o raio máximo de 25 cm, uma rotação máxima do atleta de 180 rpm. Com esses dados, calculou-se a rotação do volante (ipe multiplicado pela rotação máxima do atleta, de 180 rpm) e o torque necessário no freio, em função das relações de transmissão entre 2 e 49.

Do primeiro gráfico obtem-se as curvas de torque do motor em função da rotação para diferentes correntes passam a ficar mais planas após certa rotação, que facilita o controle. Do segundo gráfico e da tabela que o originou verifica-se se a relação de transmissão correspondente àquela rotação, o torque necessário para satisfazer o torque resistente e se a força que o atleta precisa fazer no pedal é possível de ser satisfeita. Com essas condições retorna-se ao primeiro gráfico e verifica-se se o freio eletromagnético consegue fornecer o torque resistente e se não está em uma área que fornece correntes excessivas.

Seguida essa metodologia, obteve-se uma rotação de 2500 para o qual as curvas ficam bem planas, equivalendo a uma relação de transmissão de 14 (rotação máxima no volante de 2520 rpm partindo da máxima de 180 rpm no pedal do pedivela), precisando de um torque de 2,1 Kgf.cm para satisfazer os 10% do peso de uma pessoa de 120 Kgf aplicados a um raio de pedivela de 25 cm.

Por fim, esse torque é passível de ser oferecido pelo freio a uma corrente de aproximadamente 95% da corrente nominal do freio, o que não é um esforço que possa aquece-lo, especialmente adicionando que as condições mais

severas ocorrem em um prazo máximo de 30 s. Segundo o revendedor, este tempo não é suficiente para aquecer o freio eletromagnético até os 100o Celsius, que é seu limite de temperatura de operação, superior a qual o freio pode falhar por queima do enrolamento.

Deste modo, a relação de transmissão escolhida é a de 14.

9.2. Escolha da melhor forma de transmissão de potência

Para escolher forma de transmitir a potência do eixo do pedivela para o eixo do freio eletromagnético, devem ser satisfeitos os seguintes requisitos:

- Adequação às medidas;
- Atendimento às especificações de potência a ser transmitida;
- Manutenção da sincronização, para que a transmissão não "patine" enquanto o usuário desenvolve o teste;
- Preço baixo, pois pode assumir um grande peso no preço de custo do produto;
- Facilidade na manutenção, levando em conta que o usuário pode deixar de atender às especificações de manutenção.

A etapa de geração de soluções forneceu as seguintes:

- Engrenagens;
- Correias em V;
- Correias Sincronizadoras;
- Correntes.

Para qualquer dessas opções, temos os seguintes valores:

Raio do Pedivela (cm)	25
Força no Pedal (Kgf)	120
Torque no eixo do pedivela (kgf.cm)	3000
Relação de Transmissão	14

O valor do torque foi obtido em uma situação crítica que os componentes devem estar projetados para suportar, que é se o atleta colocar todo o peso próprio sobre um pedal quando este estiver alinhado na horizontal, situação na qual a força está aplicada totalmente na componente radial, produzindo o maior momento a ser transmitido.

9.2.1. Solução de Transmissão por Engrenagens

Como a máxima relação de transmissão por par de engrenagens é 6, deve-se fazer a transmissão usando dois pares de engrenagens, onde a relação por par é de 3.742, para dois pares idênticos. Optando por construir dois pares idênticos, consegue-se um menor número de componentes para reposição do equipamento e uma redução no custo da máquina pela economia de escala.

Para satisfazer os requisitos dados para a transmissão da potência, optou-se por utilizar as coroas de nylon comercial "66", presas no eixo por um disco de 3/16 polegadas, este soldado ao eixo, que integra o pinhão de metal em uma única peça. Para medida de economia o segundo pinhão pode ser soldado no eixo que leva o movimento ao freio, evitando-se a utilização de chavetas, economizando em mão-de-obra, tempo de usinagem do rasgo da chaveta no eixo e no cubo do pinhão, e do material da chaveta. Os três eixos (pedivela, intermediário e do freio) são apoiados em mancais de rolamentos e estes presos em duas chapas de 3/8 polegada. Essas chapas podem ser furadas e centradas em um grande conjunto de 20 chapas, economizando em tempo de máquina.

Como a transmissão de potência dar-se-á por meio do contato de um pinhão de aço 1045 com uma coroa de nylon, será dispensado o cálculo de pipocamento pois não há avarias na coroa de nylon e consequentemente no aço do pinhão.

Para o engrenamento de dentes retos, dado a relação de transmissão para cada par de 3,74 e o número de dentes mínimo dos pinhões de 20, as coroas devem ter 75 dentes ($n^\circ \text{ dentes} \times \text{relação de transmissão}$). Como o número de dentes deve ser um número do tipo inteiro, a relação de transmissão total fica alterada de 14 para o quadrado de $(75/20)$, que resulta em 14,0625.

A verificação à flexão é feita segundo a relação para obter a tensão atuante nos dentes:

$$\sigma = \frac{F_t \cdot q \cdot \phi}{b \cdot m_f},$$

onde:

F_t	Força tangencial atuante no dente (kgf)
q	Fator de forma, em função do n° dentes (-)
φ	Fator de Serviço (-)
b	Largura da engrenagem (entre 8 a 10 vezes o módulo) (cm)
m_f	Módulo (mm)

O fator de serviço foi obtido da Apostila de Engrenagens do prof. Boris Zampese:

n	10	11	12	14	15	16	17	18	21	24	28	34	40	50	65	80	100
q	52	49	43	41	39	37	35	35	33	32	31	30	29	28	27	26	25

Para a coroa e para o pinhão os fatores de forma (q) utilizados são, respectivamente, 26 e 32.

Da planília 3 (Dimensionamento da transmissão por engrenagens), obteve-se para a verificação da flexão dos dentes das engrenagens um módulo de 2mm e largura de 1,8 cm, resultando em uma força tangencial para o primeiro par de 75 kgf e respectivamente as tensões no pinhão e coroa de 600,00 kgf/cm² (máximo de 1200 kgf/cm²) e 487,50 kgf/cm² (máximo de 500 kgf/cm²).

Os diâmetros ficam definidos, deste modo, como de 4,0 cm para o pinhão e de 15,0 cm para a coroa e os resultados estão destacados na tabela por uma linha amarela.

A solução tornou-se inviável por produzir uma redução muito compacta, onde o entre-eixos total para a condição necessária é o dobro do entre cada par,

que é de 95 mm (da planília 3) que resulta em 190 mm. Como o atleta pode estar pedalando com um raio de 250 mm, o eixo do freio eletromagnético vai estar dentro do círculo da trajetória do pedal e com uma largura total (largura de 110 mm mais 25 mm do pinhão) mínima de 135 mm, montagem na qual o pedal “bate” no eixo do freio. Para contornar o problema, seria necessário um entre-eixos mínimo total de 250 mm, o que faz com que as engrenagens tornem-se demasiadamente grandes, sendo a configuração cara e que introduz grandes inércias ao sistema. A solução é possível, mas certamente não é a melhor para a aplicação.

Para a visualização do conjunto, vide desenho 1 em anexo.

9.2.2. Solução de Transmissão por Correias

Para esta opção, as vantagens em termo de custos pode ser um diferencial se puder ser dimensionada uma única correia com toda a redução de 14. Com isso, obtem-se um ganho em custos por não haver mais o eixo intermediário, economizando-se um eixo, mancais e as polias dessa transmissão intermediária.

Para evitar o deslizamento sobre a polia menor, será utilizada uma correia sincronizada com a polia menor dentada e será verificada a possibilidade do uso de polia maior plana, para a redução de custos, eliminando os custos de usinar os dentes sincronizadores nas polias.

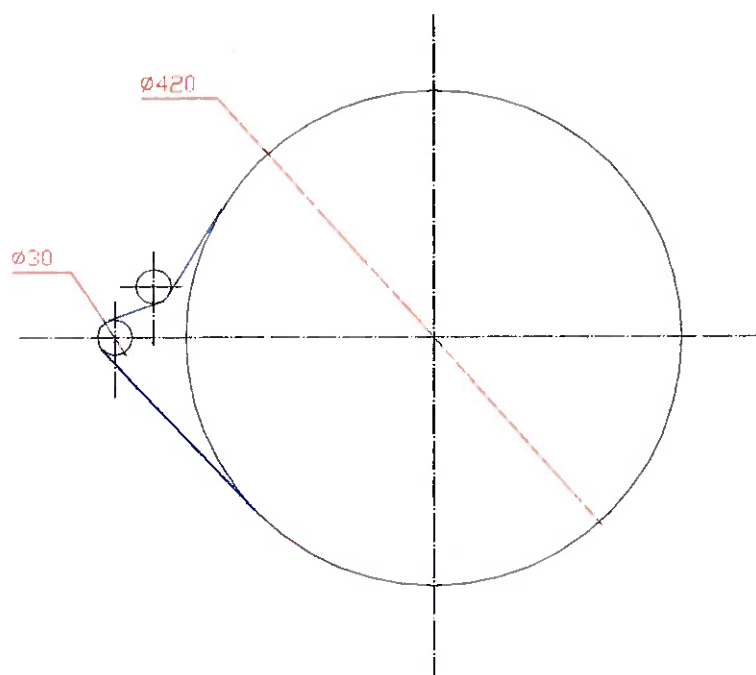


Figura 13.1. Esquema da montagem para uma única correia

De acordo com a montagem acima, considerando um diâmetro de 30 mm para a polia menor e a relação de transmissão de 14, a polia maior teria um diâmetro de 420 mm, que é uma relação muito grande e que necessita de uma polia muito grande conectada a uma muito pequena para dar a relação. Para não haver escorregamento é necessário colocar um esticador e um novo eixo, inviabilizando a construção devido as dificuldades na manutenção da montagem.

Para uma montagem com dupla redução, o esquema segue na figura 13.2, e utiliza-se a planília 4 para seu cálculo, onde se conhece a tração admissível do material da correia sincronizadora de 300 kgf/cm^2 fornecido pelo fabricante Gates Correias e Polias sincronizadoras. Com essa tensão e a área de algumas correias disponíveis, chega-se à força que a correia suporta.

Por outro lado, a pior condição que ocorre para que a correia suporte é quando o atleta coloca todo o peso próprio quando o pedivela estiver na posição horizontal, o que corresponde à situação onde os 120 kgf estão aplicados perpendicularmente ao raio máximo de 25 cm do pedivela, gerando um torque de 3000 Kgf.cm.

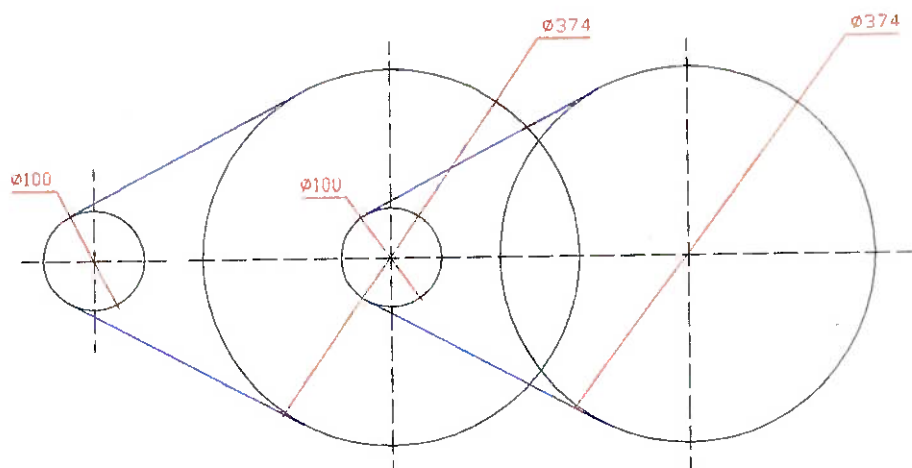


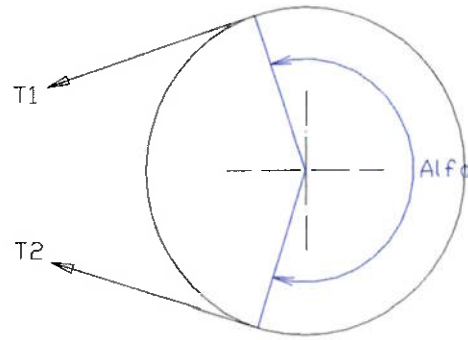
Figura 13.2. Esquema da montagem para duas correias

O cálculo das forças na correia é feito pelas relações:

$$\frac{T_1}{T_2} \leq e^{\mu \cdot \alpha}$$

$$T_1 - T_2 \cdot \frac{d}{2} = T = F_t \cdot R_p$$

onde:



$$T1-T2=(120 \times 25 \times 2)/(18.5)=324 \text{ kgf}$$

Para uma correia de passo de 8 mm, largura de 20 mm e espessura 3 mm, a seção é de $0,06 \text{ cm}^2$ e a força resistente de 210 kgf, temos que a correia resiste a força com um coeficiente de segurança de 0,95. Para aumentar a resistência da correia, deveria utilizar-se uma mais larga ou com módulo maior, mas entendemos que tais dimensões já estão grandes e talvez a solução por correntes seja mais eficiente.

9.2.3. Solução de Transmissão por Correntes

A transmissão por correntes leva a desvantagem com relação à transmissão por correias e por engrenagens acima por precisar de lubrificação. Para minimizar o problema, pode-se utilizar graxa de rolamentos blindados com Seleção das correntes. A corrente de menor passo encontrada comercialmente é a de norma ASA no. 25 com força de ruptura de 480 kgf.

Para evitarmos um diâmetro muito elevado como ocorreu com a transmissão por correias, utilizamos dupla redução.

Seleção das engrenagens. A menor engrenagem disponível tem diâmetro $d_1=50\text{mm}$ com número de dentes $z=25$, pois

$$\pi \cdot d_p = p \cdot z$$

A engrenagem vinculada ao eixo do pedivela terá o número de dentes que é a multiplicação da relação de transmissão (3.75) pelo número de dentes da engrenagem menor (25), que resulta em 92 dentes e um diâmetro primitivo $D_1=18,596\text{ cm}$.

A força na corrente da primeira redução é calculada usando:

$$F_p \cdot R_p = T = F_c \cdot \frac{D_1}{2} \Rightarrow F_c = \frac{2 \cdot 120 \cdot 25}{18,596} \Rightarrow F_c = 323 \text{ kgf}$$

Esse cálculo mostra que é possível sua utilização mesmo em caso extremo da pessoa de 120 kgf de peso colocar toda sua força em um pedal quando este estiver na horizontal.

Para determinar a distância entre eixos de cada transmissão por correntes:

$$A_{\min} = \frac{D_1 + d_2}{2} + 50 = \frac{50 + 186}{2} + 50 \Rightarrow A_{\min} = 16,8 \text{ cm}$$

Como não temos restrição, aumentaremos esta distância para 30,0 cm, aumentando, assim, a vida da corrente pois o número de solicitações por unidade de tempo diminui.

Sabe-se que deve-se impor um número de eles par na corrente para evitar por um elo *off-set*.

Para se calcular o número de elos, utiliza-se a relação da bibliografia de Dobrovolsky, onde A é a distância entre centros, y é o número de elos e z_1 e z_2 são os números de dentes do pinhão e da coroa, respectivamente e t é o passo.

$$A = \frac{t}{4} \left[y - \left(\frac{z_1 + z_2}{2} \right) + \sqrt{\left(y - \frac{z_1 + z_2}{2} \right)^2 - 8 \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2} \right]$$

Substituindo os valores na relação acima, obtém-se o número de elos $y=174$ elos. O comprimento das correntes é obtido multiplicando-se o número de elos pelo passo, o que resulta em uma corrente de 109,9m.

Com esse resultado e ainda para baixar os custos, serão adquiridos dois pares iguais de engrenagens e o dobro do número de elos da corrente. Resultando uma relação de transmissão individual de 3,68 e total de 13,5424.

9.2.4. Solução Mista

Outra solução ainda possível é a solução mista com a primeira redução por engrenagens e a segunda por correias. A solução é melhor do que a de dois pares de engrenagens porque aumenta-se a distância entre eixos que era o impasse para esta solução. Em contrapartida, há uma perda com relação aos custos, uma vez que se aumenta o número de peças utilizado na máquina, não obtendo, assim, nem as vantagens de um sistema, nem as do outro.

9.2.5. Fechamento da Solução

Dessa forma, a melhor forma de transmissão de potência foi a puramente por correntes. Isso deve-se ao fato de ter dado um ajuste dentro da caixa de transmissão muito adequado, atendendo aos requisitos de resistência em uma boa conformação, mantém a sincronização e tem um custo baixo, pecando somente no que diz respeito ao requisito do não uso de lubrificantes, mas decidimos por utilizá-la de forma que pareceu a melhor forma de transmissão da potência.

9.3. Dimensionamento dos Eixos

Para o cálculo dos eixos, dividiu-se cada um dos três eixos em um cálculo diferente. Assim, foi suposta a possibilidade de os 120 kgf de peso máximo do atleta serem distribuídos em 60 kgf de cada lado.

9.3.1. Eixo de Entrada

O eixo de entrada tem como componentes os pedais, os pedivelas, dois mancais, chamados de A e B e uma polia centrada e de diâmetro 18,5 cm, segundo o esquema da figura abaixo:

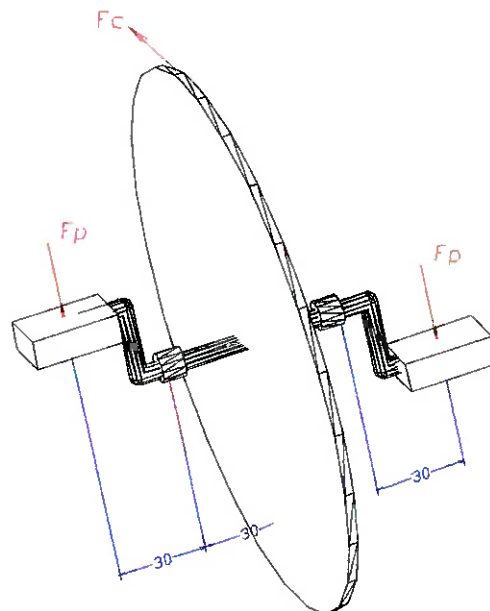


Figura 10.3.1. Montagem sobre o eixo de entrada

As distâncias a , b e c são estimadas em função dos elementos componentes da transmissão e mancais de apoio e estimadas com $a = 3,0$ cm, $b = 3,0$ cm e $c = 3,0$ cm. Estas distâncias serão confirmadas no decorrer do projeto.

Para segurança a força na corrente $F_c = 323$ kgf será considerada atuante na horizontal.

Dividindo as forças nos planos horizontal e vertical, chegamos ao seguinte diagrama:

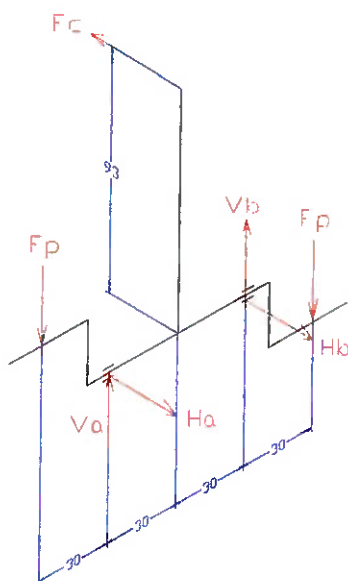


Figura 10.3.2. Forças atuantes no eixo de entrada

As forças esquematizadas na figura 10.3.2 produzem os diagramas de momento abaixo:

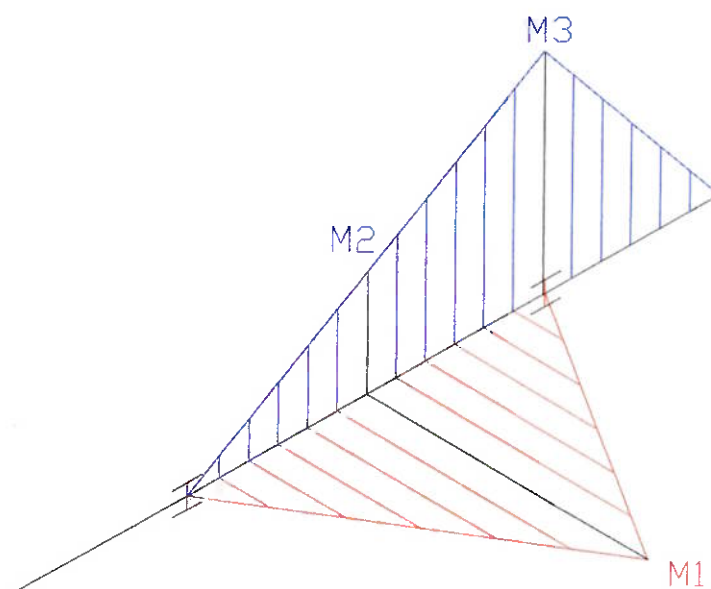


Figura 10.3.3 Diagramas de Momento Fletor atuantes no eixo de entrada

Pelas equações de equilíbrio estático:

$$\Sigma F_H = 0, \quad H_A = H_B = 323 / 2 = 161,5 \text{ Kgf}$$

$$\Sigma F_V = 0, \quad V_B \cdot 6 = 120 \cdot a,$$

$$V_B = 60 \text{ Kgf} \quad \text{e} \quad V_A = 180 \text{ Kgf}$$

Dessa forma,

$$M_1 = 161,5 \cdot 3 = 484,5 \text{ kgf.cm}$$

$$M_2 = 60,0 \cdot 3 = 180 \text{ kgf.cm}$$

$$M_3 = 120,0 \cdot 3 = 360 \text{ kgf.cm}$$

Dimensionando o eixo nas seções críticas, obtemos:

Seção da engrenagem de corrente:

$$M_t = 120 \text{ Kgf} \cdot 25 \text{ cm} = 3000 \text{ kgf.cm}$$

$$M = \sqrt{M_v^2 + M_H^2} = \sqrt{(484,5)^2 + (180)^2} = 516,86 \text{ kgf}$$

O momento ideal é $M = \sqrt{M^2 + (\alpha M_t)^2}$ com $\alpha = 1 / 3.8$

$$M_i = \sqrt{516,86^2 + \left(\frac{3000}{3,8}\right)^2} = 943,6 \text{ kgf.cm}$$

Para o aço 1045 estirado, $\sigma_{rup} = 5800 \text{ kgf/cm}^2$

$$\sigma_{III} = \frac{\sigma_{rup}}{3.3,8} = \frac{6100}{3.3,8} = 535 \text{ kgf/cm}^2$$

O diâmetro do eixo para resistir deve ser, então:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_i}{0,1 \cdot \sigma_{III}}} = \sqrt[3]{\frac{943,6}{0,1 \cdot 535}} = 2,60 \text{ cm}$$

Para a seção do eixo inde será fixada a engrenagem, deve haver um rasgo de chaveta. Da norma DIN6885 para chavetas paralelas, para eixos com diâmetro entre 22 mm e 30 mm, a largura da chaveta $b = 8$ mm, a altura $h = 7$ mm, sendo 3,0 mm no cubo e 4,1mm no eixo.

Dessa forma, o diâmetro do eixo deve ser de 30mm, sendo o coeficiente de segurança diminuído de 3,0 para 2,8 para se ter um diâmetro normalizado.

Para a seção do mancal B, $M = 360 \text{ kgf.cm}$ e $M_t = 3000 \text{ kgf.cm}$

$$M_i = \sqrt{360^2 + \left(\frac{3000}{3,8}\right)^2} = 867,7 \text{ kgf.cm}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_i}{0,1 \cdot \sigma_{III}}} = \sqrt[3]{\frac{867,7}{0,1 \cdot 535}} = 2,51 \text{ cm}$$

Assim, o esboço do eixo de entrada fica:

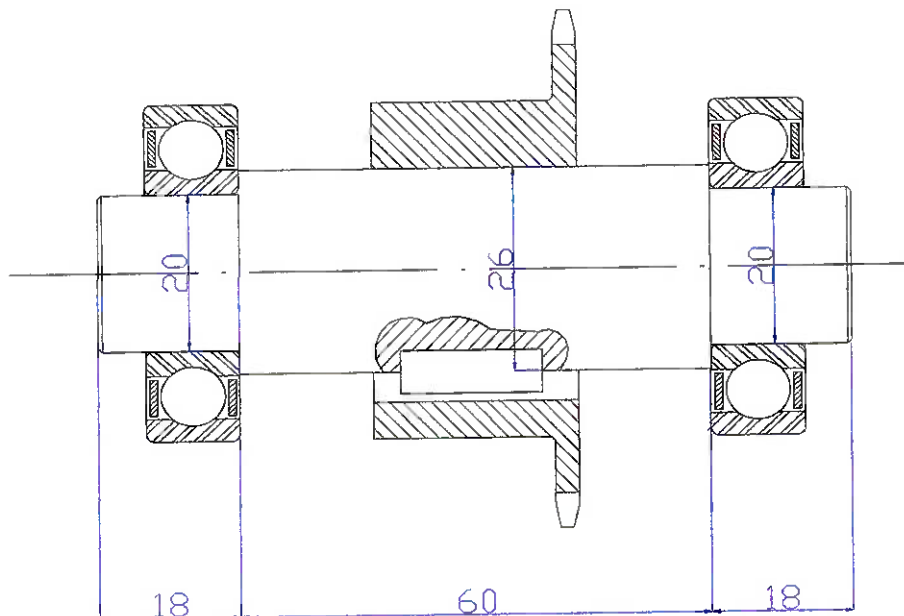


Figura 10.3.4. Esboço do eixo de Entrada

Os arredondamentos feitos durante o cálculo garantem que as distâncias estão próximas das distâncias arbitrariamente tomadas para a, b e c.

9.3.2. Eixo Intermediário

Para o eixo intermediário, temos a seguinte configuração esquemática:

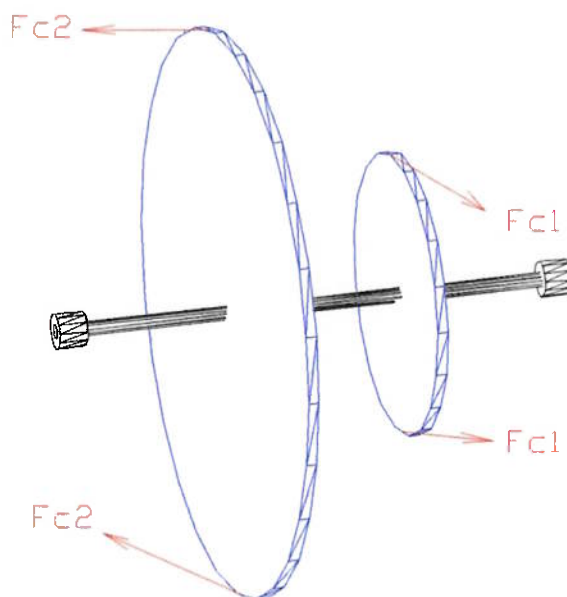


Figura 10.3.2.1. Esquema da montagem sobre o eixo intermediário

Dessa forma, a simplificação a favor da segurança tomada foi a de considerar as forças F_{c1} e F_{c2} , provenientes do engrenamento das correntes como sendo paralelas e no sentido do engrenamento. Esquematicamente, as forças e distâncias que atuam são:

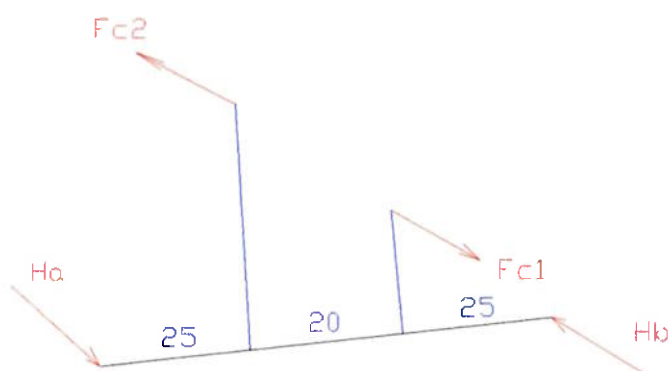


Figura 10.3.2.2 Forças Atuantes no eixo intermediário

Pelas equações de equilíbrio estático:

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow 87,7 \cdot 2,5 - 323 \cdot 4,5 + H_B \cdot 7,0 = 0 \Rightarrow H_B = 176,3 \text{ Kgf}$$

e $H_A = 59 \text{ Kgf}$

$$\Sigma F_H = 0, F_{C2} \cdot (D_2/2) = 816 \text{ kgf.cm}$$

onde:

$$D_2 = (92 \cdot 6,35) / \pi \Rightarrow D_2 = 186 \text{ mm}$$

$$F_{C2} = (816 \cdot 2) / 18,6 \Rightarrow F_{C2} = 87,7 \text{ Kgf}$$

Dessa forma,

$$M_4 = 59 \text{ Kgf} \cdot 2,5 \text{ cm} = 147,5 \text{ kgf.cm}$$

$$M_5 = 176,3 \text{ Kgf} \cdot 2,5 \text{ cm} = 440,7 \text{ kgf.cm}$$

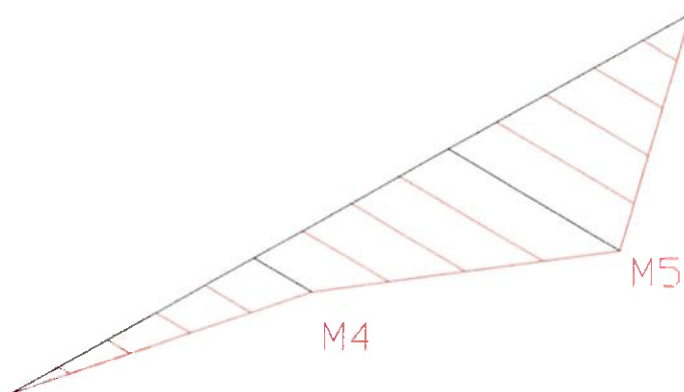


Figura 10.3.2.3 Diagrama de momentos fletores atuantes no eixo intermediário

Dimensionando o eixo na seção crítica, obtemos:

Seção da engrenagem de corrente:

$$M_t = 323 \text{ Kgf} \cdot (5,053/2) \text{ cm} = 816 \text{ kgf.cm}$$

O momento ideal é $M = \sqrt{M_s^2 + (\alpha M_t)^2}$ com $\alpha = 1 / 3,8$

$$M_i = \sqrt{440,75^2 + \left(\frac{816}{3,8}\right)^2} = 490,3 \text{ Kgf.cm}$$

Para o mesmo aço 1045 estirado, $\sigma_{rup} = 5800 \text{ kgf/cm}^2$

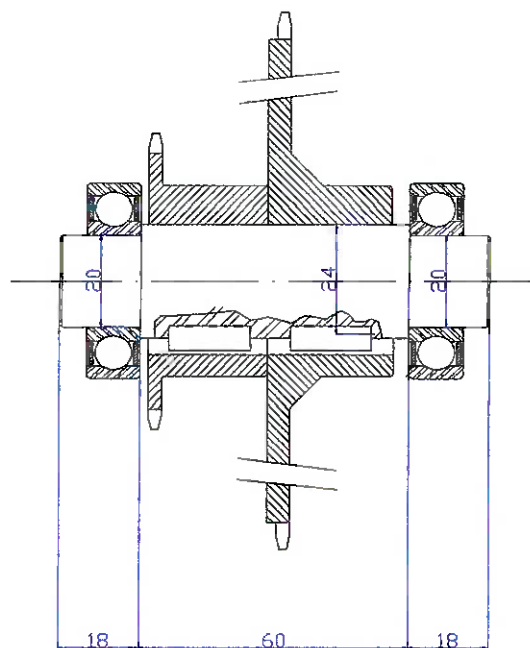
O diâmetro do eixo para resistir deve ser, então:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_i}{0,1 \cdot \sigma_{III}}} = \sqrt[3]{\frac{490,3}{0,1 \cdot 535}} = 2,09 \text{ cm}$$

Para a seção do eixo onde será fixada a engrenagem, deve haver um rasgo de chaveta. Da norma DIN6885 para chavetas paralelas, para eixos com diâmetro entre 22 mm e 30 mm, a largura da chaveta $b = 8 \text{ mm}$, a altura $h = 7 \text{ mm}$, sendo 3,0 mm no cubo e 4,1 mm no eixo.

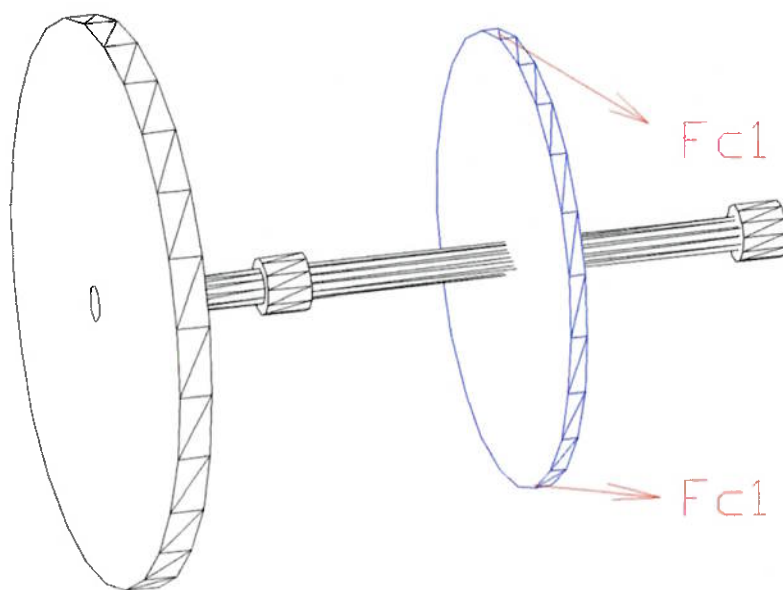
Dessa forma, o diâmetro do eixo deve ser de 30 mm, sendo o coeficiente de segurança diminuído de 3,0 para 2,8 para se ter um diâmetro normalizado.

Assim, o esboço do eixo de entrada fica:



9.3.3. Eixo de Saída

O eixo de saída deve prever a montagem da última engrenagem de correntes e o torque transmitido deve ser disponibilizado para o corpo do freio eletromagnético. Este eixo deve ter a particularidade de receber uma conexão com o freio e a conexão está demonstrada a seguir conforme a geometria particular do freio.



Dessa forma, as forças envolvidas estão segundo o esquema abaixo. Basicamente, há uma força de engrenamento F_{c1} e as reações dos mancais.

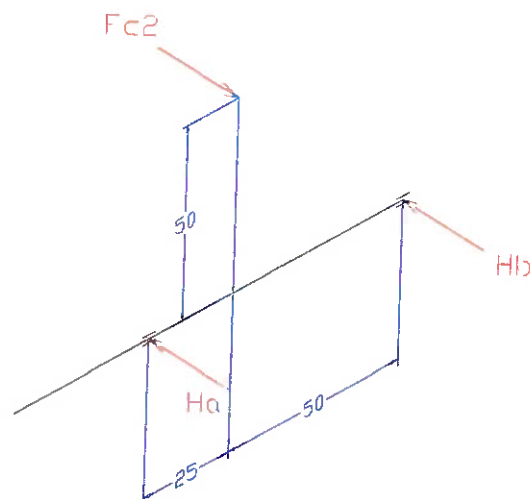


Figura 10.3.3.1. Diagrama com as forças atuantes no eixo de saída

Dessa forma, calculam-se as forças de forma análoga aos outros dois eixos:

Pelas equações de equilíbrio estático:

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow F_{c2} \cdot 2,5 = H_B \cdot 7,5 \Rightarrow H_B = 29,3 \text{ Kgf}$$

$$\text{e } H_A = 58,4 \text{ Kgf}$$

Dessa forma,

$$M_4 = 58,4 \text{ Kgf} \cdot 2,5 \text{ cm} = 146,0 \text{ kgf.cm}$$

e temos o diagrama de momentos fletores abaixo:

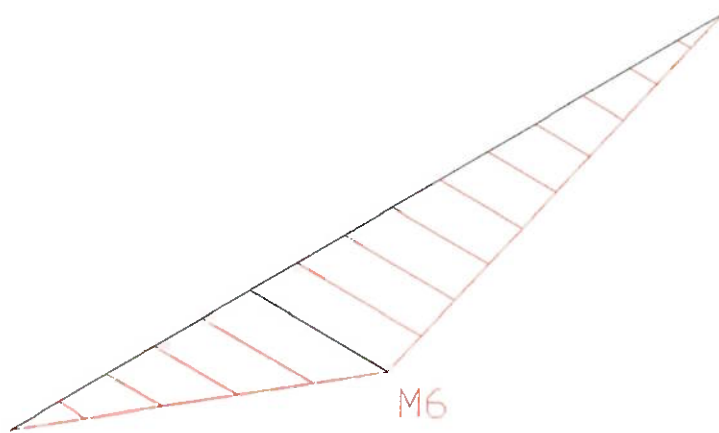


Figura 10.3.3.1. Diagrama dos Momentos Fletores atuantes no eixo de saída

O momento ideal é $M = \sqrt{M_s^2 + (\alpha M_t)^2}$ com $\alpha = 1 / 3.8$

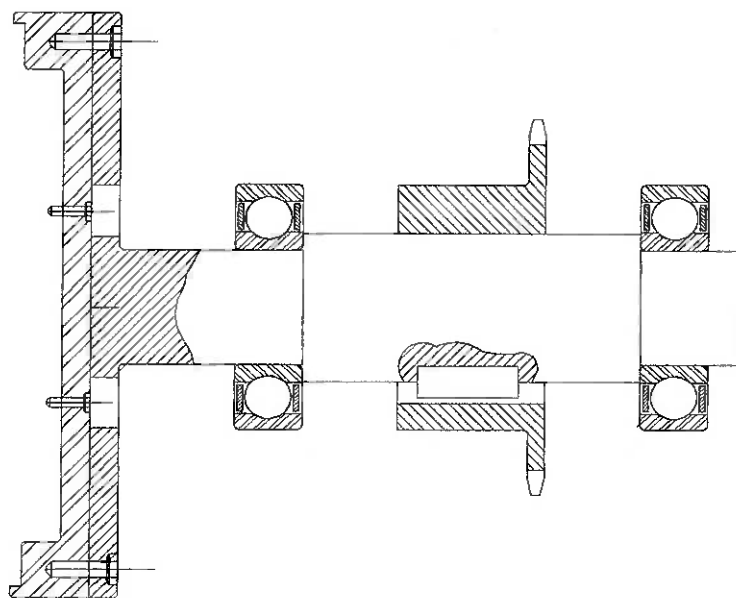
$$M_i = \sqrt{146^2 + \left(\frac{221,6}{3,8}\right)^2} = 157,2 \text{Kgf.cm}$$

Para o mesmo aço 1045 estirado, $\sigma_{rup} = 5800 \text{ kgf/cm}^2$

O diâmetro do eixo para resistir deve ser, então:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_i}{0,1 \cdot \sigma_{III}}} = \sqrt[3]{\frac{1490,3}{0,1 \cdot 535}} = 2,09 \text{ cm}$$

O esboço para o eixo é o seguinte:

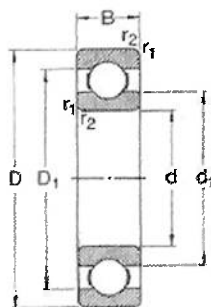


9.4. Verificação dos Rolamentos

A solução desenvolvida por correntes provoca apenas forças radiais que devem ser suportadas pelos rolamentos. Dessa forma, os rolamentos podem ser de esferas ou rolos. Como os rolamentos de rolos têm seu uso justificado em aplicações onde grandes pressões sobre ele estão colocadas e têm preço maior devido às particularidades de sua construção, usaremos para os três eixos rolamentos de esferas.

De acordo com o uso, a precisão do mancal não é fundamental, podendo ser utilizado um rolamento de menor custo entre todas as séries de precisão. A capacidade de carga deve ser em torno de 400 kgf, que é a força máxima estimada para o pior caso. Assim, estudaremos o rolamento 16004 para estudar a vida deste rolamento no uso para os três eixos. Trata-se de um rolamento usual da indústria mecânica e, devido ao seu alto grau de aplicação, possui baixo custo.

Rolamento	16004	6005
d	20 mm	25 mm
D	42 mm	47 mm
B	8 mm	12 mm
r	0.3 mm	0.6 mm
C_r	810 kgf	1030 kgf



Para os cálculos, admite-se que sempre seja aplicada a carga máxima, pois não será estimada a distribuição da carga ao longo do uso da bicicleta.

9.4.1. Eixo de Entrada

Só para este rolamento, usamos um rolamento um pouco maior, o 6005.

Para o rolamento A, $P = F_r = H_A = 161,5 \text{ Kgf}$ e $V_A = 60 \text{ kgf}$.

A rotação máxima para este eixo é de 180 rpm.

Como não há força axial,

$$P = F_R = \sqrt{H_A^2 + V_A^2} = 172,3 \text{ Kgf}$$

A relação $C/P = 1030 / 172,3 = 5,98$.

Da tabela $C/P = f(L_n, n)$, a vida dese rolamento é superior à 16000 horas.

Para o rolamento B,

$$P = F_R = \sqrt{H_B^2 + V_B^2} = 241,8 \text{ Kgf}.$$

Da relação $\left(\frac{C}{P}\right)^3 = L$, chegamos a $L = 77,26 \cdot 10^6$ solicitações.

Considerando uma rotação constante e máxima de 180 rpm, a vida do

rolamento será de: $L_h = \frac{77,26 \cdot 10^6}{180 \cdot 60} = 7160 \text{ horas}$

9.4.2. Eixo Intermediário

Verificaremos o rolamento 16004:

Para o rolamento A,

$$F_{rA} = H_A = 59 \text{ Kgf}$$

$$F_{rB} = H_B = 176,3 \text{ Kgf}$$

Novamente, $F_a/F_r = 0 < e$.

Dessa forma, $C/P = 810/59 = 13,72$.

A rotação do eixo foi estimada em: $n = 180 \cdot \frac{92}{25} = 663 \text{rpm}$.

Da tabela $C/P=f(F_h,n)$, obtemos a vida do rolamento de 50000 horas.

No rolamento B,

$$F_{rB} = H_B = 176,3 \text{ Kgf},$$

e como há proporcionalidade entre as forças, podemos concluir que C/P
 $)_B = (59 / 176,3) \cdot 13,72 = 4,59$

A vida do rolamento é, então, de 2500 horas de acordo com a tabela $C/P=f(F_h,n)$.

Poderíamos fazer uma substituição, caso haja avaria prematura desse rolamento, por um 6004 com o mesmo eixo e com uma vida de 5000 horas, mas não será necessária pois substituição as condições estão sendo consideradas as mais severas. Levando em conta que o teste, em si, leva 1 minuto, seriam necessários 150000 testes para que o rolamento fosse trocado, desprezando a fase de teste, em que as cargas são suficientemente menores para ser desconsideradas. Assim sendo, o rolamento permanece.

9.4.3. Eixo de Saída

Novamente utilizamos o 16004:

Para o rolamento A,

$$F_a / F_r = 0 < e \quad \text{pois } F_a = 0$$

Logo, $P = F_r = H_A = 58,4 \text{ Kgf.}$

$$\text{A rotação máxima é } n_{\max} = 180 \cdot \left(\frac{92}{25} \right)^2 = 2400 \text{ rpm}$$

Esta rotação está abaixo da permitida de acordo com a NSK, que é de 18000 rpm.

$$\text{A relação } C/P = 810 / 58,4 = 13,86.$$

Com a relação C/P e a rotação $n=2400 \text{ rpm}$, obtem-se a da tabela $C/P=f(lh,n)$ a vida L_h aproximadamente de 16000 horas.

Para o rolamento B,

$$F_a / F_r = 0$$

$$P = F_r = H_B = 29.3 \text{ Kgf.}$$

De maneira análoga, a vida do rolamento B é superior à do A, que já é de 16000 horas.

10. Projeto do Sistema de Controle

O projeto do sistema de controle baseou-se na utilização do microcomputador como processador da malha de controle, o que implica na restrição ao projeto de controle à implementação de uma placa de aquisição de dados conjugada ao controlador do atuador. Desta forma, resta-nos selecionar e integrar estes sistemas de forma a possibilitar a implementação do controle.

10.1. Descrição do Freio Eletromagnético e Modelo

O freio eletromagnético é um dispositivo que, como o próprio nome sugere, serve para frear um movimento rotativo. O freio utiliza o fenômeno eletromagnético de correntes parasitas, usualmente conhecidas como *Eddy Current*, para induzir uma força contrária ao movimento. O dispositivo eletromagnético apresenta uma carcaça móvel que gira em torno de um indutor (enrolamento) fixo, sendo que ao se induzir uma corrente no enrolamento, o mesmo produz uma força eletromagnética contrária ao movimento da carcaça.

A relação entre corrente aplicada, rotação da carcaça e torque resistivo induzido é dado pela seguinte função de transferência teórica:

$$I = M \cdot T^{0,35} / n^{0,325}$$

Onde

I é a corrente induzida nos enrolamentos;

M é uma constante, depende das características geométricas do freio;

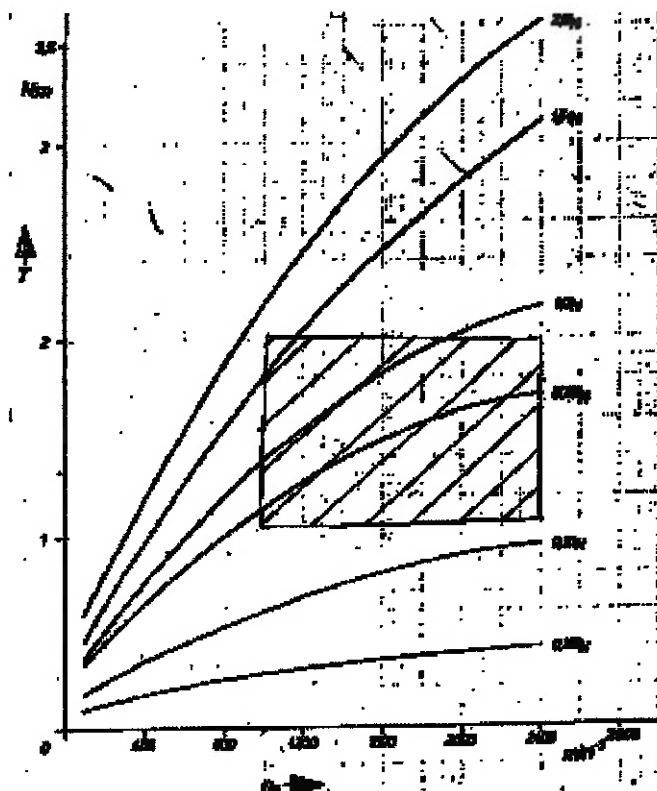
T é o torque resistivo induzido na carcaça;

n é a rotação relativa entre a carcaça e o enrolamento.

Como pôde-se observar, para que seja introduzido um Torque controlado, é necessário o controle da corrente e monitoramento da rotação.

O projeto completo e customizado do freio eletromagnético não foi viabilizado como parte integrante do projeto de formatura devido à sua complexidade, contudo. A existência de um fabricante no mercado cujo produto se adequava às nossas características possibilitou o desenvolvimento do trabalho sem o projeto específico do componente freio.

Desta forma, selecionou-se o freio eletromagnético : **STROMAG SO-8C**, cuja curva de comportamento segundo corrente aplicada, torque resistivo e rotação segue abaixo.



Esta mesma figura pode ser melhor visualizada no anexo.

O quadrado selecionado na figura representa a área desejada de operação, segundo os valores pré-definidos na especificação técnica. Para que o sistema se comporte dentro desta faixa, serão adotadas as reduções mecânicas necessárias.

10.2. Atuador: Controlador de Corrente

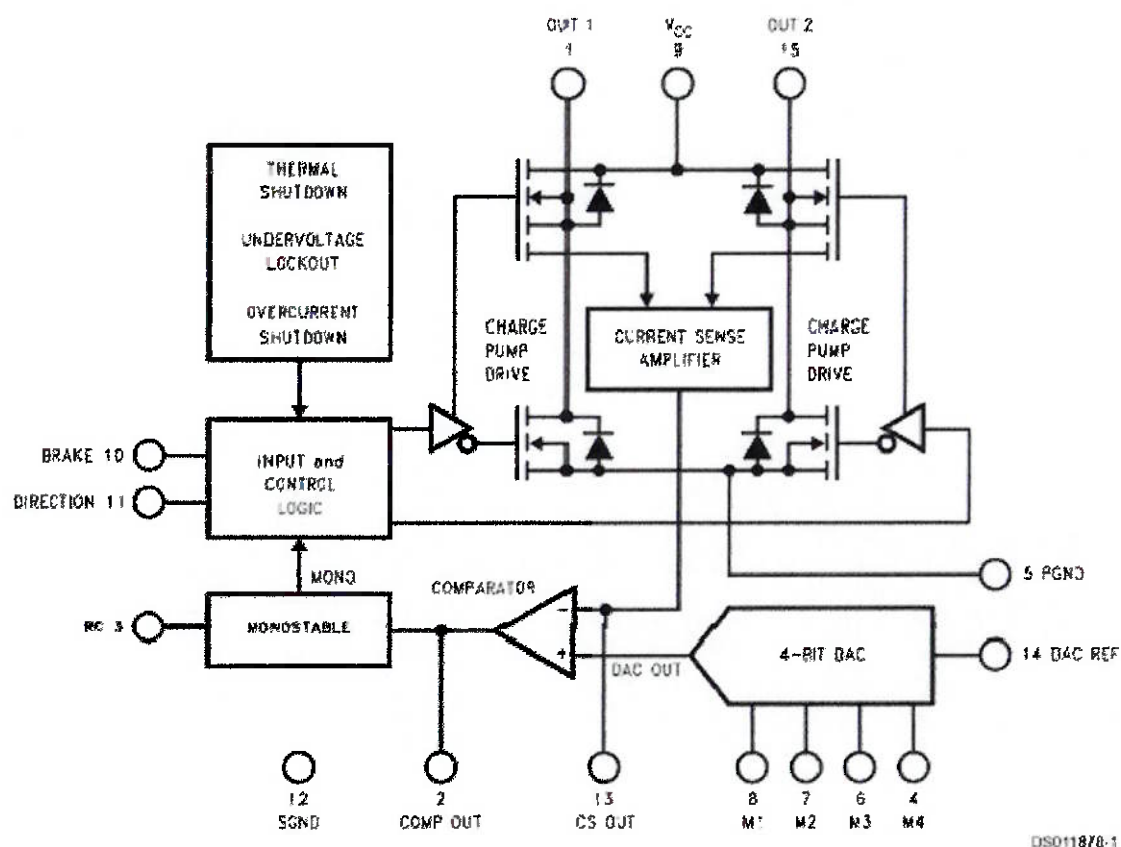
O controle de corrente é usualmente empregado através de um controlador do tipo PWM, onde a tensão média é controlada através de uma chave ou *switch* e controla-se, desta forma, a corrente que passa pelo enrolamento.

O projeto e a implementação analógica do circuito foram avaliados, contudo um controlador do tipo PWM para motores de passo e motores DC de escova foi selecionado devido, além de suas características operacionais, a sua simplicidade e custo. O circuito integrado selecionado foi o LM18245, da Analog Devices.

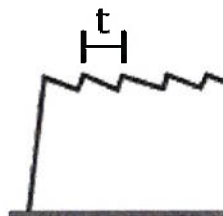
Segundo as especificações do freio eletromagnético e sua faixa de operação temos: corrente nominal de 1,25A, e os valores de operação entre $0,5 \cdot I_a$ e $1,75 \cdot I_a$. Temos, desta forma faixa de operação de corrente entre 0,5A e 3,0A.

O CI selecionado controla nominalmente até 3,0A e chega a controlar 6,0A de pico. Opera até uma tensão de 55V, o que o torna apto pois a tensão nos terminais do Freio é de 24V.

O diagrama do controlador pode ser visto abaixo:



Ele emprega as pontes em H com chave e seu sensor interno de corrente para fazer um controle através de técnica *chopper* com período de corte fixo. Ele mantém a tensão nos terminais até que a corrente alcance valor de referência, após isso ele “espera” um período fixo de tempo até reativar o sistema e tentar alcançar o valor de referência novamente. Sua saída pode ser observada na figura abaixo (onde t é o tempo fixo de corte):

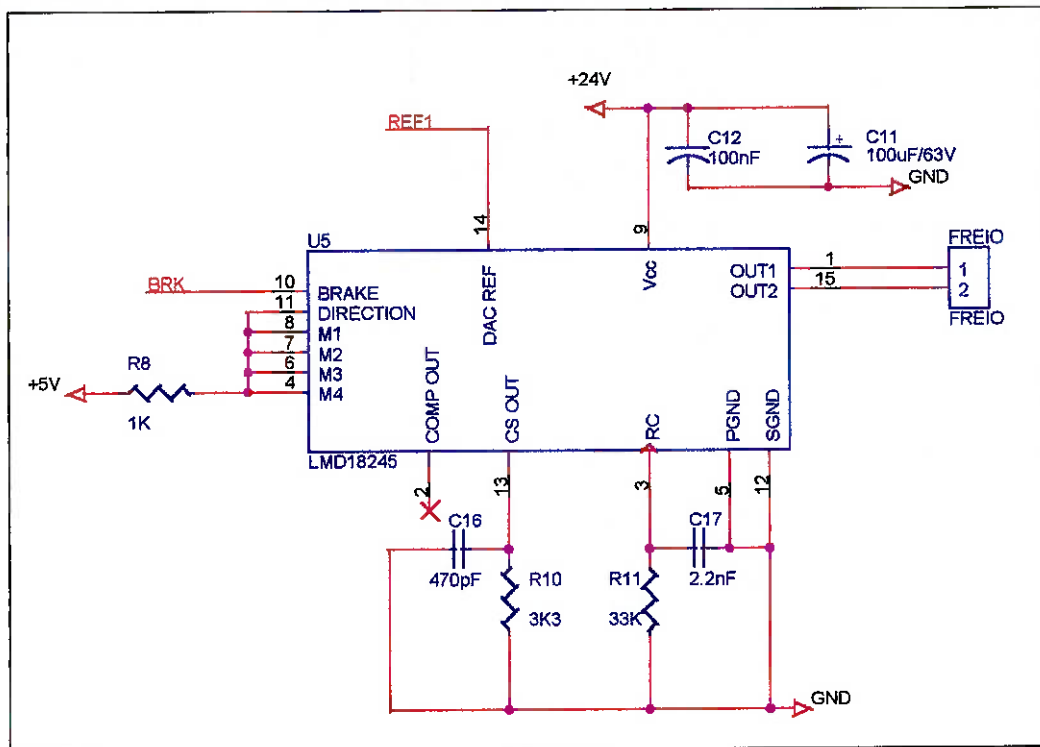


O controle da corrente de saída pode ser feita digitalmente através dos pinos 4,6,7 e 8 (isto é 4 bits de resolução), ou analogicamente através do pino 14, com auxílio dos pinos digitais 4,6, 7 e 8.

O período fixo de corte o qual gera o *ripple* do atuador é regulado por um resistor e um capacitor em paralelo conectados ao pino 3, onde o tempo é $1,1 \cdot R \cdot C$. Este *ripple* foi considerado insuficiente para causar danos ao sistema devido à inércia do mesmo.

Apesar de sua entrada digital de 4 bits, a qual proporciona a interface direta com o microprocessador, utilizou-se sua entrada analógica e um conversor d/A de 8 bits para que a resolução desejada fosse obtida.

O diagrama elétrico do controlador de corrente pode ser visualizado abaixo:



O sinal de controle **BRK** é o oriundo do conversor D/A de 8 bits e o **REF1** a referência de tensão para a entrada analógica.

E, como pode-se observar, o período de corte é de 79,86us ($1,1 \cdot 33k \cdot 2,2n$).

Os pinos OUT1 e OUT2 são as saídas controlador e devem ser conectadas às entradas de alimentação do freio eletromagnético.

10.3. Sensor de Força

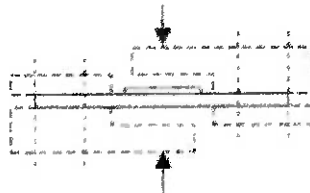
Para que a malha de controle seja realimentada e que o teste do Wingate possa ser corretamente administrado é necessário medir o torque resistivo que o sistema aplica ao pedal.

Para se medir o torque empregou-se um sensor de força disposto a **0,07m** do centro do freio, bloqueando-o através de uma haste. O sensor de força adotado foi o TBS-10 da TTLoadCells. Este sensor foi selecionado sobretudo pelo seu preço, atendendo, claro, às características operacionais desejadas. Seu acoplamento é facilitado pela utilização do Kit de Montagem aconselhado pelo fabricante, o TMK2.

Foto do sensor de Força:



Esquema de montagem:



Este sensor utiliza *strain gages* em configuração do tipo Ponte de Wheatstone, compensadas quanto à temperatura, o qual fornece valores de tensão à uma sensibilidade de 20mV com um fundo de escala de 10lbs a 10V. O correto posicionamento deste sensor de força permite-nos obter o torque reativo imposto pela carcaça ao enrolamento, o qual responde pelo torque resistivo.

Para que os dados adquiridos pelo sensor possam ser devidamente tratados pelo processador, é necessário que haja uma conversão A/D e que o sinal oriundo do sensor seja amplificado. Segundo as especificações, um conversor de 8 bits faz-se necessário.

Como sistema amplificador, utilizou-se do Amplificador Operacional LM741, em circuito amplificador de diferenças, pois a saída do sensor é uma diferença de potencial entre dois terminais da Ponte de Wheatstone. O esquema como amplificador de diferenças pode ser visualizado a seguir:

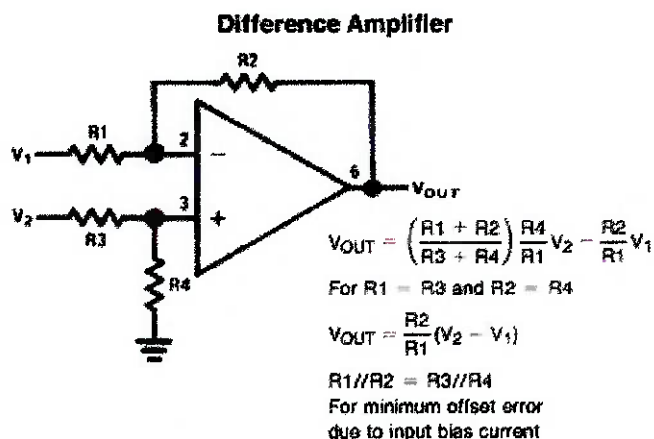
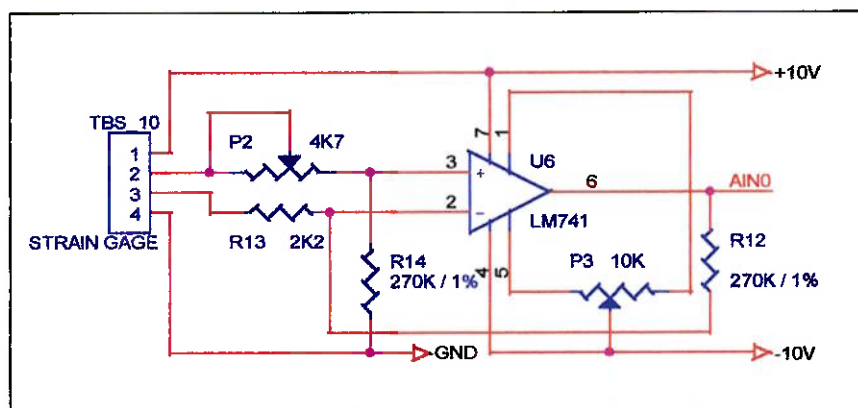


Diagrama elétrico do Amplificador de Potência, recebendo o sinal do Sensor de Força:



Os pinos 1 e 4 são a alimentação da ponte de Wheatstone do sensor de força, e os pinos 2 e 3 são a tensão de saída do sensor, cujo fundo de escala é 20mV, para uma força de 10lbf, aproximadamente 400gf.

O ganho desejado foi efetuado para que os 20mV resultassem em um fundo de escala de 255 no microprocessador (8bits), desta forma, a saída desejado do Amp. Op. seria de 2,55V implicando em um ganho de 127,5.

O ajuste do ganho é feito através do *trimpot* de 4K7, e o ajuste do offset, o qual deve ser feito inicialmente, empregando-se o *trimpot* de 10K.

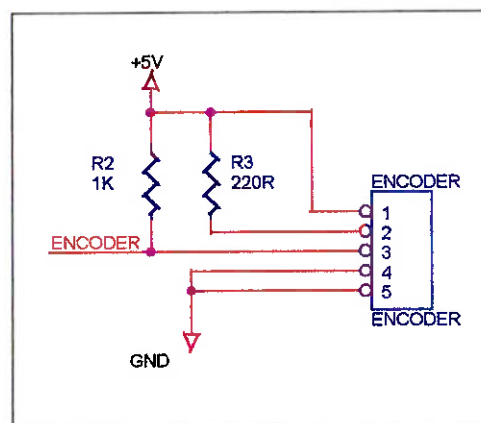
O sinal AIN0 corresponde à saída do amplificador de potência e entrada no circuito de conversão A/D para tratamento microprocessado.

10.4. Sensor de Rotação

O sensor de rotação como previamente definido foi o H22A1 da HoneyWell, ele é composto por um led e um fototransistor, mudando o nível de saída ao detectar presença.

A resolução deste sensor é feita pelo número de ranhuras em um disco de acrílico acoplado ao eixo que se deseja medir a rotação. Este sinal é colocado para gerar interrupções no processador, o qual, através do intervalo entre estas interrupções, determina a velocidade de rotação instantânea do eixo.

O diagrama elétrico do sensor de rotação pode ser visualizado abaixo:



Observe que o sinal de controle Encoder é sua ligação à interrupção do microprocessador.

10.5. Microprocessador

A escolha do microprocessador envolve a seleção do componente mais otimizado para a aplicação. Contudo, nesta fase de desenvolvimento considerou-se como sendo essencial o conhecimento do microcontrolador a ser programado e utilizado, pois o controle será feito plenamente no microcomputador, e o microprocessador deve comportar-se apenas como interface entre os diversos sistemas de sensoriamento e atuação e o computador. Além de seu custo não influenciar severamente no custo do projeto, desde que utilizados modelos convencionais e compatíveis.

O microcontrolador empregado foi o AT90S8515, da Atmel, devido suas características que permitem a completa interface entre os subsistemas, sua facilidade de programação e implementação e seu baixo custo. A mudança do processador ou de sua arquitetura só será justificada no decorrer do projeto de controle, principalmente após uma definição das funções de controle (atualmente implementadas no computador) a serem implantadas *on-board*.

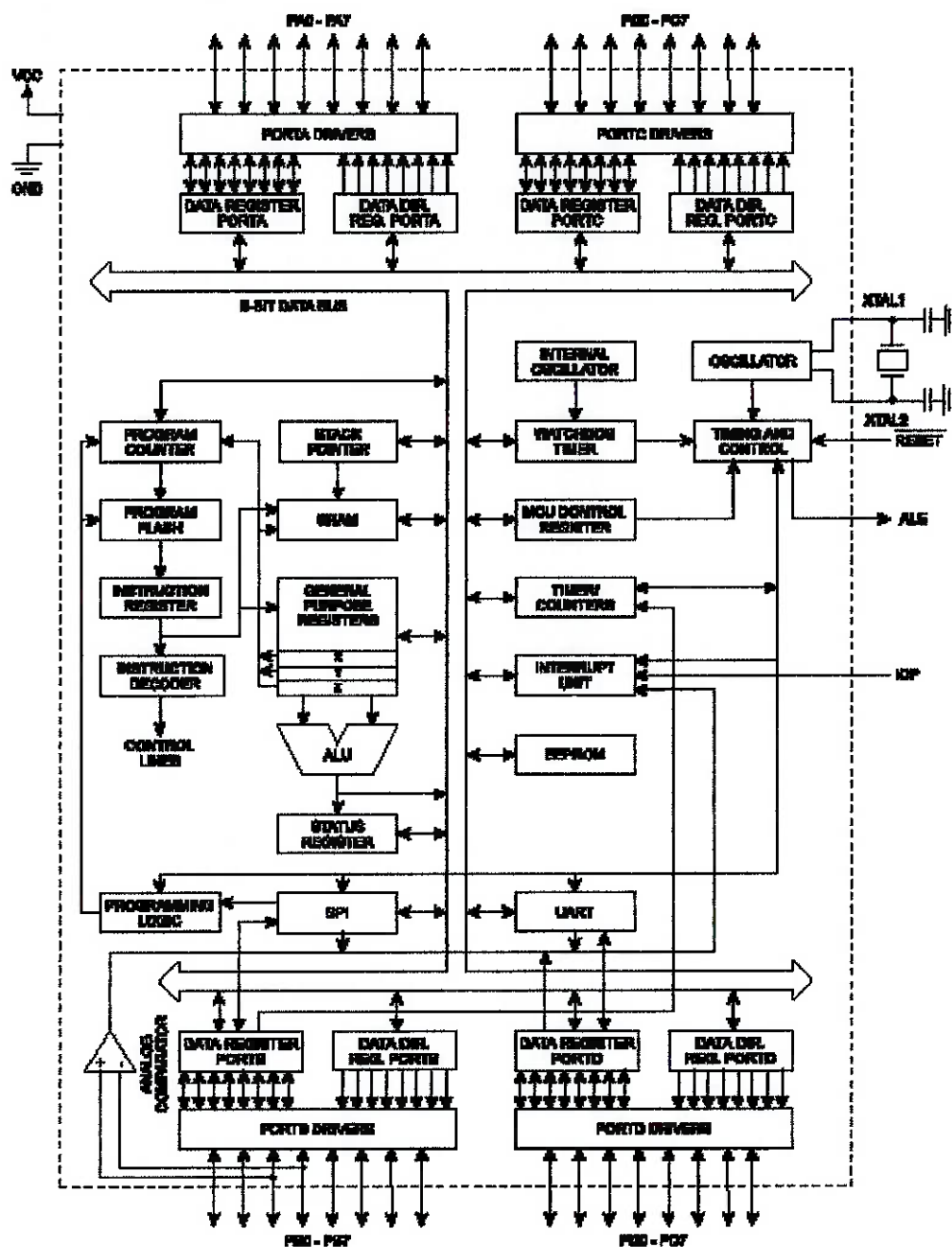
O AT90S8515-8 utilizado apresenta clock de 8MHz, proporcionando até 8MIPS (mega instruções por segundo), pois apresenta estrutura RISC e é pertencente à família AVR da Atmel. Possui 8Kbytes de Flash programáveis por software, além de 32 *ports* de I/O. Apresenta um comparador analógico interno ao chip, o qual possibilita a interface entre sistemas analógicos ao sistema digital do microprocessador.

Utilizando este processador foi possível implementar, com o auxílio do conversor D/A (já estava prevista a sua utilização para o atuador), o conversor A/D necessário para aquistar os dados de torque. Para tanto foi

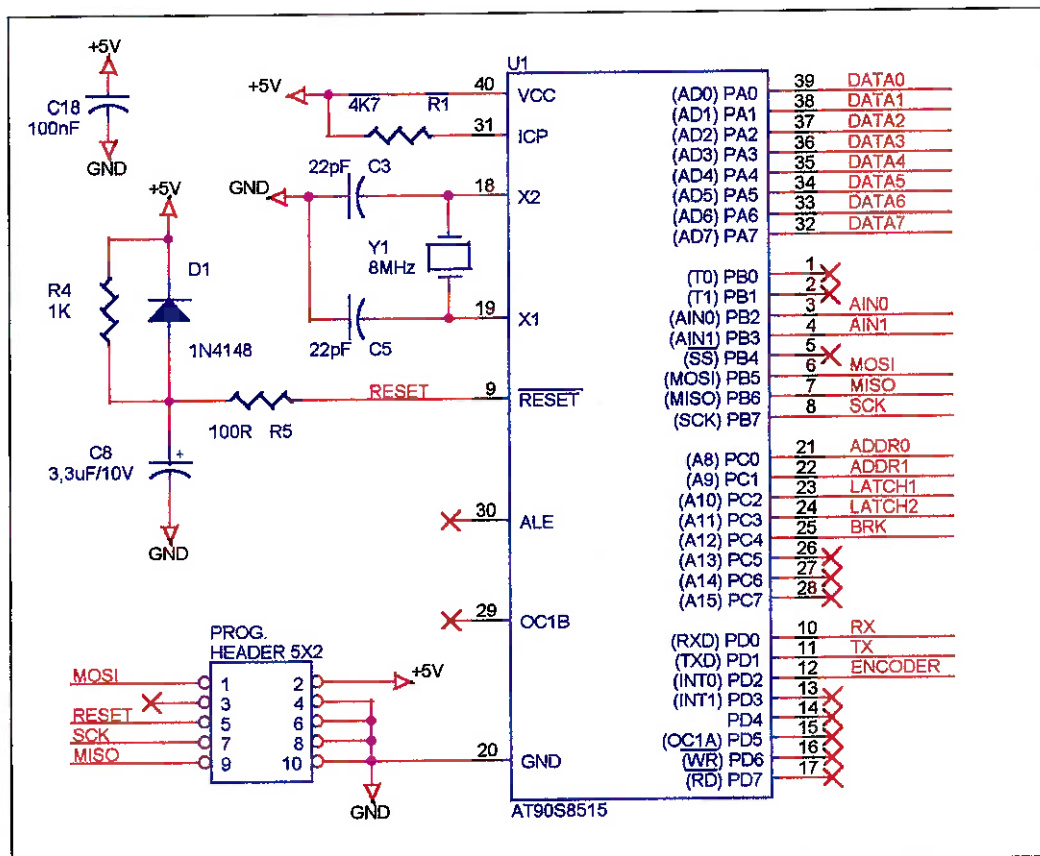
utilizado o comparador analógico interno ao chip e uma lógica de programação para se obter o valor digital correspondente ao analógico medido.

O chip selecionado apresenta uma interface serial simples, além de *ports* de I/O suficientes para toda a placa de aquisição de dados.

Esquema do Microprocessador:



O diagrama elétrico do microprocessador pode ser visualizado abaixo:



Neste diagrama, além do processador está o conector de programação *on-board* do chip, a qual necessita de cabo específico para se conectar a qualquer serial de computador e fazer o *upload* de software através do software específico que pode ser encontrado nas páginas Atmel na Web. Este circuito facilita a programação e alteração do programa residente no chip. Ele utiliza os sinais de controle MOSI, MISO, RESET e SCK oriundos do *port B* do microprocessador.

O *port A* é empregado como *port* de saída para comparar com o valor de leitura do sensor de torque. Estas saídas são conectadas ao conversor D/A cuja saída é entrada em um dos *ports* de entrada do comparador analógico (a outra vem do sensor de força). Através do método de aproximações sucessivas obtém-se o valor lido pelo sensor variando-se os valores no *port A*.

O *port B* é utilizado como entrada para programações *on-board* através de seus pinos PB5, PB6 e PB7, através dos sinais de controle MOSI, MISO e SCK, respectivamente. Além disso apresenta em seus pinos PB2 e PB3 as

entradas do comparador analógico, onde o sinal AIN0 é oriundo do sensor de força e o sinal AIN1 advém do conversor D/A conectado ao *port A* do microprocessador.

O *port C* conecta-se aos pinos de controle do conversor D/A a ser descrito em breve. Seus pinos PC0 e PC1 (sinais ADDR0 e ADDR1) selecionam entre as 4 saídas analógicas, onde a saída A conecta-se ao comparador analógico do processador e a saída B é a tensão de referência do LM18245, o controlador de corrente. Os pinos PC2 e PC3 (sinais LATCH1 e LATCH2) são as entradas de controle do AD7305, o conversor D/A. O *port PC4* (sinal BRK) é utilizado para desligar o LM18245, e, desta forma, poupar energia.

O *port D* apresenta as ligações de Rx e Tx para comunicação com o chip de comunicação serial através dos pinos PD0 e PD1. O pino PD3 é a entrada do sinal de comunicação encoder, oriundo do sensor de presença, onde conecta-se à interrupção 0 do microprocessador.

Observa-se que o microprocessador apresenta capacidade superior à utilizada o que permite a pesquisa e implementação de placa de aquisição de dados mais customizada.

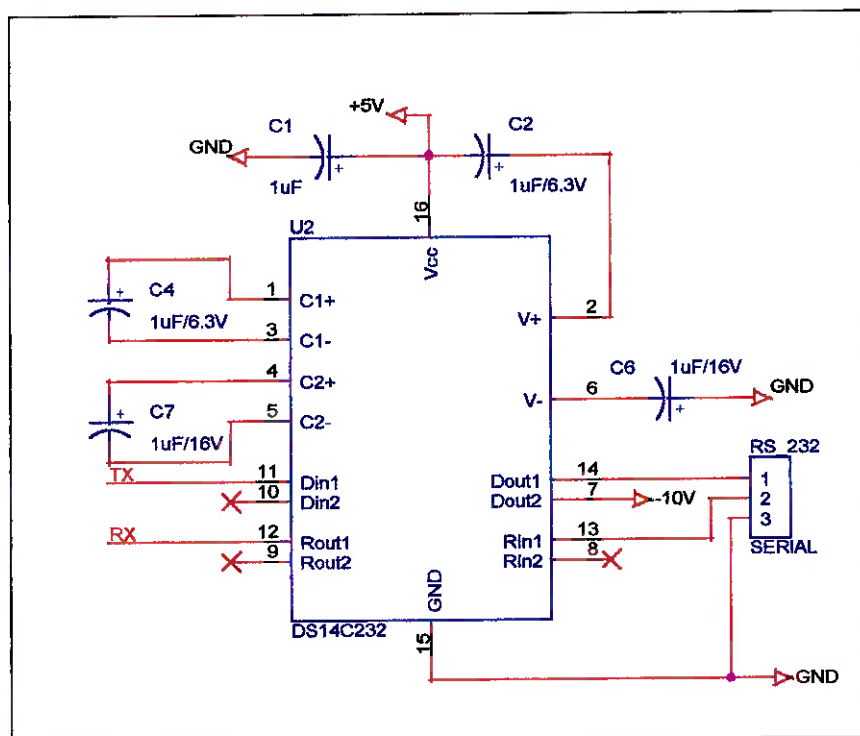
A evolução freqüente e surgimento de novos componentes no mercado permitiu a seleção do chip AT90S8535, o qual apresenta conversor A/D interno, para uma próxima etapa de desenvolvimento da placa.

10.6. Chip de Comunicação Serial RS232

Sendo o projeto especificado para que haja um controle remoto por computador, a comunicação serial através do protocolo RS232 é a mais óbvia, além de ser suficiente para a aplicação desejada.

Levando-se isto em consideração selecionou-se o bastante conhecido DS14C232 da National, compatível ao MAX232 da Maxim.

Esquema do chip de Comunicação Serial:



É fácil observar os sinais de comunicação Rx e Tx, anteriormente citados. Além disso, é importante salientar o uso da saída 2 como tensão negativa de alimentação do Amplificador Operacional responsável pela amplificação do sinal do sensor de força.

10.7. Conversor D/A

A aplicação do conversor D/A, o qual anteriormente se limitaria ao controle de corrente, foi ampliado para compor um conversor A/D. Isso foi possível devido às características do microcontrolador selecionado, o qual apresenta comparadores analógicos internos ao chip.

O Conversor D/A selecionado foi o AD7305, conversor de quatro saídas de 8 bits da Analog Devices.

Esquema do Conversor D/A:

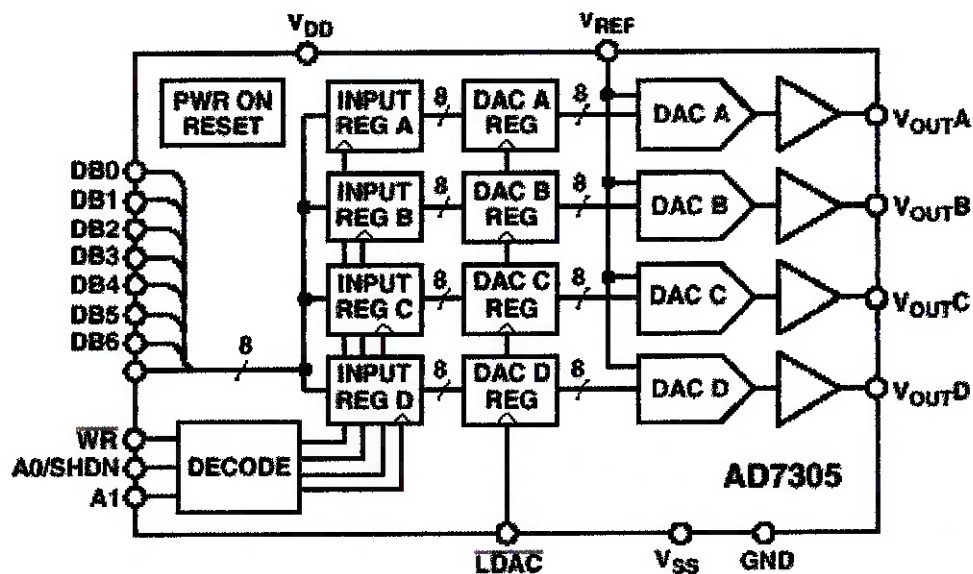
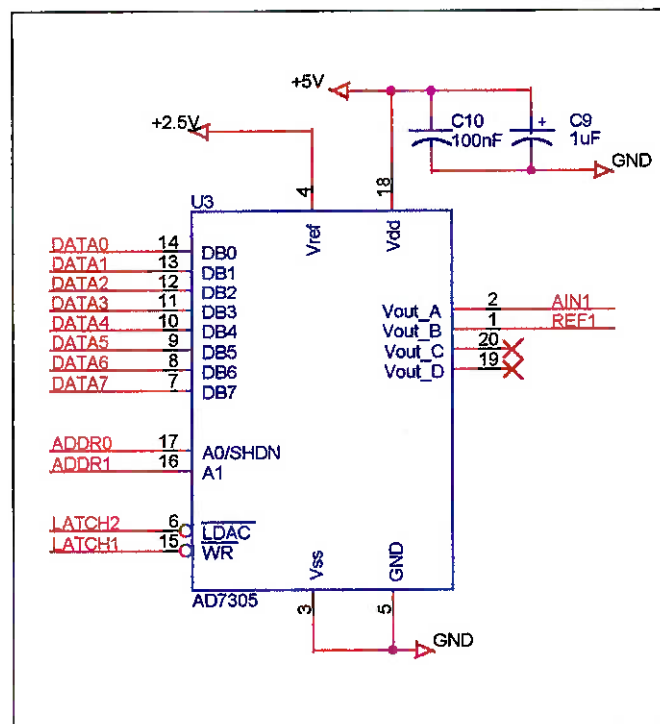


Diagrama Elétrico do Conversor D/A:



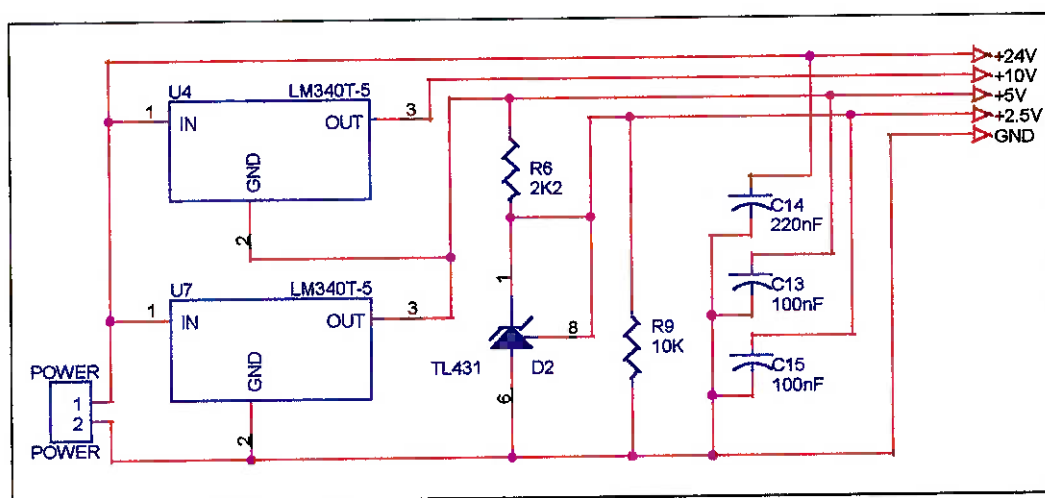
As entradas DATA0 a DATA7 nos ports DB0 a DB7 são as entradas digitais a serem convertidas em sinais analógicos. Como descrito anteriormente os sinais ADDR0 e ADDR1, vindos do *port C* do microprocessador, selecionam entre as 4 saídas analógicas, onde a saída A, sinal AIN1, conecta-se ao comparador analógico do processador e a saída B, sinal REF1, é a tensão de referência do LM18245, o controlador de corrente. O sinal LATCH1 habilita a

cópia do sinal digital paralelo para “dentro” do chip, mas, somente após o sinal do LATCH2 acionar, os dados serão copiados aos registradores DAC e convertidos em analógicos na saída, usando como base a tensão de referência no pino Vref.

10.8. Fonte de Alimentação

A fonte é responsável pela correta alimentação do sistema e garantir, desta forma, o seu funcionamento. O sistema fonte de alimentação é composto por uma fonte externa, regulada e protegida de +24V DC, capaz de fornecer 3A, da empresa CCSon, e um circuito derivativo de tensão integrante à placa de aquisição e controle de dados.

O circuito integrante à placa segue abaixo:



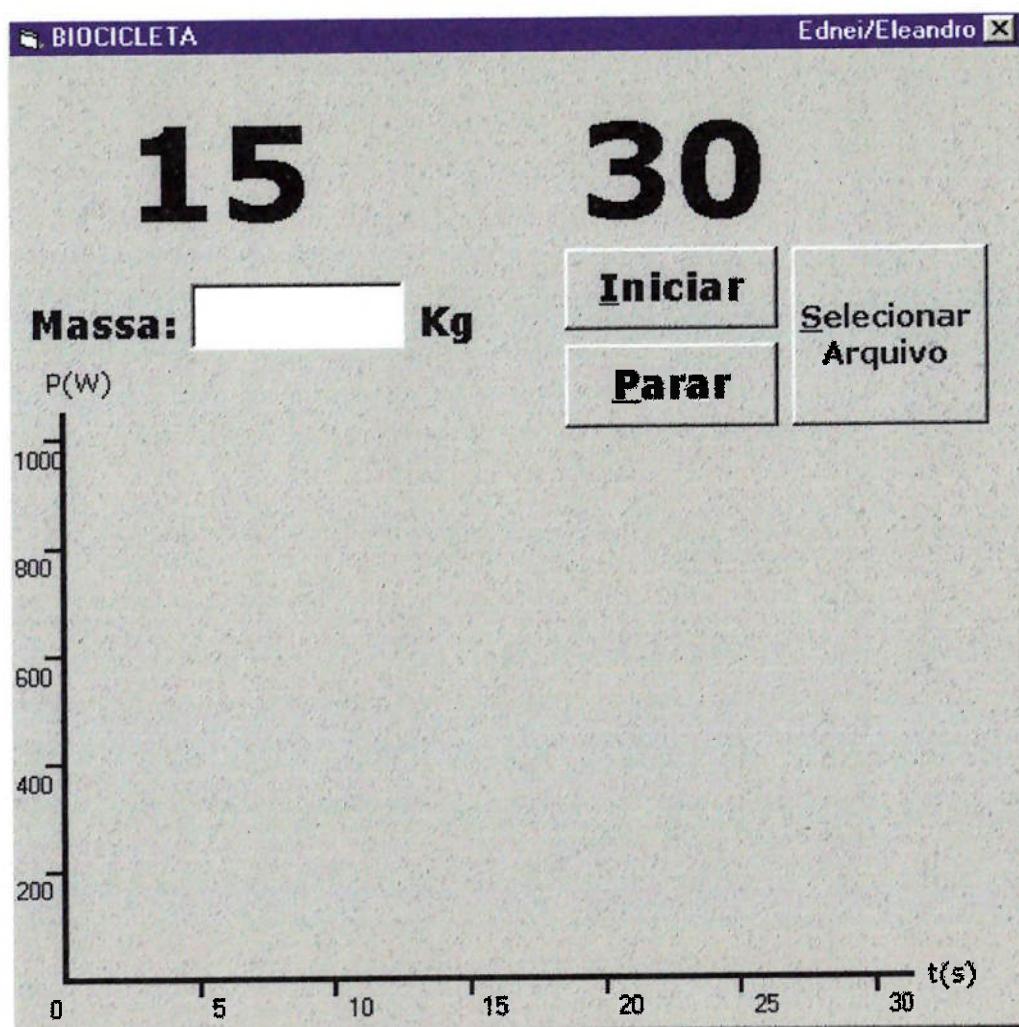
Verifica-se as saídas de tensão de +24V, diretamente ligada à fonte externa, +10V, resultante da integração em cascata de dois reguladores de tensão LM340T-5, onde o terra do segundo é a saída de tensão do primeiro; +5V, ligado à saída do primeiro regulador de tensão, e, finalmente, uma saída de +2,5V derivada do sinal de +5V através de um regulador shunt, de comportamento semelhante a um Zener.

O diagrama elétrico completo segue-se em anexo, assim como o layout da placa.

10.9. Software de Apresentação de Resultados

Este software é responsável pela demonstração ao instrutor e ao atleta os dados obtidos no teste. A visualização dos dados é feita segundo um gráfico de Potência X tempo. Além disso, arquiva o teste em arquivo texto para, se necessário, tratamento posterior em outro software.

A tela principal do programa pode ser visualizada abaixo, onde tem-se o gráfico de Potência, além de 2 orientadores do tipo Timer sobre a duração e procedimento do teste. O timer de 15s é responsável pelos tempos de aquecimento e desaquecimento do atleta, enquanto o timer de 30s pela duração efetiva do teste de WinGate.



A observação do gráfico e estudo comparativo de sua forma permitem a correta avaliação dos parâmetros anaeróbicos do atleta. O teste, bem como essas observações, devem ser feitas sob orientação e acompanhamento médico.

Para que se dê início ao teste é necessário, primeiramente, selecionar o arquivo de saída, cujo nome pode ser novo, através do clique sobre o botão **Selecionar Arquivo**, e, através dos recursos de navegação do *Microsoft Explorer*, selecionar o diretório a ser criado ou reutilizado o arquivo de saída. Selecionado o arquivo deve-se (poderia ter sido feito antes de selecionar o arquivo), digitar a massa em Kg do atleta. A partir deste momento basta clicar sobre o botão **Iniciar** e acompanhar o teste pelos timers e gráfico.

10.10. Software de Controle

O software de controle, responsável pelo comando do controlador foi implementado internamente ao software de apresentação de resultados. Ele responde também pela parte de aquisição de dados da placa, oriúnda dos sensores.

O algoritmo de controle implementado, neste momento, baseia-se em um controle em malha aberta, suficiente para o objetivo do projeto. Para um controle mais apurado seria necessário um estudo de controle não-linear, que não fora objeto de estudo durante o curso de Mecatrônica da EPUSP, o qual é parte integrante de uma matéria completa nos cursos de Pós-Graduação. A próxima tentativa de refinamento do controle deve passar pelos recursos de malha fechada, visto que a variável de controle Torque é atualmente medida. Uma tentativa de linearização do problema para emprego das técnicas sabidas, resultou em uma fórmula incoerente, e, desta forma, descartada.

Nesta parte do software estão implementadas as conversões dos valores obtidos pela comunicação serial com o microprocessador da placa de

aquisição e controle de dados. Estas conversões estão descritas no protocolo de comunicação em item subsequente.

10.11. Protocolo de Aquisição de Dados e Controle

Protocolo responsável pela identificação de comandos e dados entre o computador e a placa de aquisição de dados via porta serial. O protocolo de comunicação especificado é o RS232, como anteriormente descrito.

Mensagens do MASTER (PC) para o SLAVE (bicicleta):

mensagem	tamanho da mensagem (bytes)	descrição	resposta do SLAVE
ENQ	1	requisição de leitura	pacote de dados (vide abaixo)
BRK <valor>	2	programação do freio	ACK
RST	1	reset geral	ACK
VER	1	versão do firmware	versão do firmware

Pacote de dados do SLAVE para o MASTER:

número do byte (sequência)	código	descrição	Observações
0	STX	início do bloco	
1	PLSB	período do encoder (LSB)	se P = 0xFFFF, a rotação do eixo está abaixo da mínima detectável
2	PMSB	período do encoder (MSB)	
3	SG	valor lido do strain gage	satura em 0xFF
4	TLSB	intervalo de tempo (LSB)	se T = 0xFFFF, o intervalo de tempo é maior do que o máximo mensurável
5	TMSB	intervalo de tempo (MSB)	
6	ETX	fim de bloco	

10.12. Conversão de Valores Recebidos em Valores Reais

10.12.1. Rotação do eixo:

$$R = \frac{K_1}{(256 \cdot \text{PMSB} + \text{PLSB})}$$

com

R = rotação do eixo do encoder (RPM)

PMSB, PLSB = bytes recebidos do SLAVE (0 a 255)

K_1 dado pela fórmula:

$$K_1 = \frac{60}{n \cdot \text{PS}_1}$$

com

$n = 1$ = número de frestas do encoder

$\text{PS}_1 = 8\text{E-}6$ = pre-scaler do microprocessador (segundos/pulso)

Rotação Mínima Detectável

Sendo o encoder de 1 fresta, pre-scaler de $8 \cdot 10^{-6}$ (8μs/pulso). O valor da rotação mínima detectável é calculado assumindo-se PLSB e PMSB iguais a 255. No exemplo acima:

$R_{\text{mín}} = 114,44$ RPM no eixo do freio $\Rightarrow R_{\text{min}} = 8,17$ RPM no eixo do pedal

o que equivale a uma rotação a cada 7,3s a qual para efeitos do teste é desprezível.

10.12.2. Strain gage:

$$T = \frac{d \cdot \text{SG}}{K_2}$$

com

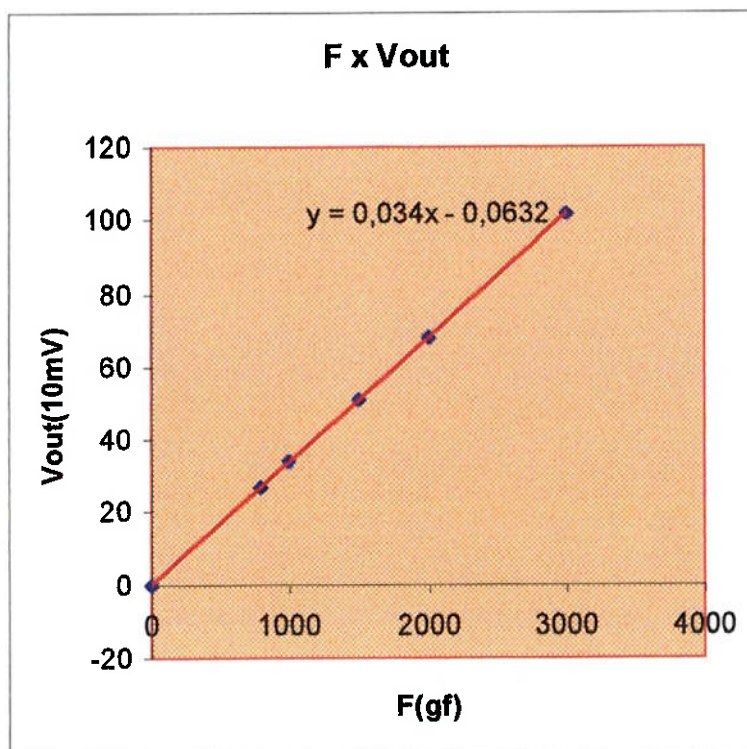
T = torque (Nm)

d = distância de medição do sensor (m)

SG = byte recebido do SLAVE (0 a 255)

$K_2 = 3,4$

O valor de K_2 foi obtido por meio de calibração do equipamento segundo a curva de calibração a seguir:



O valor de resíduo foi desconsiderado por não interferir significativamente nos dados medidos.

10.12.3. Intervalo de tempo:

A medida de intervalo de tempo corresponde ao tempo decorrido entre duas medidas solicitadas para que seja efetivamente composto um gráfico **real-time**

$$\Delta t = \frac{(256 \cdot \text{TMSB} + \text{TLSB})}{K_3}$$

com

Δt = intervalo de tempo decorrido desde a última medição (segundos)

TMSB, TLSB = bytes recebidos do SLAVE (0 a 255)

K_3 dado pela fórmula

$$K_3 = \frac{1}{\text{PS}_2} = 31250$$

com

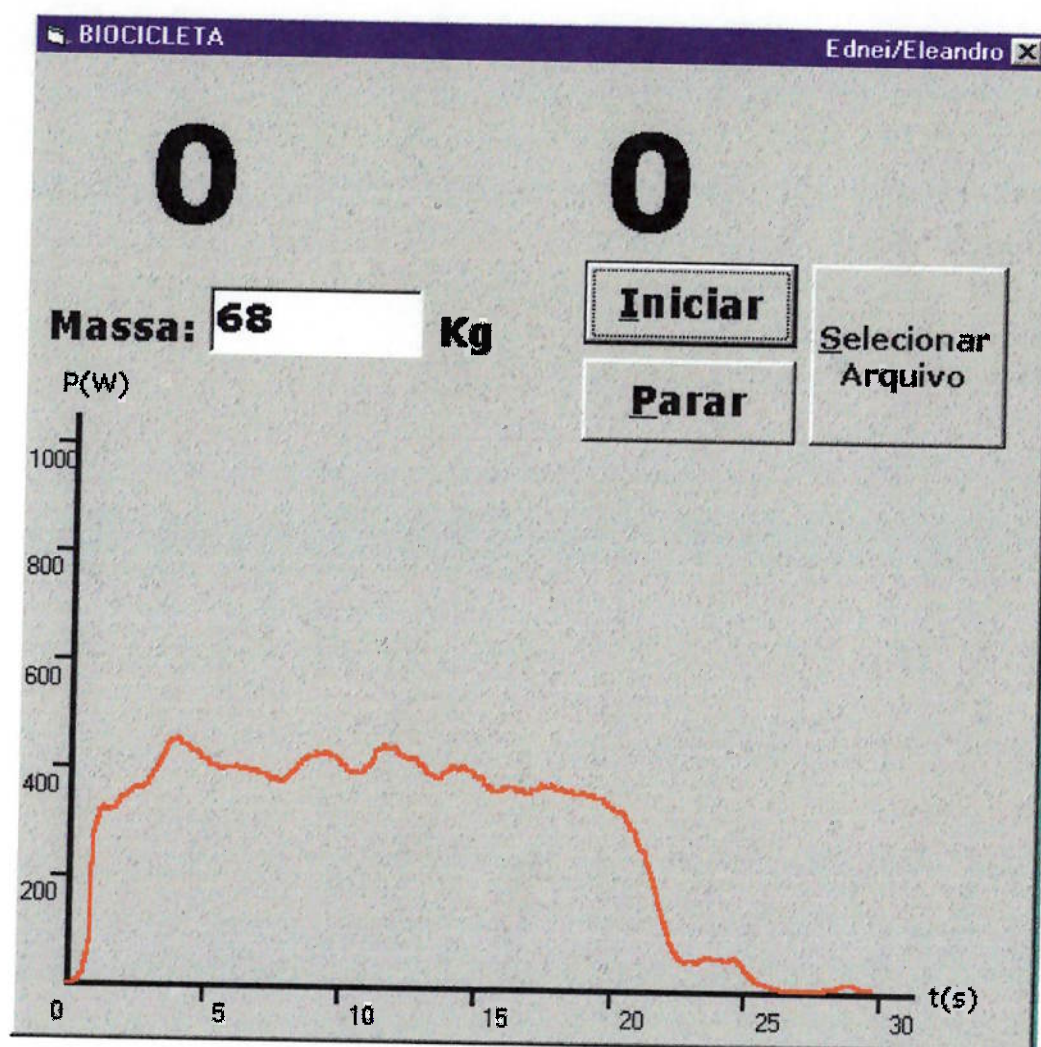
$PS_2 = 3,2E-6$ = pre-scaler do microprocessador (segundos/pulso)

11. Simulação e Discussão de Resultados

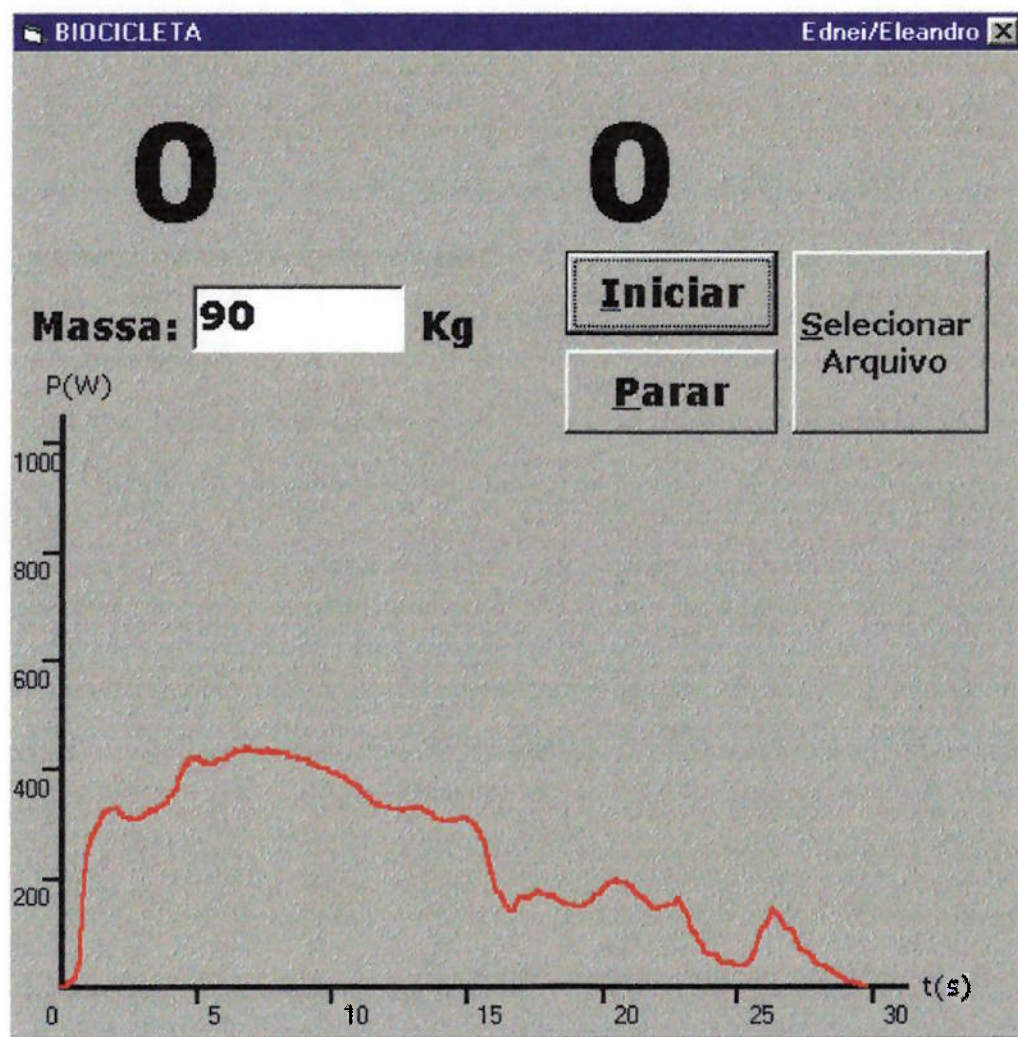
Esta etapa visa a demonstração do sistema de aquisição e demonstração de dados.

Seguem abaixo as simulações dos "atletas" Eleandro Ferronato de Souza e Ednei Rogério Zampese e a listagem de seus respectivos arquivos de saída constam em anexo:

Eleandro Ferronato:



Ednei Zampese:



A graduação do gráfico cobre todos os valores conhecidos de potência de pico, sendo o limite de 1064W, de autoria desconhecida. Vale lembrar que os referidos testes acima não foram acompanhados por um especialista, o que justifica o esforço não completo do teste. Os valores obtidos pelos atletas, em comparação com a tabela de resultados comparativos do teste situada no anexo, foram satisfatórios pois seus valores de pico estão próximos ao médio. Conclusivamente, notamos que a falta de aquecimento adequado bem como de preparação respiratória, fizeram os valores serem inferiores à média.

Verificamos também que a queda de mais de 40% da potência registrada nos primeiros 5 segundos foi devida a falta de acompanhamento, pois enquanto o esforço era efetivamente efetuado o valor de potência não desceu a este patamar.

Testes feitos em laboratório, sobre a qualidade do torque imposto, verificaram a variação de, no máximo, 7,5% do valor central definido, para a faixa de rotação de operação para o teste. Desta forma, o controle em malha aberta foi tratado como eficiente e suficiente para a avaliação do teste.

Foi consultado o sr. Miguel Naveira, médico fisiologista especializado em Fisiologia do Esporte, sobre a validade do teste perante esta imprecisão. O referido médico salientou que essa pequena variação do torque não influencia consideravelmente os dados adquiridos a ponto de desconsiderá-los. E, de posse dos gráficos gerados, confirmou a validade dos dados a que o teste se propunha. Exaltou também a qualidade do processamento de potência real, o que segundo ele, é difícil de ser encontrado em equipamentos similares no mercado.

Desta forma, a qualidade dos dados adquiridos, embora inferiores aos propostos na formulação do projeto, mostram-se plenamente suficientes para o teste a que este equipamento se propunha.

12. Conclusão

No decorrer deste trabalho deparamo-nos com várias situações adversas, como, por exemplo, a burocracia ao adquirir material e componentes, principalmente no exterior. Todo o conjunto do trabalho fez com que aprendêssemos sobretudo o trabalho em grupo pois o estudo de um projeto de Engenharia em grupo envolve uma relação pessoal de confiança indiscutível, ainda mais quando o volume de trabalho é intenso, onde não se pode conferir tudo pessoalmente.

A busca pela melhor solução sempre faz com que o projeto por vezes ande demais em círculos pois a cada experiência nova ou conhecimento novo, as possibilidades aumentam e a vontade de mudar e melhorar tudo perdura. O desafio de completar um projeto para o mercado ainda não foi vencido, as exigências internas (nossas) quanto ao projeto sempre aumentam e com elas as mudanças sempre vêm. Contudo, uma primeira espiral completa de projeto chegou ao fim e, desta forma, o fim completo já pode ser considerado visível.

Confrontamos em uma das nossas primeiras experiências as dificuldades em traduzir da teoria à prática e por muitas vezes descobrir que o bom senso nada mais é que a experiência aplicada.

Os desafios ainda não acabaram, nem o aprendizado, pois por maior que tenha sido o esforço e informações necessárias, este projeto foi apenas uma passo em nossas carreiras de engenheiro.

13. BIBLIOGRAFIA

1. Massarani, Marcelo: **Apostila da disciplina PMC 475 Metodologia de Projeto;**
2. Adams, Gene, M.; **Exercise Physiology – Laboratory Manual;** 2nd Edition; Brown & Benchmark Publishers; United States; pp 64-72;
3. Lazzoli, José Kawazoe; **Manual para Teste de Esforço e Prescrição de Exercício;** 4^a Edição; Livraria e Editora Revinter Ltda, Rio de Janeiro, Brasil, pp 1-12;
4. Christopher, Martin; **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos:** estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços / tradução Francisco Roque Monteiro Leite – São Paulo : Pioneira, 1997;
5. Ayan, Jordan; **AHA! 10 maneiras de libertar seu espírito criativo e encontrar grandes idéias** / tradução: June Camargo – São Paulo: Negócio Editora, 1998;
6. Mattar, Fauze, Najib; **Gerência de Produtos:** como tornar seu produto um sucesso / Fause Najib Mattar, Dilson Gabriel dos Santos – São Paulo: Atlas, 1999.
7. Juvinal, Robert C. *Fundamental Component Design* Wiley
8. Zampese, Boris: *Apostila de Engrenagens – Geometria, Forças e Dimensionamento-* São Paulo 1991;
9. V. Dobrovolsky, K. Zablonsky, S. Mak, A. Radchik, L. Erukh: *Machine Elements*

14. Anexos

14.1. Seleção da Força (F)

Depois de pesar o atleta desnudado (ou subtrair o peso de sapatos e roupas), a força própria (kgf; N) é prescrito para bicicleta (equação 12.1) e braço (equação 12.2), respectivamente (Evans e Quinney, 1981,; Kaczkowski et al., 1982; Montgomery, 1982). A equação da força da perna é projetada para produzir aproximadamente 4.4 joules por kilograma de corpo por revolução de pedal e representa um esforço que requer aproximadamente 85% de anaerobismo, de acordo com Evans e Quinney (1981).

$$\text{Força na Perna (kgf)} = \text{Peso do Corpo (kgf)} \times 0.075 \quad (\text{Eq. 12.1})$$

$$\text{Força no Braço (kgf)} = \text{Peso do Corpo (kgf)} \times 0.05 \quad (\text{Eq. 12.2})$$

Parâmetros de entre 0.087 e 0.095 do peso de corpo de kgf/kgf são prováveis a extrair maiores capacidades de homens jovens. Contudo, os acertos de resistência maiores do que 0.1 kgf/kgf não aumentam os dados obtidos no wingate (Davy et al., 1989).

14.2. Cálculos

Os cálculos para o teste wingate resultam na capacidade anaeróbica e podem ser expressas em joules (J), kilojoules (KJ), kilograma-metros em 30 segundos (Kgm-30s) ou watts (W) e a potência anaeróbica é medida em kgm-5s ou W. Essas unidades também podem ser expressas em termos relativos, quando divididos pelo peso do corpo, sendo, dessa forma, expressas em ($W.Kg^{-1}$ ou $J.Kg^{-1}$). Para calcular os picos de potência anaeróbica em kgm-5s, usa-se a equação 12.3 por meio do número máximo de rotações, entre os intervalos de 5 segundos multiplicados pela força aplicada. Esse valor é ainda multiplicado pela distância em metros percorrida por cada volta do pedal.

$$Pot_{max} (kgm-5s) = [R_{max} \text{ em } 5-s] \cdot (D/r) \cdot F \quad (\text{Eq. 12.1})$$

Para calcular a capacidade anaeróbica (Cap_{an}), o número total de rotações no período de 30 segundos deve ser multiplicado por (D/r). Então, aplicar a equação 12.2.

$$Cap_{anaeróbica} (kgm-5s) = [R_{total} \text{ em } 5-s] \cdot (D/r) \cdot F \quad (\text{Eq. 12.2})$$

Para conversão das unidades acima em watts, considerar que:

$$Pot_{max} (W) = 2 \cdot Pot_{max} (kgm-5s) \quad (\text{Eq. 12.3})$$

$$Cap_{anaeróbica} (W) = Cap_{anaeróbica} (kgm-30s) / 3 \quad (\text{Eq. 12.4})$$

Variável	Descrição	Unidade
$F_{braço}$	Força aplicada no braço do atleta	N
F_{perna}	Força aplicada na perna	N
Pot_{max}	Pico de potência desenvolvida durante o teste	Kgm/s
$R_{max} \text{ em } 5-$	Número máximo de rotações (R) ods intervalos de 5-	Voltas

s	s
D/r	Distância percorrida de um ponto no perímetro da Adimensional roda até completar uma rotação completa
F	Força prescrita para a execução do teste

14.3. Tabela de Resultados Obtidos e Expectativa do Teste

Seria impossível um indivíduo manter as potências praticadas no minuto inteiro, fazendo com que se use normalmente as unidades expressas por minutos em exercícios fisiológicos. A potência de saída deve decair não mais do que 40% dos primeiros 5 segundos até os últimos. Assim, não se espera que uma pessoa despenda 1 minuto no teste para calcular a potência anaeróbia e sim apenas 30s.

Abaixo, temos uma tabela para propósitos comparativos retirados da referência bibliográfica 2:

Resultados Comparativos dos Teste Wingate

Grupo	Pot _{max}	Pot _{max,relativa}		Can		Can _{relativo}	
	W	W/Kg	Kgm.m/kg	KJ	W	W/kg	J/Kg
Homens (18 - 24,9 anos)	540±80	8.2±1.8	1350	13.5	450±80	7.0	
Homens (25 - 34,9 anos)	700±100	9.2±1.0	1620	16.2	540	7.2	
Homens (35 - 44 anos)	660±100	8.6±1.8					
Atletas (19 - 21 anos)		11.8					
Patinadores de Gelo			1555	15.6			
Jogadores de Vôlei			2391	23.9	797	9.1	
Não discriminado	1064±98			25±3			303±18
Mulheres (maiores)	561±64	9.0±0.7			453	7.2	
Mulheres atletas (Força a 7.5% peso)		9.1; 9.6					
Mulheres atletas (Força a 9.5% peso)		10.8; 11.1					

14.4. Listagem dos Arquivos de Saída dos Testes

Segue abaixo a parte inicial (5 primeiros segundos) da listagem dos arquivos de saída de Eleandro Ferronato de Souza e Ednei Rogério Zampese referentes ao teste de WinGate.

Eleandro Ferronato de Souza:

Potencia	Tempo
0,253398994707129	0
0,60681090953062	0,057696
1,18833217530732	0,164576
2,06780194734961	0,216928
3,27668490859246	0,269344
4,8995135992728	0,321664
7,09952388481986	0,373952
10,0944641263745	0,426208
13,7956124667977	0,480768
18,5798538684902	0,531104
24,6948444330035	0,58336
32,9031924422101	0,635616
44,7121125697956	0,687968
63,1360243919088	0,740224
95,6718053300099	0,792576
169,574973397985	0,844928
275,467370664661	0,897312
287,252989729109	1,006432
300,851687737435	1,056832
312,808331216981	1,10912
319,220315865039	1,161408
321,191321862161	1,21376
324,786491567683	1,26608
324,184647370945	1,318368

322,235571547191	1,37072
318,085475125513	1,423008
318,544716377919	1,477536
321,069099141821	1,527776
321,740996403153	1,58016
324,327979973277	1,632352
331,304997106527	1,739648
333,131414473167	1,791968
334,410590548085	1,844288
340,227723428317	1,896576
343,677467477262	1,948864
344,62653495197	2,003264
344,607397592669	2,053568
350,430952780828	2,105984
353,231100515715	2,158176
354,182183253527	2,2104
354,402932214332	2,262784
359,385217604151	2,315072
360,435609190522	2,367392
359,314933970079	2,41968
363,572355293346	2,474176
364,717898798041	2,579424
361,202405616378	2,639968
363,005076449579	2,692224
366,61879499634	2,744512
367,333955764142	2,796768
368,153058258078	2,849088
373,079872472523	2,90192
379,101563100359	2,953632
381,159279052352	3,008032
385,025409291657	3,058272
389,580390666828	3,11056
395,496214915798	3,16304
402,334140062336	3,216096
409,027696738068	3,267616

416,473817114245	3,374816
419,611879212823	3,427232
424,372916522782	3,4816
430,732849186575	3,53184
437,162957307515	3,584128
442,463081423335	3,63648
445,788370927318	3,688864
450,399872880564	3,741056
449,626272542474	3,793408
449,040237337946	3,845664
451,573612538061	3,898048
453,077487966137	3,950432
452,568897869076	4,00464
452,469978980557	4,05504
447,162410106175	4,162304
441,928337752396	4,214752
441,585652278845	4,267008
441,375593270695	4,319264
439,996874004371	4,37168
439,774434818099	4,423872
436,54074792295	4,478432
433,496604469356	4,528576
432,732770333782	4,580672
432,747945994865	4,633248
432,420731522122	4,685536
430,356389161558	4,73792
426,721398823834	4,790144
420,618746494106	4,842432
417,638251809607	4,94976
417,209112867808	5,004032

Ednei Rogério Zampese:

Potencia	Tempo
0,316589982653097	0
0,690222485044466	0

1,2215538644418	0,094048
1,96240880940908	0,148288
3,00558418451062	0,198624
4,40780358903679	0,250976
6,24297157414571	0,303328
8,76755000401639	0,355616
11,8417537916268	0,463648
15,8801055677526	0,515232
21,1872896844452	0,567616
28,3239494397577	0,61984
38,3992958259939	0,672224
53,862056523629	0,724512
80,5983445302845	0,776896
136,970950327132	0,829248
210,561415305541	0,881472
223,766178394001	0,938976
239,501399571781	0,98624
256,089398125035	1,046624
266,186094059268	1,099072
273,535847488355	1,153312
281,155624115562	1,203584
288,180680295239	1,310848
294,540252189542	1,3632
301,170400184523	1,415488
305,817070864309	1,467872
311,116409833652	1,520352
317,233191095451	1,57248
321,568620118628	1,624832
323,945614289162	1,677216
323,370111234372	1,729408
324,688260856535	1,781728
326,960736595053	1,834048
326,866702856714	1,8864
325,309094759448	1,94064
327,854723856405	1,990976

328,845861830014	2,098272
326,479930501468	2,152704
322,851505481772	2,20288
319,489035682689	2,255296
317,016133580051	2,307552
314,06666433709	2,35984
311,834836709264	2,41216
310,767405243597	2,464512
310,282296299507	2,516864
308,763261703539	2,569152
309,737081018519	2,621504
309,470678537821	2,673952
309,385577908357	2,726144
308,318068653994	2,778432
307,854532996025	2,844448
307,170697976316	2,89872
309,617584577475	2,949024
311,925796459532	3,001408
314,68023188576	3,05344
316,034592969268	3,108
317,391014407005	3,158464
320,58652961974	3,210656
322,039424219299	3,262912
324,612842609757	3,315328
325,097909798949	3,422496
323,645741191946	3,474816
325,348874295032	3,527168
331,042016420461	3,579488
331,751709863374	3,631776
331,884494286923	3,684192
333,987362364724	3,736224
338,259622746529	3,788832
339,275691560564	3,84112
339,491554707896	3,895488
343,839850945072	3,94576

349,385565634919	3,997984
350,204736944032	4,0504
353,130696393357	4,104672
360,585409381486	4,210016
364,802839325018	4,270496
371,04882259067	4,322784
381,853684663146	4,375072
388,612640483806	4,427424
391,020379020043	4,479776
396,459848925874	4,53216
404,080266410177	4,584512
410,516656624293	4,636736
414,301015649481	4,688992
416,442471358731	4,741472
418,234943691615	4,79376
419,854957836796	4,846048
417,277769147233	4,90032
418,867752100454	5,005568
421,230020334512	5,066144

14.5. Listagem do Software de Apresentação de Resultados

A listagem do programa em Visual Basic 5,0 para demonstração e apresentação do teste de WinGate, além de aquisição e controle de dados.

'Definição das Variáveis Globais

Dim Arr() As Byte 'Variável de Armazenamento do Buffer de Entrada da Serial

Dim FlagObterDados, ArquivoSelecioneado, WingateTest As Boolean

Dim Corrente, Tempo, VTorque(16), VOmega(16) As Double

Dim MOmega, MTorque As Double

Private Sub cmdIniciar_Click()

 If ArquivoSelecioneado = True Then

 Close #1

 Open CommonDialog1.filename For Output As #1

 Print #1, " Potencia"; Tab; "Tempo"

 Else

 MsgBox ("O Arquivo de Saída não foi selecionado")

 Exit Sub

End If

If Serial.PortOpen = False Then Serial.PortOpen = True

'Inicialização das variáveis globais

For i = 0 To 15

 VOmega(i) = 65535

 VTorque(i) = 0

Next i

MOmega = 65535

MTorque = 0

Tempo = 0

FlagObterDados = False

'Verificação dos Valores de Massa

```
If Val(txtMassa.Text) > 120 Or Val(txtMassa.Text) = 0 Then  
    MsgBox ("Valor de Massa incorreto")  
    Exit Sub  
End If
```

'Definição do parâmetro corrente de controle

```
Corrente = Val(txtMassa.Text) / 2 + 50
```

'Inicialização e boot da placa de Aquisição e Controle

```
Serial.Output = "R"  
Serial.Output = "R"  
Serial.Output = "R"  
Serial.Output = "B" + Chr$(30) 'Carga padrão inicial de valor 30'
```

```
lblTimeAquecimento.Caption = "15"  
lblTimeWingate.Caption = "30"  
frmWingate.Refresh  
frmWingate.DrawWidth = 2  
frmWingate.Line (360, 6840)-(360, 6840)
```

'Habilitação do Timer de Aquecimento para Início do Teste

```
timerAquecimento.Enabled = True  
End Sub
```

```
Private Sub cmdInterromper_Click()
```

'Resetar todos os parâmetros e timers

```
timerAquecimento.Enabled = False  
timerDesaquecimento.Enabled = False  
timerControle.Enabled = False  
timerWingate.Enabled = False  
Serial.RThreshold = 1  
If Serial.PortOpen = True Then Serial.Output = "R"
```

```
Serial.RThreshold = 7  
Close #1  
End Sub
```

```
Private Sub cmdSelecionar_Click()  
    'Selecionar arquivo de gravação do teste  
    CommonDialog1.ShowOpen  
    ArquivoSelecionado = True  
End Sub
```

```
Private Sub Serial_OnComm()  
    Dim Buffer As Variant  
    Select Case Serial.CommEvent  
        'Evento de entrada no buffer da serial  
        Case comEvReceive  
            Buffer = Serial.Input  
            Arr = Buffer  
            'Caso tenham sido requisitados dados  
            If FlagObterDados = True Then  
                'Tratamento dos dados de chegada  
                TratarDados  
                FlagObterDados = False  
            End If  
        End Select  
    End Sub
```

```
End Sub
```

```
'Timer de Aquecimento
```

```
Private Sub timerAquecimento_Timer()
```

```
    lblTimeAquecimento.Caption = lblTimeAquecimento.Caption - 1
```

```
    'Início da carga de teste
```

```
If lblTimeAquecimento.Caption = 1 Then Serial.Output = "B" +  
Chr$(Corrente)
```

```
If lblTimeAquecimento.Caption = 0 Then
```

```
    timerAquecimento.Enabled = False
```

```
    Serial.RThreshold = 7
```

```
    timerControle.Enabled = True
```

```
    timerWingate.Enabled = True
```

```
End If
```

```
End Sub
```

'Timer de Desaquecimento

```
Private Sub timerDesaquecimento_Timer()
```

```
    lblTimeAquecimento.Caption = lblTimeAquecimento.Caption - 1
```

```
    If lblTimeAquecimento.Caption = 0 Then
```

```
        timerDesaquecimento.Enabled = False
```

```
        Serial.RThreshold = 1
```

```
        Serial.Output = "R"
```

```
        Serial.RThreshold = 7
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

'Timer do Teste WinGate

```
Private Sub timerWingate_Timer()
```

```
    lblTimeWingate.Caption = lblTimeWingate.Caption - 1
```

```
    timerControle.Enabled = True
```

```
    If lblTimeWingate.Caption = 0 Then
```

```
        timerWingate.Enabled = False
```

```
        timerControle.Enabled = False
```

```
        lblTimeAquecimento.Caption = "15"
```

```
        timerDesaquecimento.Enabled = True
```

```
        Serial.RThreshold = 1
```

```
        Serial.Output = "B" + Chr$(30) 'Carga de Desaquecimento 30
```

```
        Serial.RThreshold = 7
```

```
        Close #1
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub timerControle_Timer()
```

```
    'Requisição de dados à placa
```

```
    FlagObterDados = True
```

```
    Serial.Output = "?"
```

```
End Sub
```

```
'Procedimento de Tratamento dos dados de entrada
```

```
Private Sub TratarDados()
```

```
Dim temp, Omega, Potencia, IntervaloTempo As Double
```

```
Dim GrafTempo, GrafPotencia As Integer
```

```
'Auxiliar para obtencao do período de rotação
```

```
temp = CDbl((256 * CDbl(Arr(2))) + CDbl(Arr(1)))
```

```
'Caso o período seja diferente de 0 ou do fundo de escala
```

```
If temp <> 0 And temp <> 65535 Then
```

```
'Rotina de atualização do vetor de filtro passa-baixa
```

```
For i = 15 To 1 Step -1
```

```
    VTorque(i) = VTorque(i - 1)
```

```
    VOmega(i) = VOmega(i - 1)
```

```
Next i
```

```
VOmega(0) = temp
```

```
VTorque(0) = Arr(3)
```

```
'Equalização dos valores segundo o filtro passa-baixa
```

```
MOmega = (VOmega(0) + VOmega(1) + VOmega(2) + VOmega(3) +  
VOmega(4) + VOmega(5) + VOmega(6) + VOmega(7) + VOmega(8) +  
VOmega(9) + VOmega(10) + VOmega(11) + VOmega(12) + VOmega(13) +  
VOmega(14) + VOmega(15)) / 16
```

```
MTorque = (VTorque(0) + VTorque(1) + VTorque(2) + VTorque(3) +  
VTorque(4) + VTorque(5) + VTorque(6) + VTorque(7) + VTorque(8) +  
VTorque(9) + VTorque(10) + VTorque(11) + VTorque(12) + VTorque(13) +  
VTorque(14) + VTorque(15)) / 16
```

```
'Cálculo da Potência em W
```

```
Potencia = CDbl(16169.96 * CDbl(MTorque) / CDbl(MOmega))
```

Else

Potencia = 0

End If

'Tratamento do intervalo de tempo entre 2 requisições para evento real-time

IntervaloTempo = CDbI((256 * CDbI(Arr(5)) + CDbI(Arr(4))) / 31250)

'Adequação dos valores de tempo e potência à escala do gráfico

GrafTempo = 360 + (CDbI(200 * CDbI(Tempo)))

GrafPotencia = 6840 - Int(CDbI(4 * CDbI(Potencia)))

'Atualização do Gráfico

frmWingate.Line -(GrafTempo, GrafPotencia), 250

'Impressão em arquivo de saída selecionado

Print #1, Potencia; Tab; Tempo

'Verificação de fundo de escala e atualização do tempo

If IntervaloTempo < 1 Then Tempo = Tempo + IntervaloTempo

End Sub

14.6. Listagem do Software Residente

O software residente está dividido em dois arquivos, um de corpo de programa (Final.asm) e outro de definições de variáveis(Header.asm), a listagem de ambos segue abaixo:

14.6.1. Header.asm:

```
; =====
; CONSTANTES
; =====

; ***** HARDWARE *****
; port A
; =====
;      label      valor      I/O   descricao
;      =====
.equ  DATA0      =0          ; O    D/A data 0
.equ  DATA1      =1          ; O    D/A data 1
.equ  DATA2      =2          ; O    D/A data 2
.equ  DATA3      =3          ; O    D/A data 3
.equ  DATA4      =4          ; O    D/A data 4
.equ  DATA5      =5          ; O    D/A data 5
.equ  DATA6      =6          ; O    D/A data 6
.equ  DATA7      =7          ; O    D/A data 7

; port C
; =====
;      label      valor      I/O   descricao
;      =====
.equ  ADDR0       =0          ; O    D/A address 0
.equ  ADDR1       =1          ; O    D/A address 1
.equ  LATCH0      =2          ; O    D/A latch 0
.equ  LATCH1      =3          ; O    D/A latch 1
.equ  BRAKE       =4          ; O    brake

.equ  STX         ='S'
.equ  ETX         ='E'
.equ  ENQ         ='?'
```



```
.equ  RST      ='R'
.equ  VER      ='v'
.equ  BRK      ='B'
.equ  VERSAO   ='V'
.equ  ACK      ='!'
.equ  NAK      ='@'
```

```
; =====
; REGISTRADORES
; =====
```

	label	registrador	descricao
	=====	=====	=====
.def	temp1	=r16	; auxiliar
.def	SG	=r17	; valor do AD (strain gage)
.def	BRKC	=r18	; corrente no freio
.def	PLSB	=r19	; delta T do encoder (low)
.def	PMSB	=r20	; delta T do encoder (high)
.def	shaC	=r21	; shadow do port C
.def	CNT	=r22	; contador auxiliar CNT0
.def	TLSB	=r23	; tempo decorrido (low)
.def	TMSB	=r24	; tempo decorrido (high)
.def	temp2	=r25	; auxiliar

14.6.2. Final.asm

```
.include "8515def.inc"
.include "header.asm"
; =====
; VETORES DE INTERRUPCAO
; =====
.org 0x0000
    rjmp  BOOT
.org INT0addr
    rjmp  INT_SENSOR
.org OVF1addr
    rjmp  INT_TMR1
.org OVF0addr
    rjmp  INT_TMR0
.org URXCaddr
```

```
rjmp    INT_SERIAL
; =====
; MACROS
; =====

.macro UPDATE_AD                                ; atualiza referencia do A/D
        cbr     shaC, (1<<ADDR0)+(1<<ADDR1)
        out     PORTC, shaC
        out     PORTA, SG
        cbr     shaC, (1<<LATCH0)
        out     PORTC, shaC
        sbr     shaC, (1<<LATCH0)
        out     PORTC, shaC
        cbr     shaC, (1<<LATCH1)              ; "mostra" os novos niveis de corrente
        out     PORTC, shaC                    ; para as pontes H
        sbr     shaC, (1<<LATCH1)
        out     PORTC, shaC
        nop                                           ; tempo para estabilizar saida do D/A
        nop
        nop
        nop
        nop
        nop
        nop
        nop
        nop
        nop
        nop
        nop
        nop
        nop
        nop
        nop
        nop
        nop
        .endmacro

.macro UPDATE_BRK                               ; atualiza referencia do freio
        cbr     shaC, (1<<ADDR1)
        sbr     shaC, (1<<ADDR0)
        out     PORTC, shaC
        out     PORTA, BRKC
        cbr     shaC, (1<<LATCH0)
        out     PORTC, shaC
        sbr     shaC, (1<<LATCH0)
        out     PORTC, shaC
```

```

        cbr    shaC, (1<<LATCH1)                ; "mostra" os novos níveis de corrente
        out    PORTC, shaC                        ; para as pontes H
        sbr    shaC, (1<<LATCH1)
        out    PORTC, shaC
    .endmacro

; =====
; CORPO PRINCIPAL
; =====
; rotina de inicializacao
;
; inicializa parametros internos, registradores e variaveis
BOOT:
        cli                                ; DI geral

        ser    temp1
        out    DDRA, temp1                ; porta de dados
        clr    temp1
        out    PORTA, temp1

        clr    temp1                        ; porta do comparador
        out    DDRB, temp1
        out    PORTB, temp1

        ser    temp1
        out    DDRC, temp1                ; porta de comando
        ldi    shaC, (1<<LATCH0)+(1<<LATCH1)
        out    PORTC, shaC

        clr    temp1
        out    DDRD, temp1
        ser    temp1
        out    PORTD, temp1

        ldi    temp1, high(RAMEND)        ; inicializa SP
        out    SPH, temp1
        ldi    temp1, low(RAMEND)
        out    SPL, temp1

        ldi    temp1, (1<<ISC01)          ; no SRAM/SRW/SLEEP/SM INTO =
        falling edge
        out    MCUCR, temp1

```

```

ldi    temp1, (1<<CS02)
out    TCCR0, temp1                ; timer 0: CK/256
clr    temp1
out    TCNT0, temp1

clr    temp1
out    TCCR1A, temp1                ; timer 1: no PWM,
disconnected from OC1x
ldi    temp1, (1<<CS11)+(1<<CS10)    ; timer 1: CK/64
out    TCCR1B, temp1
clr    temp1
out    TCNT1H, temp1                ; timer 1 = 0
out    TCNT1L, temp1

ldi    temp1, 25                    ; baud rate = 19200
out    UBRR, temp1

ldi    temp1, (1<<INT0)                ; INT0 externas = on
out    GIMSK, temp1
ldi    temp1, (1<<TOIE1)+(1<<TOIE0)    ; OVF1, OVF0 = enabled
out    TIMSK, temp1
ldi    temp1, (1<<TXEN)+(1<<RXEN)+(1<<RXCIE) ; TX, RX = enable, RXint =
enable
out    UCR, temp1

clr    SG
clr    BRKC
clr    PLSB
clr    PMSB
clr    CNT
UPDATE_AD
UPDATE_BRK

sei                                ; EI

ldi    temp1, ACK
rcall  TX_BYTE

LOOP: rjmp  LOOP                    ; loop infinito

```

; rotina de interrupcao do sensor

INT_SENSOR:

```
cli                                ; DI
push temp1
in temp1, SREG
push temp1
in PLSB, TCNT1L
in PMSB, TCNT1H
clr temp1
out TCNT1H, temp1
out TCNT1L, temp1
ldi temp1, (1<<CS11)+(1<<CS10)    ; timer 1: CK/64
out TCCR1B, temp1
pop temp1
out SREG, temp1
pop temp1
sei
reti
```

; rotina de interrupcao do timer 0

INT_TMR0:

```
cli
push temp1
in temp1, SREG
push temp1
cpi CNT, 0xff
breq IT0_1
inc CNT
```

IT0_1:

```
pop temp1
out SREG, temp1
pop temp1
sei
reti
```

; rotina de interrupcao do timer 1

INT_TMR1:

```
cli                                ; DI
```

```
push    temp1
in      temp1, SREG
push    temp1
clr     temp1                ; timer 1: off
out     TCCR1B, temp1
out     TCNT1H, temp1
out     TCNT1L, temp1
ser     PLSB
ser     PMSB
pop     temp1
out     SREG, temp1
pop     temp1
sei
reti
```

; rotina de conversao A/D

SAMPLE:

```
ldi     SG,128
UPDATE_AD
ldi     temp1, 64
in      temp2, ACSR
sbrc    temp2, ACO
ldi     temp1, 192
sub     SG, temp1
UPDATE_AD
ldi     temp1, 32
in      temp2, ACSR
sbrc    temp2, ACO
ldi     temp1, 224
sub     SG, temp1
UPDATE_AD
ldi     temp1, 16
in      temp2, ACSR
sbrc    temp2, ACO
ldi     temp1, 240
sub     SG, temp1
UPDATE_AD
ldi     temp1, 8
in      temp2, ACSR
sbrc    temp2, ACO
ldi     temp1, 248
```

```

sub    SG, temp1
UPDATE_AD
ldi    temp1, 4
in     temp2, ACSR
sbrc   temp2, ACO
ldi    temp1, 252
sub    SG, temp1
UPDATE_AD
ldi    temp1, 2
in     temp2, ACSR
sbrc   temp2, ACO
ldi    temp1, 254
sub    SG, temp1
UPDATE_AD
ldi    temp1, 1
in     temp2, ACSR
sbrc   temp2, ACO
ldi    temp1, 255
sub    SG, temp1
UPDATE_AD
ldi    temp1, 1
in     temp2, ACSR
sbrc   temp2, ACO
ldi    temp1, 0
sub    SG, temp1
ret

```

; rotina de interrupcao de recepcao de byte na serial

INT_SERIAL:

```

cli                                ; DI
push    temp1
in      temp1, SREG
push    temp1
in      temp1, UDR                ; pega byte recebido
cpi     temp1, ENQ
breq    TX_INF
cpi     temp1, RST
brne    IS_1
rcall   BOOT

```

IS_1:

```
    cpi    temp1, VER
    breq   TX_VER
    cpi    temp1, BRK
    breq   RX_BRK
    ldi    temp1, NAK
    rcall  TX_BYTE
```

SERIAL_FIM:

```
    pop    temp1
    out    SREG, temp1
    pop    temp1
    sei
    reti
```

TX_VER:

```
    ldi    temp1, VERSAO
    rcall  TX_BYTE
    rjmp   SERIAL_FIM
```

TX_INF:

```
    rcall  SAMPLE
    ldi    temp1, STX
    rcall  TX_BYTE
    in     temp1, TCNT0
    mov    TMSB, CNT
    cpi    TMSB, 0xff
    bne    TI_1
    ser    temp1
```

TI_1:

```
    mov    TLSB, temp1
    mov    temp1, PLSB
    rcall  TX_BYTE
    mov    temp1, PMSB
    rcall  TX_BYTE
    mov    temp1, SG
    rcall  TX_BYTE
    mov    temp1, TLSB
    rcall  TX_BYTE
    mov    temp1, TMSB
    rcall  TX_BYTE
    ldi    temp1, ETX
    rcall  TX_BYTE
```



```
rjmp SERIAL_FIM
```

```
RX_BRK:
```

```
in    temp1, USR
sbrs  temp1, RXC
rjmp  RX_BRK
in    BRKC, UDR
cbr   shaC, (1<<BRAKE)
cpi   BRKC, 0x00
bme   RB_1
sbr   shaC, (1<<BRAKE)
```

```
RB_1:
```

```
UPDATE_BRK
ldi   temp1, ACK
rcall TX_BYTE
rjmp  SERIAL_FIM
```

```
; rotina de transmissao de 1 byte
```

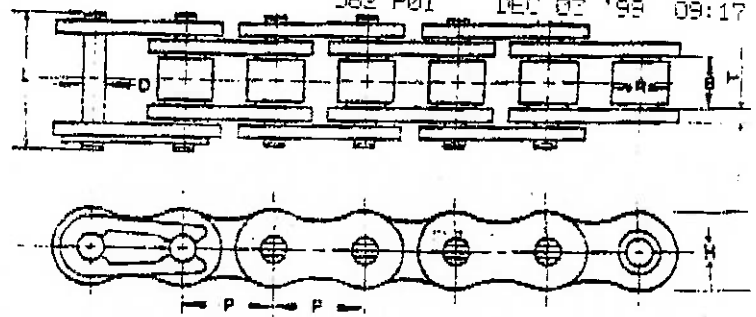
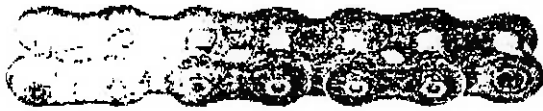
```
TX_BYTE:
```

```
push  temp1
```

```
TX_LOOP:
```

```
in    temp1, USR
sbrs  temp1, UDRE
rjmp  TX_LOOP
pop   temp1
out   UDR, temp1
ret
```

14.7. Catálogo de Correntes



**CORRENTE DE ROLO NORMA EUROPÉIA BS (DIN) BS-228 - ISO 606
DIN - 8187**

CORTOSAN Nº	P PASSO	R DIÂMETRO DO ROLO	B LARGURA ENTRE PLACAS	PLACAS ESPESSURA T	ALTURA -H-	D PINOS L DIÂM.	COMPRIM.	CARGA DE RUPTURA KG/F	PESO KG/M
CO-6	6 m/m	4 m/m	3 m/m	0,80	5 m/m	1,85 m/m	8,4 m/m	300	0,13
CO-8	8 m/m	5 m/m	3 m/m	0,75	7,1 m/m	2,31 m/m	10,1 m/m	470	0,19
CO-08B	3/8"	6,35 m/m	5,72	1,27	8,2	3,28	14,0	1.050	0,39
CO-08B	1/2"	8,51	7,75	1,5	11,8	4,45	18,4	2.000	0,70
CO-10B	5/8"	10,16	9,65	1,5	14,7	5,08	20,8	2.650	0,95
CO-12B	3/4"	12,07	11,68	1,80	16,1	5,72	24,2	3.400	1,25
CO-16B	1"	15,88	17,02	4,0	21,0	8,28	37,8	7.500	2,70
CO-20B	1 1/4"	19,05	19,56	4,5	26,0	10,19	43,25	11.000	3,85
CO-24B	1 1/2"	25,40	25,40	6,0	33,4	14,63	58,15	19.000	7,45
CO-28B	1 3/4"	27,94	30,99	7,5	36,4	15,90	69,30	22.000	9,45
CO-32B	2"	29,21	30,99	7,0	42,2	17,81	69,80	28.600	102,5
CO-40B	2 1/2"	39,37	38,10	8,5	52,9	22,89	84,3	40.000	18,35

**CORRENTE DE ROLO NORMA AMERICANA ANSI (ASA) ANSI - B29.1
ISO - 606 - DIN 8188**

CORTOSAN Nº	P PASSO	R DIÂMETRO DO ROLO	B LARGURA ENTRE PLACAS	PLACAS ESPESSURA T	ALTURA -H-	D PINOS L DIÂM.	COMPRIM.	CARGA DE RUPTURA KG/F	PESO KG/M
CO-25	1/4"	3,3	3,18	0,75	5,84	2,31	9,1	480	0,14
CO-35	3/8"	5,08	4,76	1,25	9,0	3,59	12,7	1.150	0,33
CO-41	1/2"	7,77	6,38	1,25	9,7	3,59	14,7	1.200	0,41
CO-40	1/2"	7,94	7,95	1,5	12,0	3,97	18,2	1.950	0,64
CO-50	5/8"	10,16	8,53	2,0	15,0	5,09	22,3	3.200	1,04
CO-60	3/4"	11,91	12,70	2,4	18,1	5,96	27,6	4.500	1,53
CO-80	1"	15,88	15,88	3,2	24,1	7,94	35,5	8.000	2,66
CO-100	1 1/4"	19,05	19,05	4,0	30,1	9,54	42,6	12.000	3,99
CO-120	1 1/2"	22,23	25,40	4,8	36,2	11,11	53,8	17.000	5,93
CO-140	1 3/4"	25,40	25,40	5,6	42,2	12,71	58,6	22.000	7,49
CO-160	2"	28,58	31,75	6,4	48,2	14,29	68,7	27.500	10,10
CO-180	2 1/4"	35,71	35,72	7,15	54,2	17,46	78,1	36.500	13,45
CO-200	2 1/2"	39,69	38,10	8,0	60,3	19,85	83,8	47.000	16,49
CO-240	3"	47,63	47,63	9,5	72,4	23,81	103,4	69.000	24,5

ELOS PARA CORRENTE DE ROLO

Elo Externo	Elo Interno	Emenda Trava	Redução	Redução com elo interno

14.8. Catálogo de Correias

PowerGrip^(R) GT^(R)/HTD^(R) BeltsMarkets/Applications

- Office Machines
- Machine Tools
- Postage Handling Equipment
- Sewing Machines
- Vending Machines
- Agriculture
- Outdoor Power Equipment
- Wood & Paper
- Sand & Gravel
- Oil Fields
- Food Processing
- HVAC

Features/Advantages

- Compact Drive
- Light Weight

Features/Advantages (continued)

- Eliminates Lubrication
- Requires Minimal Maintenance
- Corrosion and Abrasion Resistant
- Precision Registration*
- Precise Fit
- Low Noise*
- Curvilinear Tooth*
- Metric Pitch

How to Describe and Order

Specify the quantity required followed by the part number.

Additional sizes may be available on a Made-To-Order basis.

Check with Customer Service for availability.

*PowerGrip GT feature

Product No. Series 9390

Some PowerGrip GT belts are Standard/Non-Stock. Check with Customer Service for availability.

2mm Pitch Belts — 4mm Wide

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
2MR-100-04	9390-0050	50	3.94	.01
2MR-112-04	9390-0056	56	4.41	.01
2MR-126-04	9390-0063	63	4.96	.01
2MR-140-04	9390-0070	70	5.51	.01
2MR-152-04	9390-0076	76	5.98	.01
2MR-160-04	9390-0080	80	6.30	.01
2MR-166-04	9390-0083	83	6.54	.01
2MR-180-04	9390-0090	90	7.09	.01
2MR-200-04	9390-0100	100	7.87	.01
2MR-210-04	9390-0105	105	8.27	.01
2MR-216-04	9390-0108	108	8.50	.01
2MR-232-04	9390-0166	116	9.13	.01
2MR-250-04	9390-0125	125	9.84	.01
2MR-280-04	9390-0140	140	11.02	.01
2MR-300-04	9390-0150	150	11.81	.01
2MR-320-04	9390-0160	160	12.60	.01

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
2MR-350-04	9390-0175	175	13.78	.01
2MR-364-04	9390-0182	182	14.33	.01
2MR-386-04	9390-0193	193	15.20	.01
2MR-400-04	9390-0200	200	15.75	.01
2MR-456-04	9390-0228	228	17.95	.01
2MR-470-04	9390-0235	235	18.50	.01
2MR-488-04	9390-0244	244	19.21	.01
2MR-504-04	9390-0252	252	19.84	.01
2MR-528-04	9390-0264	264	20.79	.01
2MR-552-04	9390-0276	276	21.73	.01
2MR-576-04	9390-0288	288	22.68	.01
2MR-600-04	9390-0300	300	23.62	.01
2MR-640-04	9390-0320	320	25.20	.01
2MR-696-04	9390-0348	348	27.40	.01
2MR-744-04	9390-0372	372	29.29	.01



PowerGrip[®] GT[®] Belts (continued)

Product No. Series 9390 (continued)

3mm Pitch Belts — 9mm Wide

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
3MR-165-09	9390-4055	55	6.50	.01
3MR-189-09	9390-4063	63	7.44	.01
3MR-201-09	9390-4067	67	7.91	.01
3MR-225-09	9390-4075	75	8.86	.01
3MR-240-09	9390-4080	80	9.45	.01
3MR-267-09	9390-4089	89	10.51	.01
3MR-282-09	9390-4094	94	11.10	.02
3MR-300-09	9390-4100	100	11.81	.02
3MR-339-09	9390-4113	113	13.35	.02
3MR-375-09	9390-4125	125	14.76	.02
3MR-420-09	9390-4140	140	16.54	.02

Some PowerGrip GT belts are Standard/Non-Stock. Check with Customer Service for availability.

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
3MR-450-09	9390-4150	150	17.72	.02
3MR-480-09	9390-4160	160	18.90	.03
3MR-537-09	9390-4179	179	21.14	.03
3MR-600-09	9390-4200	200	23.62	.03
3MR-630-09	9390-4210	210	24.80	.03
3MR-684-09	9390-4228	228	26.93	.04
3MR-750-09	9390-4250	250	29.53	.04
3MR-840-09	9390-4280	280	33.07	.05
3MR-945-09	9390-4315	315	37.20	.05
3MR-1050-09	9390-4350	350	41.34	.06

3mm Pitch Belts — 15mm Wide

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
3MR-165-15	9390-5055	55	6.50	.02
3MR-189-15	9390-5063	63	7.44	.02
3MR-201-15	9390-5067	67	7.91	.02
3MR-225-15	9390-5075	75	8.86	.02
3MR-240-15	9390-5080	80	9.45	.02
3MR-267-15	9390-5089	89	10.51	.02
3MR-282-15	9390-5094	94	11.10	.03
3MR-300-15	9390-5100	100	11.81	.03
3MR-339-15	9390-5113	113	13.35	.03
3MR-375-15	9390-5125	125	14.76	.03
3MR-420-15	9390-5140	140	16.54	.04

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
3MR-450-15	9390-5150	150	17.72	.04
3MR-480-15	9390-5160	160	18.90	.04
3MR-537-15	9390-5179	179	21.14	.05
3MR-600-15	9390-5200	200	23.62	.06
3MR-630-15	9390-5210	210	24.80	.06
3MR-684-15	9390-5228	228	26.93	.06
3MR-750-15	9390-5250	250	29.53	.07
3MR-840-15	9390-5280	280	33.07	.08
3MR-945-15	9390-5315	315	37.20	.09
3MR-1050-15	9390-5350	350	41.34	.10

5mm Pitch Belts — 9mm Wide

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
5MR-300-09	9390-6060	60	11.81	.02
5MR-355-09	9390-6071	71	13.98	.03
5MR-375-09	9390-6075	75	14.76	.03
5MR-400-09	9390-6080	80	15.75	.03
5MR-425-09	9390-6085	85	16.73	.03
5MR-450-09	9390-6090	90	17.72	.04
5MR-500-09	9390-6100	100	19.69	.04
5MR-535-09	9390-6107	107	21.06	.04
5MR-565-09	9390-6113	113	22.24	.05
5MR-600-09	9390-6120	120	23.62	.05
5MR-650-09	9390-6130	130	25.59	.05

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
5MR-700-09	9390-6140	140	27.56	.06
5MR-750-09	9390-6150	150	29.53	.06
5MR-800-09	9390-6160	160	31.50	.07
5MR-900-09	9390-6180	180	35.43	.07
5MR-1000-09	9390-6200	200	39.37	.08
5MR-1150-09	9390-6230	230	45.28	.09
5MR-1300-09	9390-6260	260	51.18	.11
5MR-1450-09	9390-6290	290	57.09	.12
5MR-1600-09	9390-6320	320	62.99	.13
5MR-1720-09	9390-6344	344	67.72	.14
5MR-2100-09	9390-6420	420	82.67	.17





PowerGrip™ GT Belts (continued)

Product No. Series 9390 (continued)

Some PowerGrip GT belts are Standard/Non-Stock. Check with Customer Service for availability.

15mm Pitch Belts — 15mm Wide

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
5MR-300-15	9390-7060	60	11.81	.04
5MR-355-15	9390-7071	71	13.98	.05
5MR-375-15	9390-7075	75	14.76	.05
5MR-400-15	9390-7080	80	15.75	.05
5MR-425-15	9390-7085	85	16.73	.06
5MR-450-15	9390-7090	90	17.72	.06
5MR-500-15	9390-7100	100	19.69	.07
5MR-535-15	9390-7107	107	21.06	.07
5MR-565-15	9390-7113	113	22.24	.08
5MR-600-15	9390-7120	120	23.62	.08
5MR-650-15	9390-7130	130	25.59	.09

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
5MR-700-15	9390-7140	140	27.56	.09
5MR-750-15	9390-7150	150	29.53	.10
5MR-800-15	9390-7160	160	31.50	.11
5MR-900-15	9390-7180	180	35.43	.12
5MR-1000-15	9390-7200	200	39.37	.14
5MR-1150-15	9390-7230	230	45.28	.16
5MR-1300-15	9390-7260	260	51.18	.18
5MR-1450-15	9390-7290	290	57.09	.20
5MR-1600-15	9390-7320	320	62.99	.22
5MR-1720-15	9390-7344	344	67.72	.23
5MR-2100-15	9390-7420	420	82.67	.28

25mm Pitch Belts — 25mm Wide

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
5MR-300-25	9390-8060	60	11.81	.07
5MR-355-25	9390-8071	71	13.98	.08
5MR-375-25	9390-8075	75	14.76	.08
5MR-400-25	9390-8080	80	15.75	.09
5MR-425-25	9390-8085	85	16.73	.10
5MR-450-25	9390-8090	90	17.72	.10
5MR-500-25	9390-8100	100	19.69	.11
5MR-535-25	9390-8107	107	21.06	.12
5MR-565-25	9390-8113	113	22.24	.13
5MR-600-25	9390-8120	120	23.62	.14
5MR-650-25	9390-8130	130	25.59	.15

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
5MR-700-25	9390-8140	140	27.56	.16
5MR-750-25	9390-8150	150	29.53	.17
5MR-800-25	9390-8160	160	31.50	.18
5MR-900-25	9390-8180	180	35.43	.20
5MR-1000-25	9390-8200	200	39.37	.23
5MR-1150-25	9390-8230	230	45.28	.26
5MR-1300-25	9390-8260	260	51.18	.29
5MR-1450-25	9390-8290	290	57.09	.33
5MR-1600-25	9390-8320	320	62.99	.36
5MR-1720-25	9390-8344	344	67.72	.39
5MR-2100-25	9390-8420	420	82.67	.47



PowerGripTM GT[®] Belts (continued)

Product No. Series 9395

8mm Pitch Belts — 20mm Wide

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
480-8M-20GT	9395-9001	60	18.89	.13
560-8M-20GT	9395-9005	70	22.05	.16
600-8M-20GT	9395-9009	75	23.62	.17
640-8M-20GT	9395-9013	80	25.20	.18
720-8M-20GT	9395-9017	90	28.35	.20
800-8M-20GT	9395-9021	100	31.50	.22
880-8M-20GT	9395-9025	110	34.65	.25
960-8M-20GT	9395-9029	120	37.80	.27
1040-8M-20GT	9395-9033	130	40.94	.29
1120-8M-20GT	9395-9037	140	44.09	.31
1200-8M-20GT	9395-9041	150	47.24	.34
1280-8M-20GT	9395-9045	160	50.39	.36

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
1440-8M-20GT	9395-9049	180	56.69	.40
1600-8M-20GT	9395-9053	200	62.99	.45
1760-8M-20GT	9395-9057	220	69.29	.49
1800-8M-20GT	9395-9061	225	70.87	.50
2000-8M-20GT	9395-9065	250	78.74	.56
2400-8M-20GT	9395-9069	300	94.49	.67
2600-8M-20GT	9395-9077	325	102.36	.73
2800-8M-20GT	9395-9073	350	110.24	.78
3048-8M-20GT	9395-9081	381	120.00	.85
3280-8M-20GT	9395-9085	410	129.13	.92
3600-8M-20GT	9395-9089	450	141.73	1.01
4400-8M-20GT	9395-9093	550	173.23	1.23

8mm Pitch Belts — 30mm Wide

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
480-8M-30GT	9395-9002	60	18.89	.20
560-8M-30GT	9395-9006	70	22.05	.23
600-8M-30GT	9395-9010	75	23.62	.25
640-8M-30GT	9395-9014	80	25.20	.27
720-8M-30GT	9395-9018	90	28.35	.30
800-8M-30GT	9395-9022	100	31.50	.33
880-8M-30GT	9395-9026	110	34.65	.37
960-8M-30GT	9395-9030	120	37.80	.40
1040-8M-30GT	9395-9034	130	40.94	.43
1120-8M-30GT	9395-9038	140	44.09	.47
1200-8M-30GT	9395-9042	150	47.24	.50
1280-8M-30GT	9395-9046	160	50.39	.53

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
1440-8M-30GT	9395-9050	180	56.69	.60
1600-8M-30GT	9395-9054	200	62.99	.67
1760-8M-30GT	9395-9058	220	69.29	.73
1800-8M-30GT	9395-9062	225	70.87	.75
2000-8M-30GT	9395-9066	250	78.74	.83
2400-8M-30GT	9395-9070	300	94.49	1.00
2600-8M-30GT	9395-9078	325	102.36	1.09
2800-8M-30GT	9395-9074	350	110.24	1.17
3048-8M-30GT	9395-9082	381	120.00	1.27
3280-8M-30GT	9395-9086	410	129.13	1.37
3600-8M-30GT	9395-9090	450	141.73	1.51
4400-8M-30GT	9395-9094	550	173.23	1.84

8mm Pitch Belts — 50mm Wide

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
480-8M-50GT	9395-9003	60	18.89	.34
560-8M-50GT	9395-9007	70	22.05	.39
600-8M-50GT	9395-9011	75	23.62	.42
640-8M-50GT	9395-9015	80	25.20	.45
720-8M-50GT	9395-9019	90	28.35	.50
800-8M-50GT	9395-9023	100	31.50	.56
880-8M-50GT	9395-9027	110	34.65	.61
960-8M-50GT	9395-9031	120	37.80	.67
1040-8M-50GT	9395-9035	130	40.94	.74
1120-8M-50GT	9395-9039	140	44.09	.78
1200-8M-50GT	9395-9043	150	47.24	.84
1280-8M-50GT	9395-9047	160	50.39	.89

Part No.	Product No.	No. of Teeth	Pitch Length (In.)	Wt. Ea. (Lbs.)
1440-8M-50GT	9395-9051	180	56.69	1.01
1600-8M-50GT	9395-9055	200	62.99	1.11
1760-8M-50GT	9395-9059	220	69.29	1.23
1800-8M-50GT	9395-9063	225	70.89	1.25
2000-8M-50GT	9395-9067	250	78.74	1.39
2400-8M-50GT	9395-9071	300	94.49	1.67
2600-8M-50GT	9395-9079	325	102.36	1.81
2800-8M-50GT	9395-9075	350	110.24	1.95
3048-8M-50GT	9395-9083	381	120.00	1.95
3280-8M-50GT	9395-9087	410	129.13	2.29
3600-8M-50GT	9395-9091	450	141.73	2.51
4400-8M-50GT	9395-9095	550	173.23	3.07



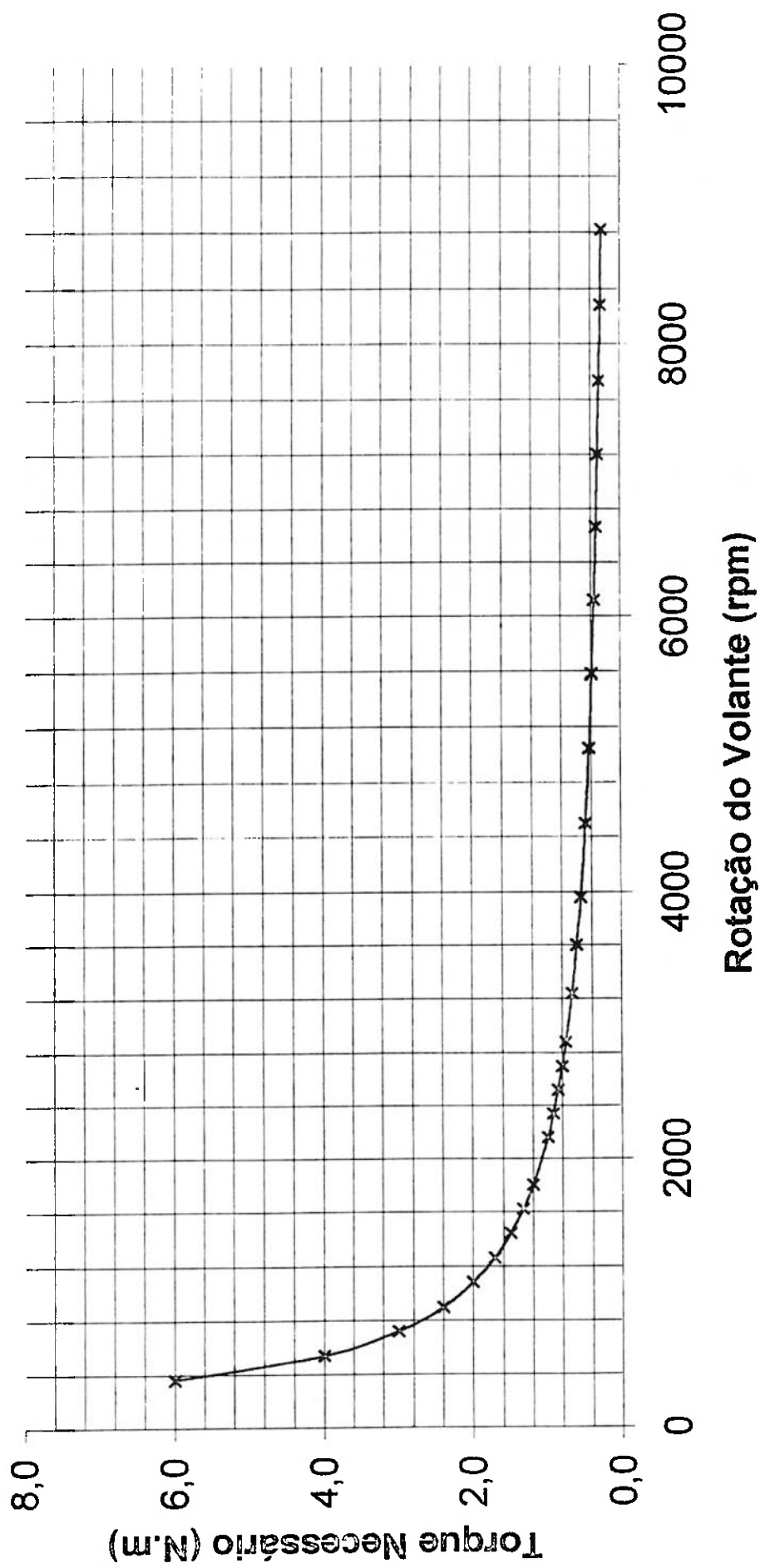
14.9. Tabela e Curvas para Escolha da Relação de Transmissão

Curva para a Seleção da Relação de Transmissão entre Pedivela e Freio

Peso do Atleta (kgf) Carga no Pedal (Kgf) Raio do pedivela (cm) Torque no Pedivela (kgf.cm) Rotação Máxima do Atleta (rpm)		Raio do Volante (cm) Largura do Volante (cm) Peso Específico do Aço (kg/cm ³) Momento Inércia Volante (Kg.cm ²) Tempo de Aceleração (s)			
80 8 15 120 180		4,5 4 7,80E-03 20,09668967 1			
Rotação do Volante (rpm)	Relação de Transmissão	Torque Necessário (kgf.cm)	Torque Necessário (N.m)	Força necessária pedal (kgf)	
360	2	60,000	6,0	0,05051	
540	3	40,000	4,0	0,07576	
720	4	30,000	3,0	0,10102	
900	5	24,000	2,4	0,12627	
1080	6	20,000	2,0	0,15152	
1260	7	17,143	1,7	0,17678	
1440	8	15,000	1,5	0,20203	
1620	9	13,333	1,3	0,22729	
1800	10	12,000	1,2	0,25254	
2160	12	10,000	1,0	0,30305	
2340	13	9,231	0,9	0,32830	
2520	14	8,571	0,9	0,35356	
2700	15	8,000	0,8	0,37881	
2880	16	7,500	0,8	0,40407	
3240	18	6,667	0,7	0,45457	
3600	20	6,000	0,6	0,50508	
3960	22	5,455	0,5	0,55559	
4500	25	4,800	0,5	0,63135	
5040	28	4,286	0,4	0,70711	
5580	31	3,871	0,4	0,78288	
6120	34	3,529	0,4	0,85864	
6660	37	3,243	0,3	0,93440	
7200	40	3,000	0,3	1,01016	
7740	43	2,791	0,3	1,08592	
8280	46	2,609	0,3	1,16169	
8820	49	2,449	0,2	1,23745	

Curva de Seleção da Rel. Trans.

Atleta: 80 Kgf Raio: 15 cm



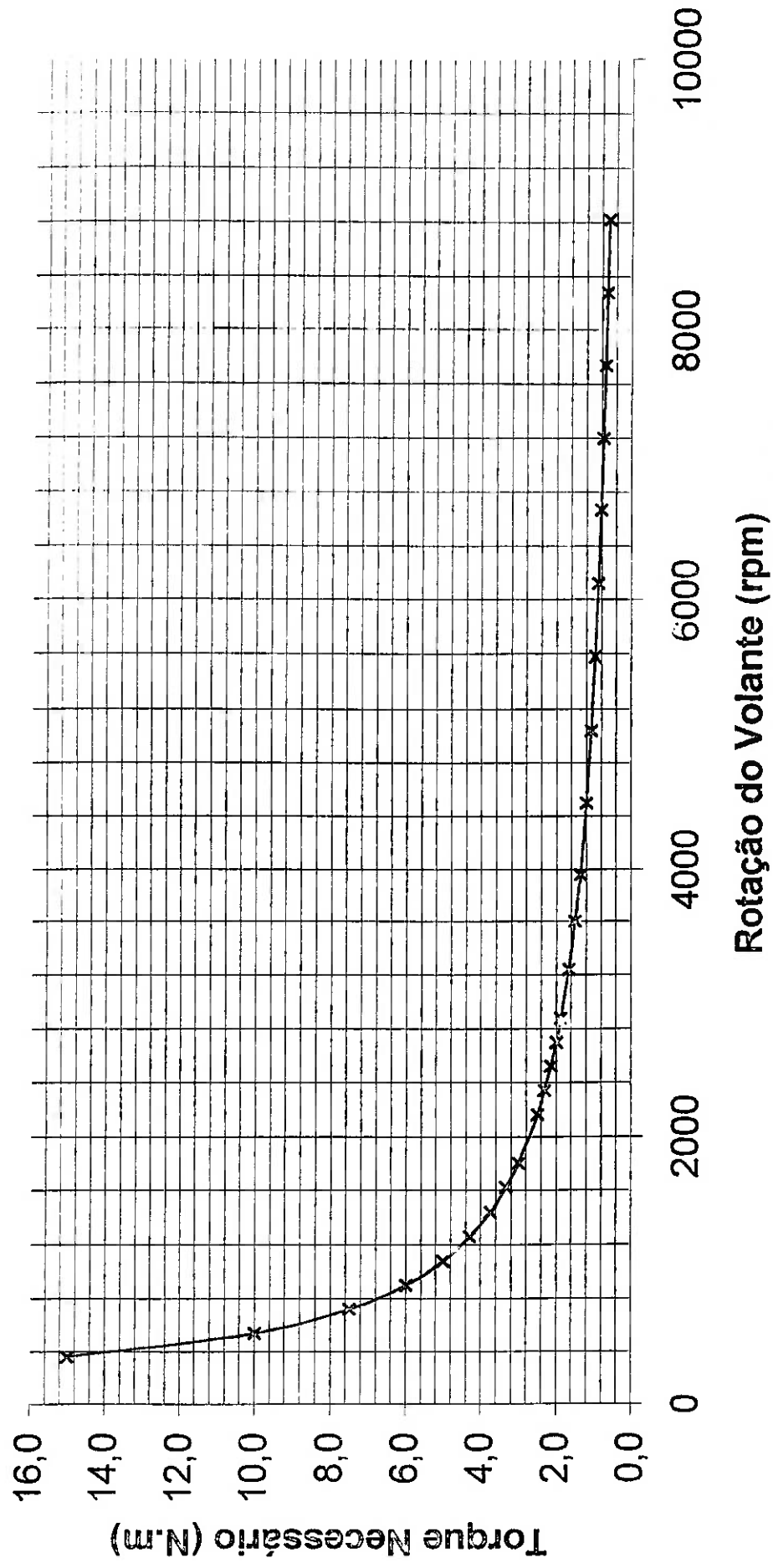
Curva para a Seleção da Relação de Transmissão entre Pedivela Freio

Peso do Atleta (kgf) Carga no Pedal (Kgf) Raio do pedivela (cm) Torque no Pedivela (Kgf.cm) Rotação Máxima do Atleta (rpm)		Raio do Volante (cm) Largura do Volante (cm) Peso Específico do Aço (kg/cm3) Momento Inércia Volante (Kg.cm2) Tempo de Aceleração (s)			
		120	4,5		
		12	4		
		25	7,80E-03		
		300	20,09668967		
		180	1		

Rotação do Volante (rpm)	Relação de Transmissão	Torque Necessário (kgf.cm)	Torque Necessário (N.m)	Força necessária pedal (kgf)
360	2	150,000	15,0	0,03030
540	3	100,000	10,0	0,04546
720	4	75,000	7,5	0,06061
900	5	60,000	6,0	0,07576
1080	6	50,000	5,0	0,09091
1260	7	42,857	4,3	0,10607
1440	8	37,500	3,8	0,12122
1620	9	33,333	3,3	0,13637
1800	10	30,000	3,0	0,15152
2160	12	25,000	2,5	0,18183
2340	13	23,077	2,3	0,19698
2520	14	21,429	2,1	0,21213
2700	15	20,000	2,0	0,22729
2880	16	18,750	1,9	0,24244
3240	18	16,667	1,7	0,27274
3600	20	15,000	1,5	0,30305
3960	22	13,636	1,4	0,33335
4500	25	12,000	1,2	0,37881
5040	28	10,714	1,1	0,42427
5580	31	9,677	1,0	0,46973
6120	34	8,824	0,9	0,51518
6660	37	8,108	0,8	0,56064
7200	40	7,500	0,8	0,60610
7740	43	6,977	0,7	0,65155
8280	46	6,522	0,7	0,69701
8820	49	6,122	0,6	0,74247

Curva de Seleção da Rel. Trans.

Atleta: 120 Kgf Raio: 25 cm



Dimensionamento da Transmissão por Engrenagens

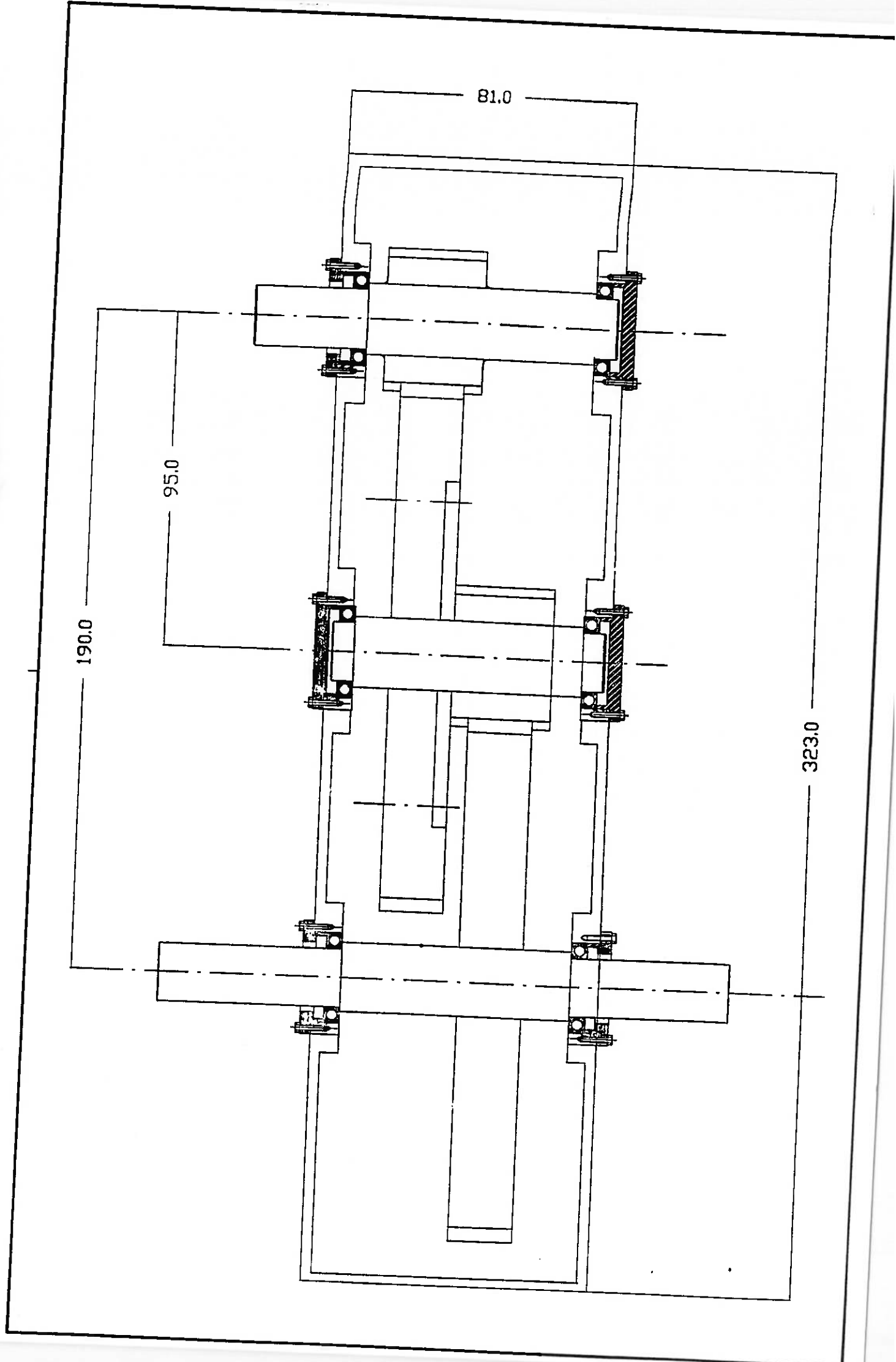
Rel. Transmissão por Par	3,75
No. Dentes Pinhões	20
No. Dentes Coroa	75
Material do Pinhão	Aço ABNT 1045
Tensão de Ruptura (kgf/cm ²)	1200
Material da Coroa	Nylon 66
Tensão de Ruptura (kgf/cm ²)	500
Torque no Pedivela (kgf.cm)	300
Fator de Serviço	1

Largura Engr. (cm)	2,0
--------------------	-----

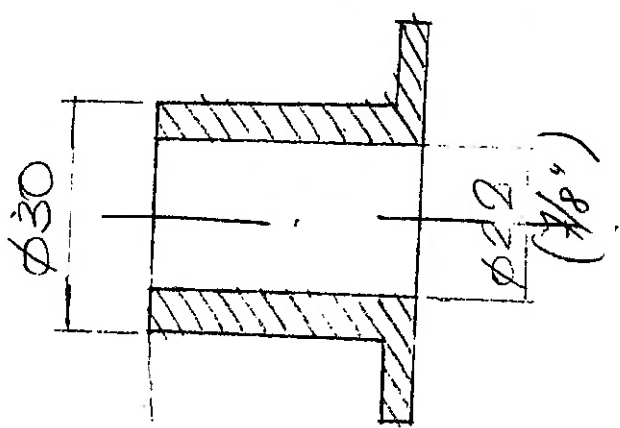
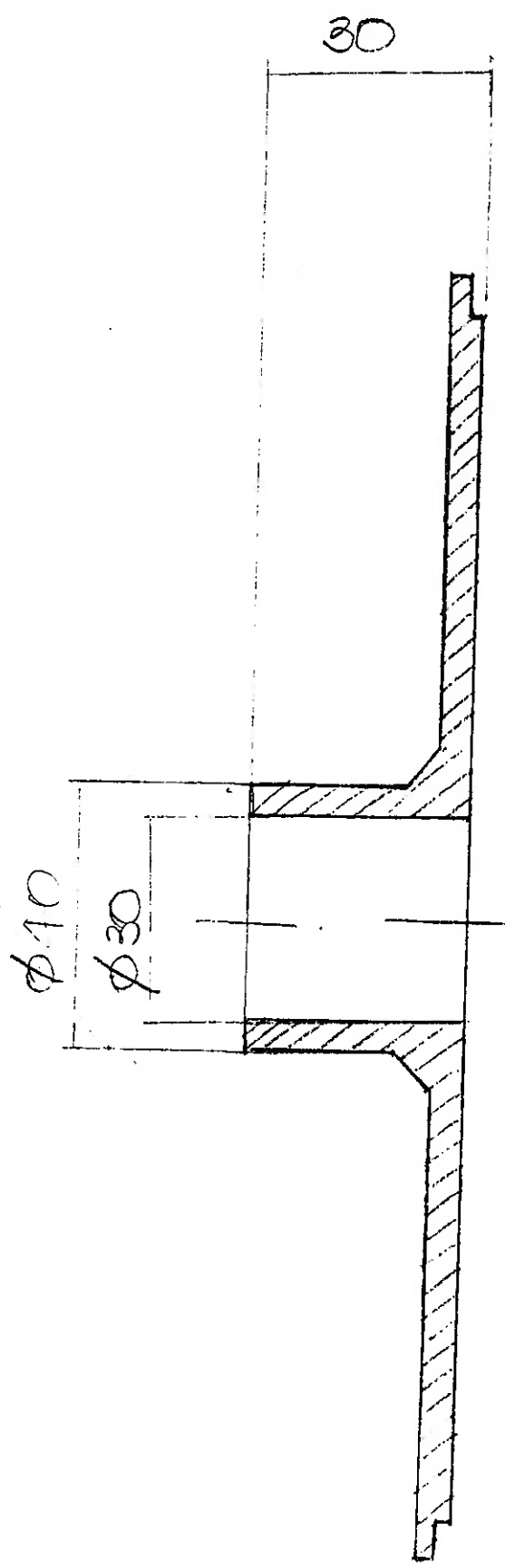
Módulo (mm)	Diâmetro Pinhão (cm)	Força Tangencial (kgf)	Diâmetro Coroa (cm)	Tensão Pinhão (kgf/cm ²)	Tensão Coroa (kgf/cm ²)	Entre-Eixos (cm)
0,20	0,40	750,0	1,50	60000,00	48750,00	0,95
0,40	0,80	375,0	3,00	15000,00	12187,50	1,90
0,60	1,20	250,0	4,50	6666,67	5416,67	2,85
0,80	1,60	187,5	6,00	3750,00	3046,88	3,80
1,00	2,00	150,0	7,50	2400,00	1950,00	4,75
1,25	2,50	120,0	9,38	1536,00	1248,00	5,94
1,50	3,00	100,0	11,25	1066,67	866,67	7,13
1,75	3,50	85,7	13,13	783,67	636,73	8,31
2,00	4,00	75,0	15,00	600,00	487,50	9,50
3,00	6,00	50,0	22,50	266,67	216,67	14,25
4,00	8,00	37,5	30,00	150,00	121,88	19,00
5,00	10,00	30,0	37,50	96,00	78,00	23,75

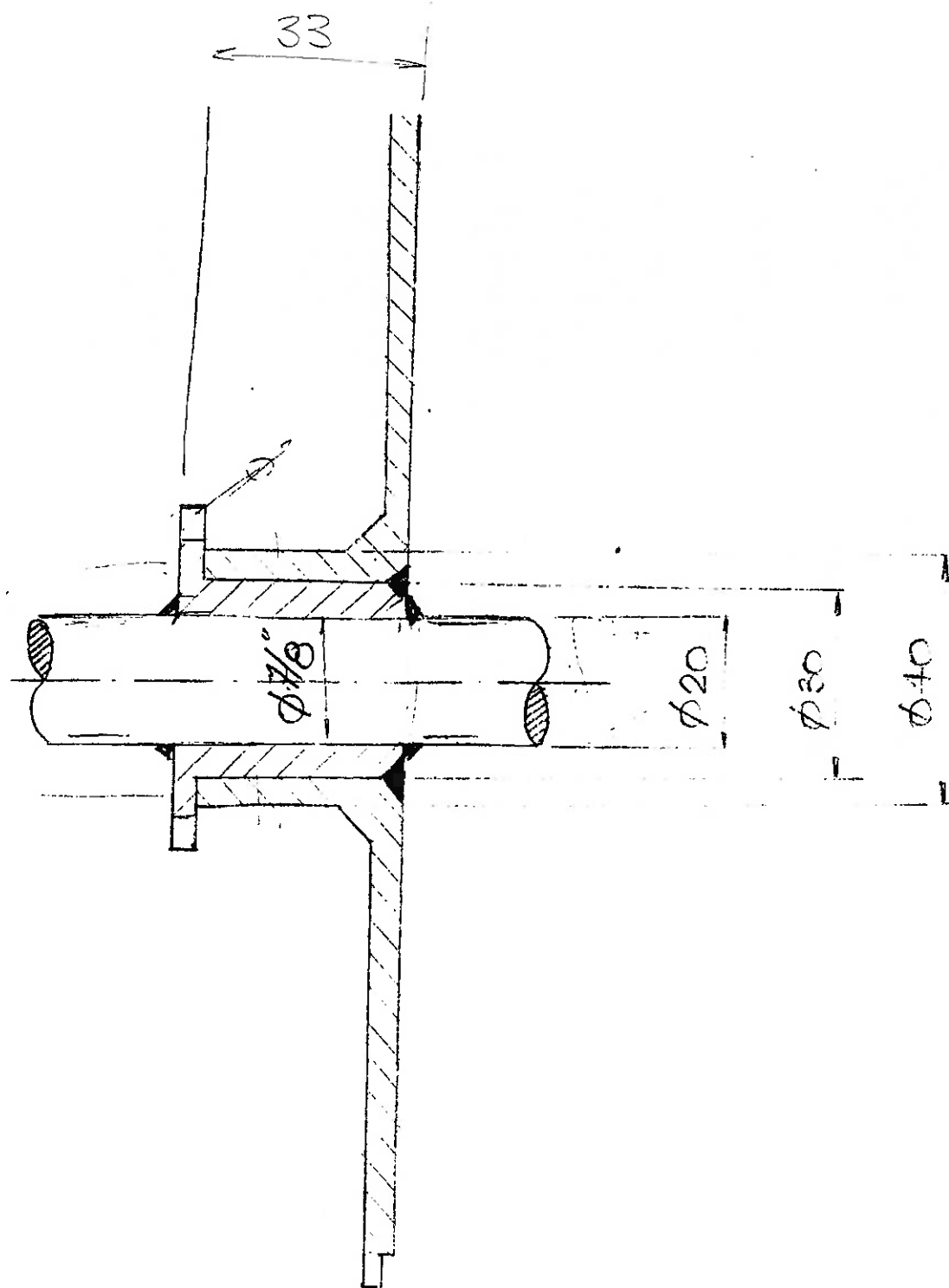
Smax = 1200 kgf/cm² Smax = 500 kgf/cm²

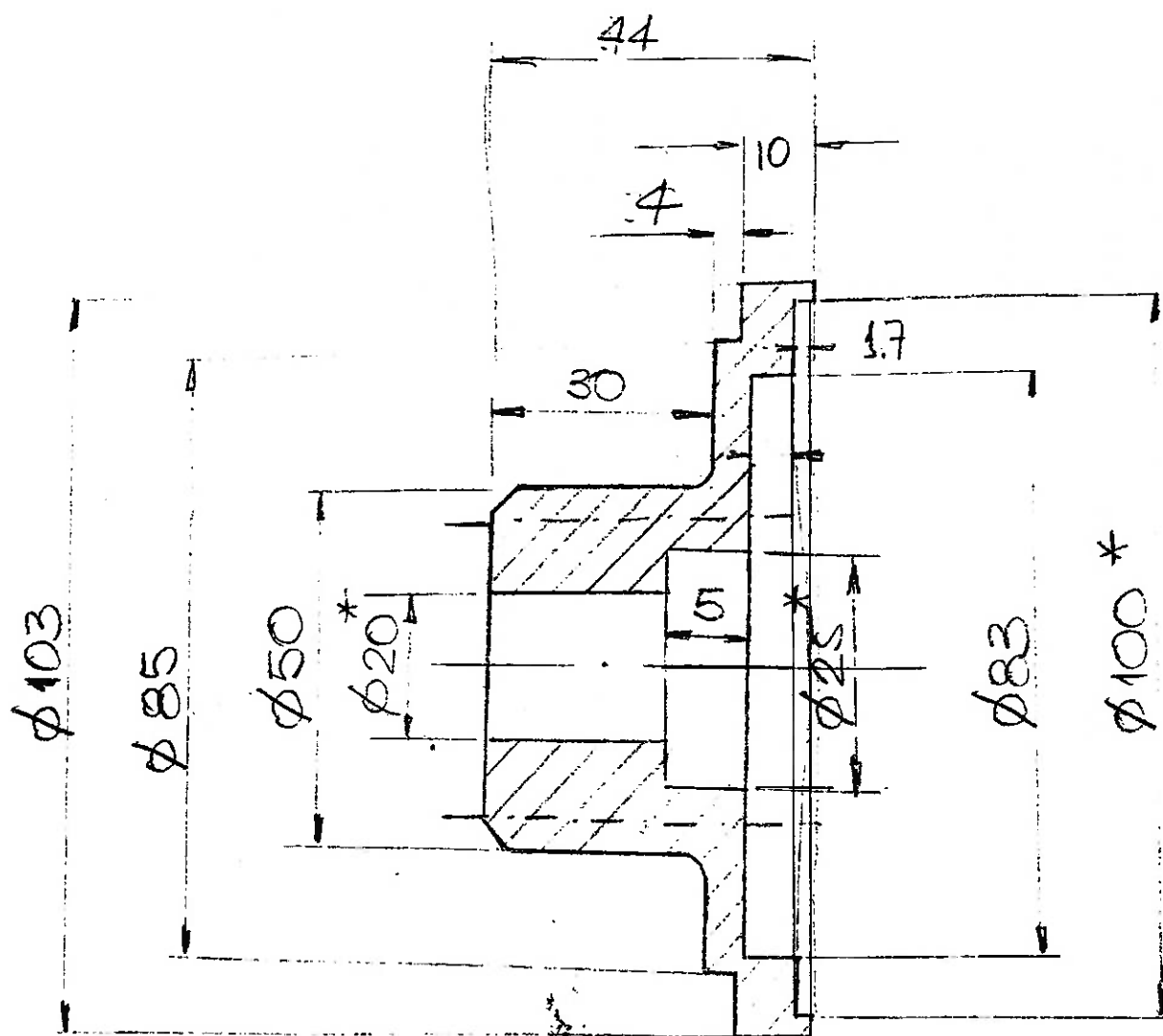
14.10. Desenho de Montagem da Caixa de Transmissão com Engrenagens



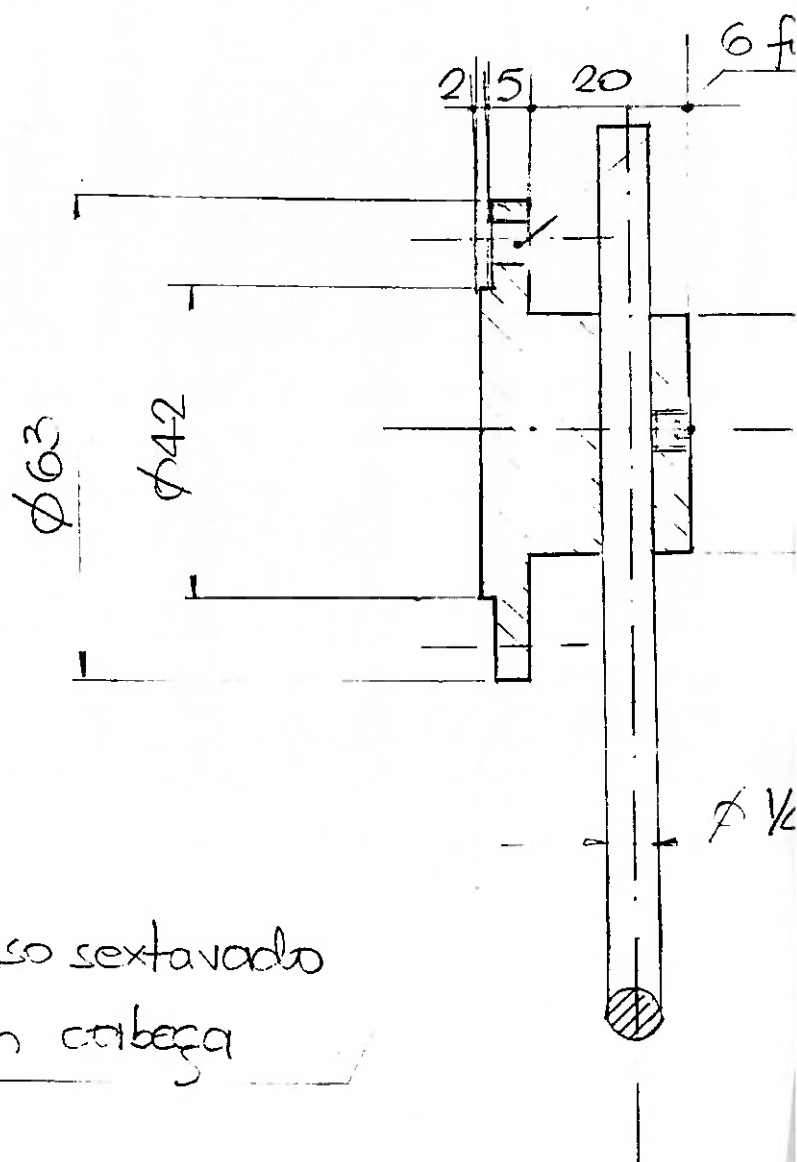
14.11. Desenhos de Construção de Componentes da Máquina







Fabricação da Flange e



parafuso sextavado
sem cabeça

14.12. Estrutura da Máquina

14.13. Datasheet do Sensor de Força



December 5, 1999

FP10003-00001-C

Fr1010 Force Sensor

Corporate Info

[Home](#)
[Contact Info](#)
[Futek Reps](#)
[Jobs@Futek](#)
[Year 2000](#)
[More...](#)

Products

[Load](#)
[Torque](#)
[Pressure](#)
[Multi-component](#)
[Instruments](#)
[Accessories](#)
[Cross Reference](#)
[Smart Search](#)
[Info Request](#)
[More...](#)

Support

[Calibration Info](#)
[More...](#)

Extras

[Message Board](#)
[Term Glossary](#)
[Conversions](#)
[Magazine Ads](#)
[More...](#)



Zoom

[Larger Image](#)

Full active bridge / 300 series stainless steel. Can be utilized to measure force, pressure, and displacement for OEM application. Mounting kit available part #F2209.

[Information Request Form...](#)

Viewing Options:

[html](#) | [Printer-Friendly Format](#)

Mode:

[American](#) | [Metric](#)

Capacity	• 4 kg	Other Capacities
Material	• 302 S.S.	
Resistance	• 1200 +/- 300 ohms	
Rated Output (R.O.)	• 2 mV/V nom.	
Excitation (VDC or VAC)	• 10 test	
Bridge Resistance	• 1200 +/- 300 ohms nom.	
Nonrepeatability	• ± 0.02 - 0.05% of R.O.	
Zero Balance	• ± 2 - 5% of R.O.	
Temp. Shift Zero	• ± 0.0143 - 0.0357% of R.O./°C	
Temp. Shift Span	• ± 0.008 - 0.0357% of R.O./°C	
Compensated Temp.	• 15 to 71 °C	
Operating Temp.	• -51 to 93 °C	
Price	• \$40	

*Actual level of accuracy depends on mounting method

.Option Package

- Futek Standard selected -
- Cable: 29 Awg 4 Conductor Teflon Spiral Cable (2 in)

[Other Available Options](#)

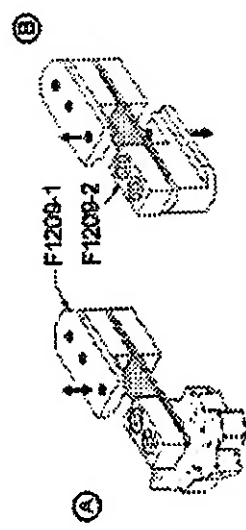
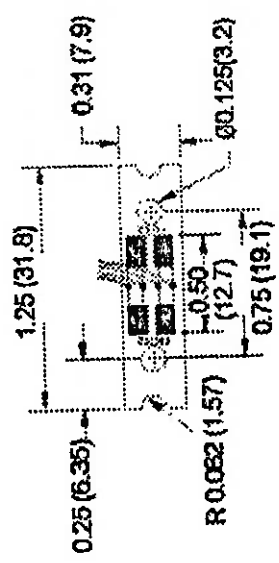
[View Wiring Guide..](#)

[View Larger Image..](#)
[See Recommended Package..](#)

Unit Dimensions
html | Acrobat | Whip
inch(millimeter)

CAPACITY		THICKNESS	
LB	KG	INCH	mm
1	0.5	0.01	(0.25)
2	1	0.015	(0.38)
5	2	0.025	(0.64)
10	4	0.031	(0.76)
20	9	0.043	(1.12)
40	18	0.06	(1.52)

Overall thickness varies
0.003 (0.076) to 0.008 (0.152)



A & B USES FUTEK MOUNTING KIT (F2209)

FR1010 ACTIVE BEAM
OR DUMMY BEAM



FR1010 ACTIVE BEAM

PARALLEL BEAM CONCEPT

Information Request

Want a catalog?
Want more information?
Want to be contacted?
Want tickets to a trade show?
Just ask!

| [Home](#) |
[Contact Info](#)	[Futek Reps](#)	[Jobs@Futek](#)	[Year 2000](#)		
[Load](#)	[Torque](#)	[Pressure](#)	[Multi-Axis](#)	[Instruments](#)	[Accessories](#)
[Cross Reference](#)	[Smart Search](#)	[Info Request](#)			
[Calibration Info](#)					
[Message Board](#)	[Term Glossary](#)	[Conversions](#)	[Magazine Ads](#)		

Futek, 10 Thomas, Irvine, CA 92618 USA
Phone: (949) 465-0900 Fax: (949) 465-0905



Same Day Shipping Available!

Site V.1.0 Privacy and Security and Terms of Use
© Copyright 1998-99 Futek Advanced Sensor Technology, Inc. All rights reserved.

14.14. Curva de Resposta do Freio Eletromagnético

Stromung
47 W/mm

Dynamisch z. Hochdruck (H₂)

TM600235

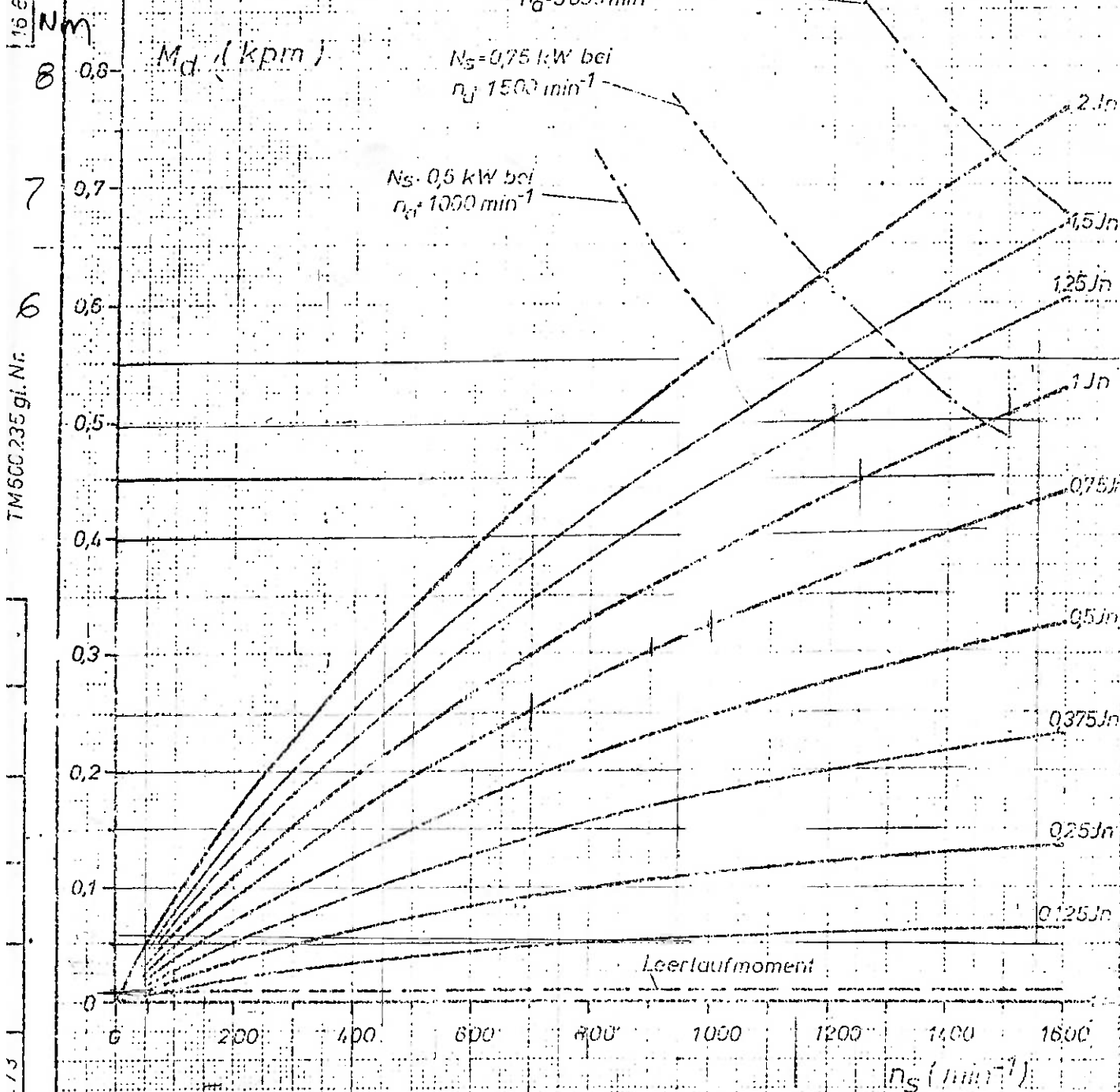
JK 10 C

Leistungshyperbeln der Reihe I KV für $n_0 = 1000, 1500, 3000 \text{ min}^{-1}$

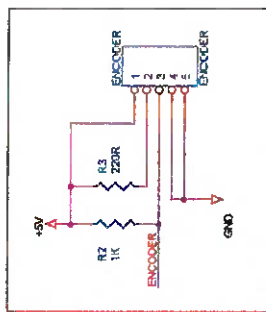
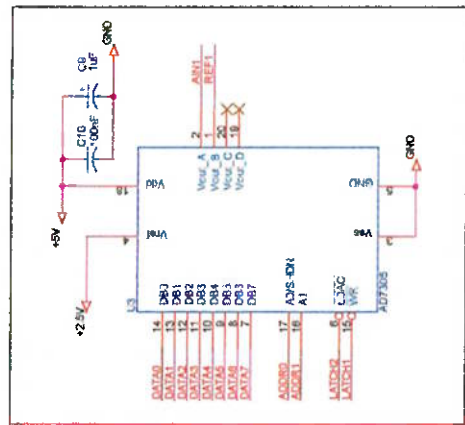
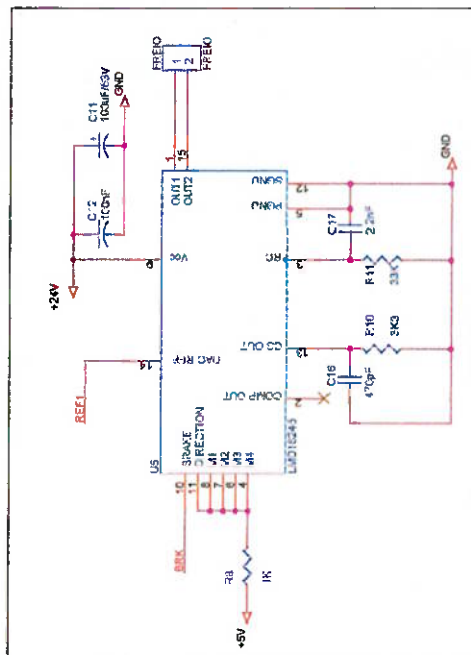
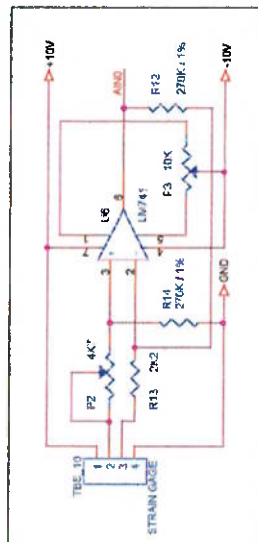
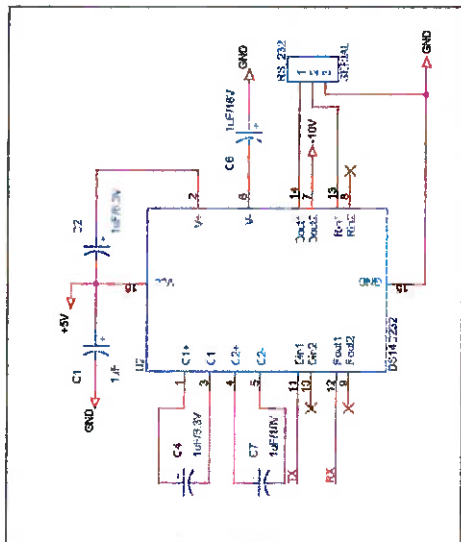
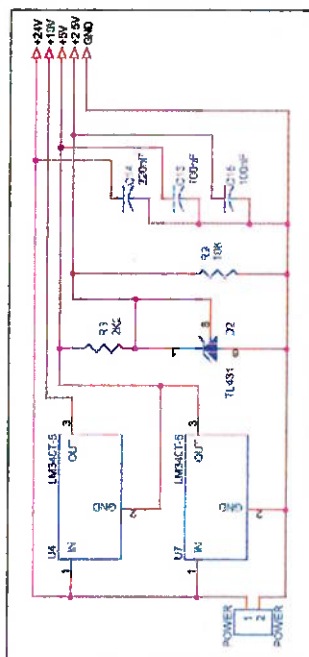
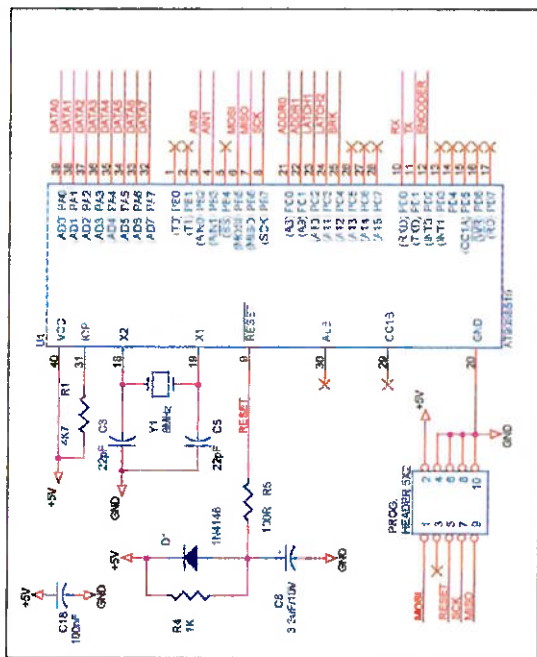
Für Nennspannung und eine
betriebswarme Kupplung
bei 0,75 Jn ablesen

IKV 10	
N ₀	604 10 0403
N ₁	604 10 0403
N ₂	527 10 0400 023

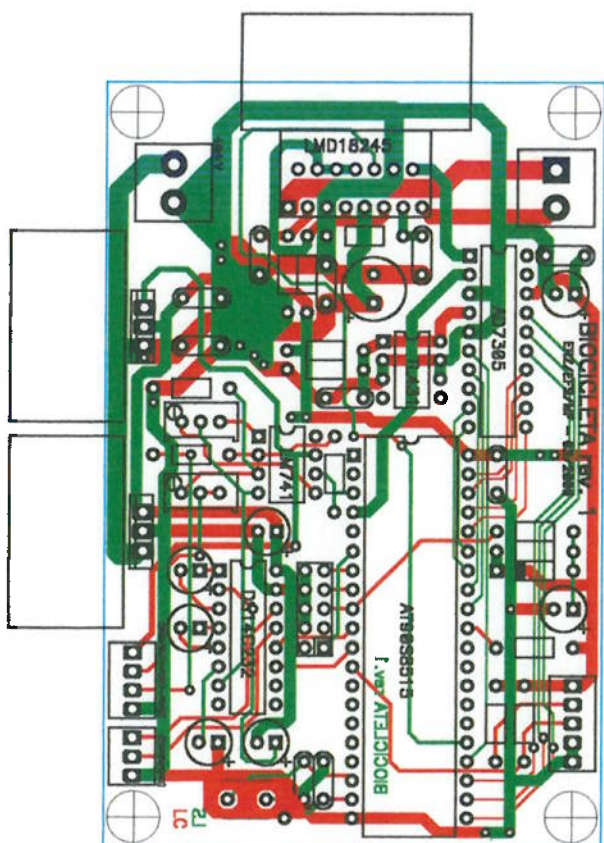
N ₀ bei 1000 min ⁻¹	842	W
N ₁ bei 1500 min ⁻¹	448	W
N ₂ bei 3000 min ⁻¹	90	W
Temperatur	50 - 100	°C
Leertlaufmoment	0,1	0,142 mm
Leertlaufmoment	0,12	mm



14.15. Diagrama Elétrico da Placa de Aquisição de Dados



14.16. Leiaute da Placa de Aquisição de Dados



14.17.Datasheets dos Componentes Principais da Placa

LMD18245 3A, 55V DMOS Full-Bridge Motor Driver

General Description

The LMD18245 full-bridge power amplifier incorporates all the circuit blocks required to drive and control current in a brushed type DC motor or one phase of a bipolar stepper motor. The multi-technology process used to build the device combines bipolar and CMOS control and protection circuitry with DMOS power switches on the same monolithic structure. The LMD18245 controls the motor current via a fixed off-time chopper technique.

An all DMOS H-bridge power stage delivers continuous output currents up to 3A (6A peak) at supply voltages up to 55V. The DMOS power switches feature low $R_{DS(ON)}$ for high efficiency, and a diode intrinsic to the DMOS body structure eliminates the discrete diodes typically required to clamp bipolar power stages.

An innovative current sensing method eliminates the power loss associated with a sense resistor in series with the motor. A four-bit digital-to-analog converter (DAC) provides a digital path for controlling the motor current, and, by extension, simplifies implementation of full, half and microstep stepper motor drives. For higher resolution applications, an external DAC can be used.

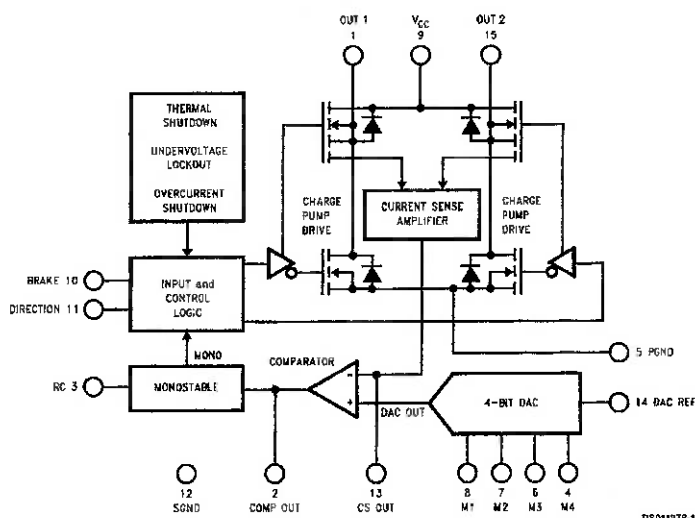
Features

- DMOS power stage rated at 55V and 3A continuous
- Low $R_{DS(ON)}$ of typically 0.3Ω per power switch
- Internal clamp diodes
- Low-loss current sensing method
- Digital or analog control of motor current
- TTL and CMOS compatible inputs
- Thermal shutdown (outputs off) at $T_J = 155^\circ\text{C}$
- Overcurrent protection
- No shoot-through currents
- 15-lead TO-220 molded power package

Applications

- Full, half and microstep stepper motor drives
- Stepper motor and brushed DC motor servo drives
- Automated factory, medical and office equipment

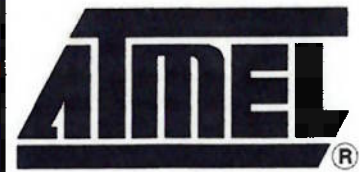
Functional Block and Connection Diagram (15-Lead TO-220 Molded Power Package (T))



Order Number LMD18245T
See NS Package Number TA15A

Features

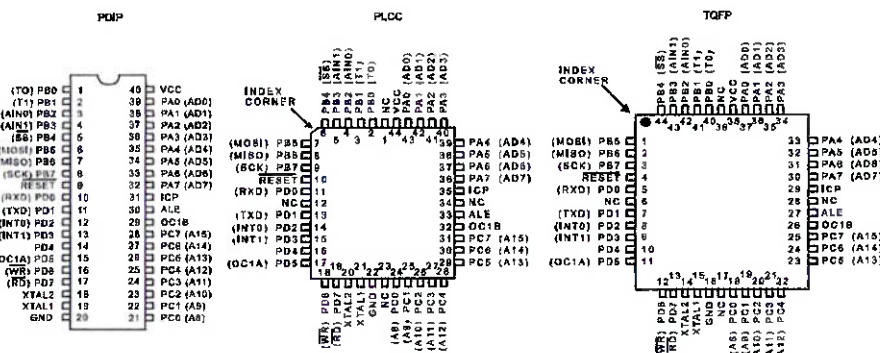
- Utilizes the AVR[®] RISC Architecture
- AVR - High-performance and Low-power RISC Architecture
 - 118 Powerful Instructions - Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Up to 8 MIPS Throughput at 8 MHz
- Data and Nonvolatile Program Memory
 - 4K/8K Bytes of In-System Programmable Flash
Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
 - 256/512 Bytes of SRAM
 - 256/512 Bytes of In-System Programmable EEPROM
Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - Programming Lock for Flash Program and EEPROM Data Security
- Peripheral Features
 - One 8-bit Timer/Counter with Separate Prescaler
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler
Compare, Capture Modes and Dual 8-, 9- or 10-bit PWM
 - On-chip Analog Comparator
 - Programmable Watchdog Timer with On-chip Oscillator
 - Programmable Serial UART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
- Special Microcontroller Features
 - Low-power Idle and Power Down Modes
 - External and Internal Interrupt Sources
- Specifications
 - Low-power, High-speed CMOS Process Technology
 - Fully Static Operation
- Power Consumption at 4 MHz, 3V, 25°C
 - Active: 3.0 mA
 - Idle Mode: 1.0 mA
 - Power Down Mode: <1 µA
- I/O and Packages
 - 32 Programmable I/O Lines
 - 40-pin PDIP, 44-pin PLCC and TQFP
- Operating Voltages
 - 2.7 - 6.0V (AT90S4414-4 and AT90S8515-4)
 - 4.0 - 6.0V (AT90S4414-8 and AT90S8515-8)
- Speed Grades
 - 0 - 4 MHz (AT90S4414-4 and AT90S8515-4)
 - 0 - 8 MHz (AT90S4414-8 and AT90S8515-8)



8-bit AVR[®] Microcontroller with 4K/8K bytes In-System Programmable Flash

AT90S4414
AT90S8515

Pin Configurations



TL431, TL431A ADJUSTABLE PRECISION SHUNT REGULATORS

SLVS005J – JULY 1978 – REVISED JULY 1999

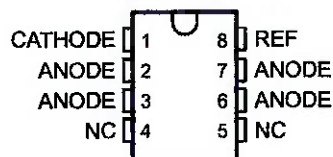
- Equivalent Full-Range Temperature Coefficient . . . 30 ppm/°C
- 0.2-Ω Typical Output Impedance
- Sink-Current Capability . . . 1 mA to 100 mA
- Low Output Noise
- Adjustable Output Voltage . . . V_{ref} to 36 V
- Available in a Wide Range of High-Density Packages

description

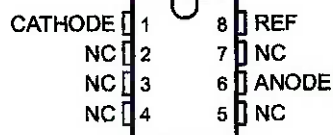
The TL431 and TL431A are three-terminal adjustable shunt regulators with specified thermal stability over applicable automotive, commercial, and military temperature ranges. The output voltage can be set to any value between V_{ref} (approximately 2.5 V) and 36 V with two external resistors (see Figure 17). These devices have a typical output impedance of 0.2 Ω. Active output circuitry provides a very sharp turn-on characteristic, making these devices excellent replacements for Zener diodes in many applications, such as onboard regulation, adjustable power supplies, and switching power supplies.

The TL431C and TL431AC are characterized for operation from 0°C to 70°C, and the TL431I and TL431AI are characterized for operation from -40°C to 85°C.

**D PACKAGE
(TOP VIEW)**

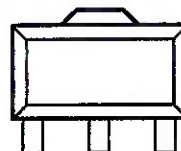


**P OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)**



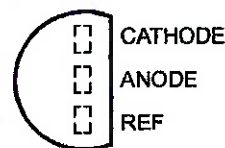
NC – No internal connection

**PK PACKAGE
(TOP VIEW)**



REF ANODE CATHODE

**LP PACKAGE
(TOP VIEW)**



**KTP PACKAGE
(TOP VIEW)**



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated



+3 V/+5 V, Rail-to-Rail Quad, 8-Bit DAC

AD7304/AD7305*

FEATURES

Four 8-Bit DACs in One Package
+3 V, +5 V and ± 5 V Operation
Rail-to-Rail REF-Input to Voltage Output Swing
2.6 MHz Reference Multiplying Bandwidth
Compact 1.1 mm Height TSSOP 16-/20-Lead Package
Internal Power ON Reset
SPI Serial Interface Compatible—AD7304
Fast Parallel Interface—AD7305
40 μ A Power Shutdown

APPLICATIONS

Automotive Output Span Voltage
Instrumentation, Digitally Controlled Calibration
Pin-Compatible AD7226 Replacement when $V_{DD} < 5.5$ V

GENERAL DESCRIPTION

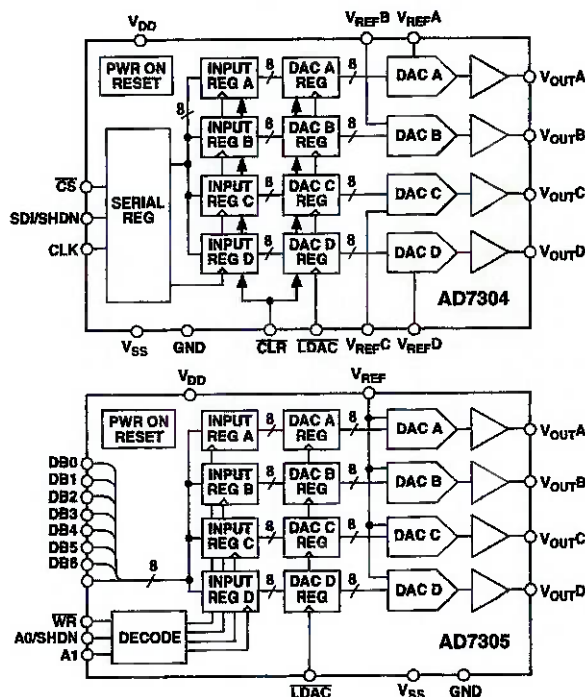
The AD7304/AD7305 are quad, 8-bit DACs that operate from a single +3 V to +5 V supply or ± 5 V supplies. The AD7304 has a serial interface, while the AD7305 has a parallel interface. Internal precision buffers swing rail-to-rail. The reference input range includes both supply rails allowing for positive or negative full-scale output voltages. Operation is guaranteed over the supply voltage range of +2.7 V to +5.5 V, consuming less than 9 mW from a +3 V supply.

The full-scale voltage output is determined by the external reference input voltage applied. The rail-to-rail V_{REF} input to DAC V_{OUT} allows for a full-scale voltage set equal the positive supply V_{DD} , the negative supply V_{SS} or any value in between.

The AD7304's doubled-buffered serial-data interface offers high speed, three-wire, SPI and microcontroller compatible inputs using data in (SDI), clock (CLK) and chip select (\overline{CS}) pins. Additionally, an internal power-on reset sets the output to zero scale.

The parallel input AD7305 uses a standard address decode along with the \overline{WR} control line to load data into the input registers. The double buffered architecture allows all four input registers to be preloaded with new values, followed by a \overline{LDAC} control strobe which copies all the new data into the DAC registers thereby updating the analog output values. When operating from less than +5.5 V, the AD7305 is pin-compatible with the popular industry standard AD7226.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAMS



An internal power ON reset places both parts in the zero-scale state at turn ON. A 40 μ A power shutdown (SHDN) feature is activated on both parts by tristating the SDI/SHDN pin on the AD7304, and tristating the A0/SHDN address pin on the AD7305.

The AD7304/AD7305 are specified over the extended industrial (-40°C to $+85^{\circ}\text{C}$), and the automotive (-40°C to $+125^{\circ}\text{C}$) temperature ranges. AD7304s are available in 16-lead plastic DIP (N-16), and wide-body SOL-16 (R-16) packages. The parallel input AD7305 is available in the 20-lead plastic DIP (N-20), and the SOL-20 (R-20) surface mount package. For ultracompact applications the thin 1.1 mm TSSOP-16 (RU-16) package will be available for the AD7304, while the TSSOP-20 (RU-20) will house the AD7305.

*Protected under Patent Number 5684481.

REV. A

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1998

LM741 Operational Amplifier

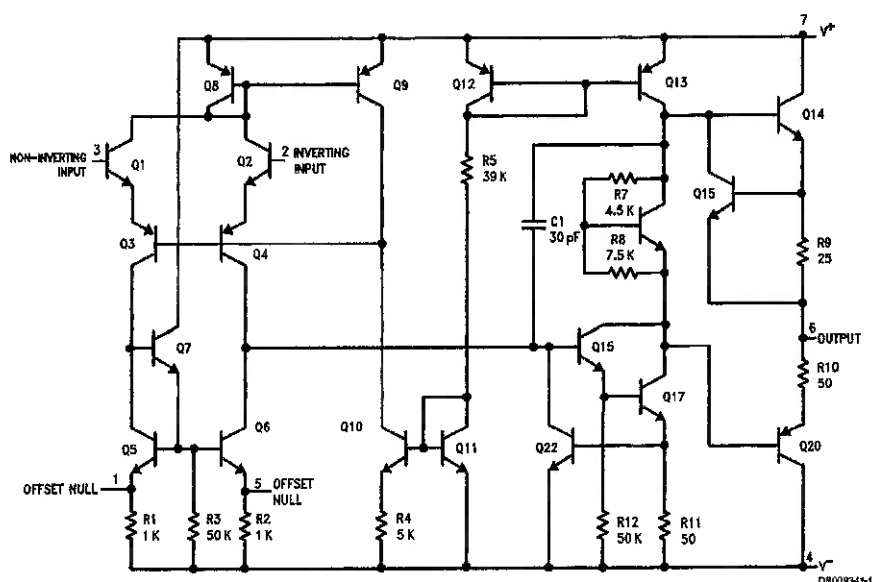
General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

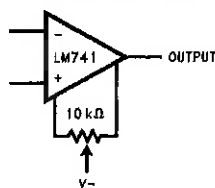
The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C/LM741E are identical to the LM741/LM741A except that the LM741C/LM741E have their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Schematic Diagram



Offset Nulling Circuit



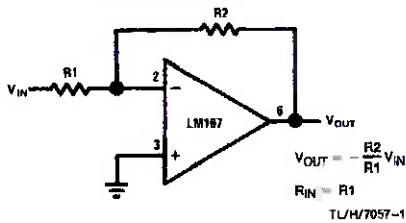
Op Amp Circuit Collection

National Semiconductor
Application Note 31
February 1978

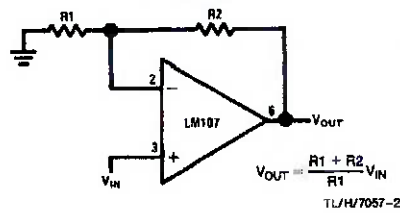


SECTION 1—BASIC CIRCUITS

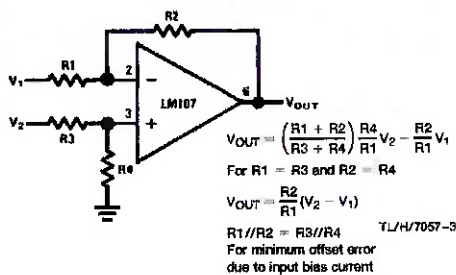
Inverting Amplifier



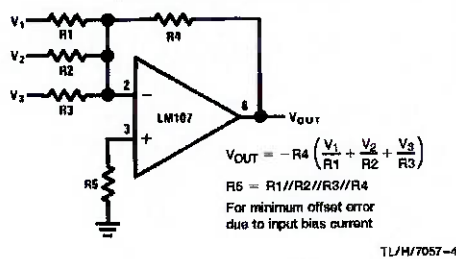
Non-Inverting Amplifier



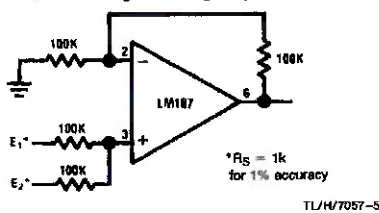
Difference Amplifier



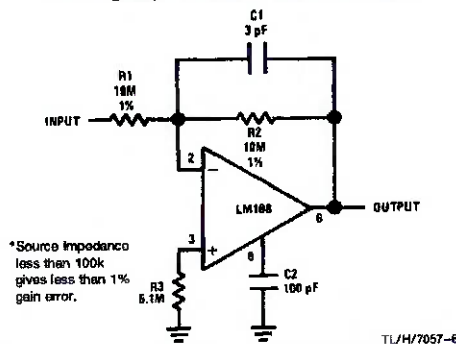
Inverting Summing Amplifier



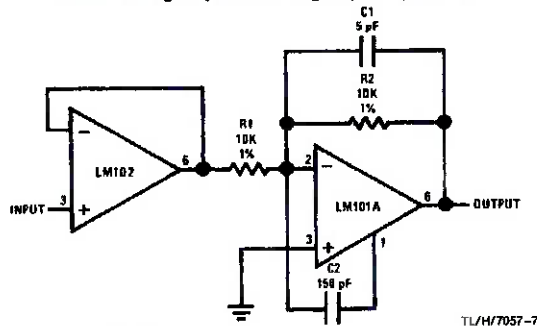
Non-Inverting Summing Amplifier



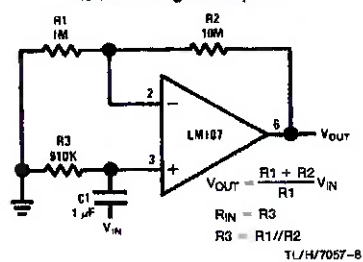
Inverting Amplifier with High Input Impedance



Fast Inverting Amplifier with High Input Impedance



Non-Inverting AC Amplifier



DS14C232 Low Power +5V Powered TIA/EIA-232 Dual Driver/Receiver

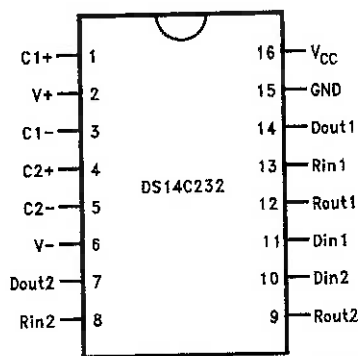
General Description

The DS14C232 is a low power dual driver/receiver featuring an onboard DC to DC converter, eliminating the need for $\pm 12V$ power supplies. The device only requires a +5V power supply. I_{CC} is specified at 3.0 mA maximum, making the device ideal for battery and power conscious applications. The drivers' slew rate is set internally and the receivers feature internal noise filtering, eliminating the need for external slew rate and filter capacitors. The device is designed to interface data terminal equipment (DTE) with data circuit-terminating equipment (DCE). The driver inputs and receiver outputs are TTL and CMOS compatible. DS14C232C driver outputs and receiver inputs meet TIA/EIA-232-E (RS-232) and CCITT V.28 standards.

Features

- Pin compatible with industry standard MAX232, LT1081, ICL232 and TSC232
- Single +5V power supply
- Low power— I_{CC} 3.0 mA maximum
- DS14C232C meets TIA/EIA-232-E (RS-232) and CCITT V.28 standards
- CMOS technology
- Receiver Noise Filter
- Package efficiency—2 drivers and 2 receivers
- Available in Plastic DIP, Narrow and Wide SOIC packages
- TIA/EIA-232 compatible extended temperature range option:
DS14C232T $-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$
DS14C232E/J: $-55^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$

Connection Diagram



Order Number DS14C232CN, DS14C232CM, or
DS14C232TM
See NS Package Number N16E, or M16A

Functional Diagram

