



**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA**

**LEONARDO PEREIRA MONTE
RAFAEL JOSÉ PASSALACQUA**

**CINEMOTION:
UMA PLATAFORMA VOLTADA AO ENTRETENIMENTO**

**São Paulo
2007**

LEONARDO PEREIRA MONTE
RAFAEL JOSÉ PASSALACQUA

note final 5,5
(cinc e cma)
ADM

**CINEMOTION:
UMA PLATAFORMA VOLTADA AO ENTRETENIMENTO**

308

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para trabalho de graduação

São Paulo
2007

**LEONARDO PEREIRA MONTE
RAFAEL JOSÉ PASSALACQUA**

***CINEMOTION:*
UMA PLATAFORMA VOLTADA AO ENTRETENIMENTO**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para trabalho de graduação**

**Área de Concentração:
Engenharia Mecânica – Automação e
Sistemas**

**Orientador: Prof. Dr. Marcos Ribeiro
Pereira Barreto**

**São Paulo
2007**

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho a todas as pessoas queridas.



AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Marcos Ribeiro Pereira Barreto, pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante todo o trabalho.

Aos professores e amigos Tarcísio Coelho, Oswaldo Horikawa, Victor Danilo Kumazawa, Fernando e a todos que colaboraram direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

"Quem perde seus bens perde muito, quem perde um amigo perde mais. Mas quem perde sua coragem, perde tudo".

(Miguel de Cervantes)

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um projeto de *Cinemotion*, isto é, uma plataforma dinâmica que se move de acordo com um vídeo apresentado num monitor (rápidos e inesperados movimentos de queda, buracos e subidas). Assim, este dispositivo elétrico-mecânico pode ser usado não apenas para entreter crianças, mas também adultos e pessoas que gostem de fortes emoções, pois o *Cinemotion* é um simulador que reflete a realidade da melhor maneira possível. Sua finalidade é para entretenimento, no entanto, devido sua robusta estrutura mecânica (Plataforma de Stewart simplificada) e suficiente precisão de movimentos e posições alcançadas pelo sistema de controle, este equipamento poderá ser utilizado para simulações em outras áreas do conhecimento. A estrutura mecânica, capaz de suportar 500kg, é formada por três conjuntos formados por motor, sistema de redução, guia linear, eixo e junta à plataforma. Os três motores combinados podem gerar diversos movimentos e a plataforma terá liberdade de 30º aproximadamente. O sistema elétrico será composto por alguns componentes lógicos, sensores, um computador com placa de comunicação digital e um controlador que determinará os movimentos dos motores. Assim, o simulador proporcionará aos participantes algumas sensações conforme a plataforma se move com o decorrer do filme.

Palavras chave: *Cinemotion*, Entretenimento, Plataforma de Stewart, Simulador.

ABSTRACT

This work presents a *Cinemotion* development. *Cinemotion* is a collection of a monitor showing an adventure movie and a dynamic chair that follows the scenes (sudden climbs and falls, free falling, twist, rapid movements). Thus, this mechanical and electronic gadget can be used to entertain not only children, but also adults and all kind of people that like high emotions and adventure indoor, because *Cinemotion* is a simulator and its objective is to represent a real situation in the best way. This *Cinemotion* is for entertainment but due to its strong mechanical structure (Stewart Platform) and the good precision of movements and positions reached by the electronics circuits, this equipment could be used for others kinds applications in science world. The simplified Stewart Platform composes the mechanical structure: three pairs of pistons fixed on the base where represents the seat place that will move controlled by three electronics motors with reduction. It will be able to simulate a lot of movements on the sit by combinations of the pistons and the motor reduction can control the velocity. This mechanism will be jointed with an exocentric axle in a universal joint, which will allow three degrees of freedom. All this structure will turn almost 70° for the sides or front and back and can stand a maximum load of approximate 400 kilograms without lower restrictions. The electronic circuit is composed by some logical components that communicates with a software developed in Java in order to obtain the accurate interval of times of the piston's movements, thus we can control the mechanical structure following the scenes of the movie. The *Cinemotion*, concerted by the mechanical structure and the electronic circuit, will propose to the users, which vary from one to four persons, some sensations like fear and grogginess, which intensity depends on the kind of the movie and the weight on the platform.

Keywords. *Cinemotion*, Entertainment, Stewart Platform, Simulator.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - OPÇÃO A.....	20
FIGURA 2 - OPÇÃO B.....	20
FIGURA 3 - CROQUI DA SOLUÇÃO ESCOLHIDA	22
FIGURA 4 - CADEIA PASSIVA	26
FIGURA 5 - JUNTA DE ROTAÇÃO	28
FIGURA 6 - JUNTA UNIVERSAL	29
FIGURA 7 – JUNTA UNIVERSAL DE ATÉ 35º	31
FIGURA 8 – JUNTA UNIVERSAL DE ATÉ 70º	31
FIGURA 9 - JUNTA ESFÉRICA.....	32
FIGURA 10 - CROQUI DE VISTA SUPERIOR DA PLATAFORMA	33
FIGURA 11 – JUNTA UNIVERSAL UTILIZADA NO PROTÓTIPO.....	35
FIGURA 12 – PROTÓTIPO EM MOVIMENTO DE SUBIDA	36
FIGURA 13 - PROTÓTIPO EM MOVIMENTO DE DESCIDA.....	36
FIGURA 14 - TIPOS DE MOTORES ELÉTRICOS	37
FIGURA 15 - DIAGRAMA DB15 DA PORTA DE JOYSTICK	41
FIGURA 16 - ESQUEMA DE SOLDAGEM DO SENSOR À PORTA ANALÓGICA.....	42
FIGURA 17 - DIAGRAMA DB25 DA PORTA PARALELA	42
FIGURA 18 - DIAGRAMA DE ENTRADAS E SAÍDAS.....	43
FIGURA 19 - ILUSTRAÇÃO DE UM POTENCIÔMETRO	44
FIGURA 20 - CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO DO RELÉ.....	45
FIGURA 21 - ACIONAMENTO DO SENTIDO DE ROTAÇÃO.....	45
FIGURA 22 – TRANSISTOR FOTOELÉTRICO	46
FIGURA 23 – FUNCIONAMENTO REAL DO EMISSOR / RECEPTOR	46
FIGURA 24 – CIRCUITO PARA UTILIZAR TRANSISTOR FOTOELÉTRICO	47
FIGURA 25 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO DO <i>CINEMOTION</i>	49
FIGURA 26 - FOTO DO MOTOR ELÉTRICO.....	53
FIGURA 27 - DISPOSITIVO ELABORADO PARA INTERROMPER O SENSOR FOTOELÉTRICO	54
FIGURA 28 – FUNCIONAMENTO DO SENSOR	55
FIGURA 29 - PLATAFORMA EM MOVIMENTO DE SUBIDA	57
FIGURA 30 - DETALHAMENTO DO BRAÇO EM SUBIDA	57
FIGURA 31 - PLATAFORMA EM MOVIMENTO DE DESCIDA.....	58
FIGURA 32 - PLATAFORMA EM POSIÇÃO INICIAL.....	58
FIGURA 33 - VISTA FRONTAL DA PLATAFORMA NA POSIÇÃO INICIAL	59
FIGURA 34 - DETALHE DA CADEIA PASSIVA E JUNTA UNIVERSAL.....	59
FIGURA 35 - VISTA SUPERIOR DA PLATAFORMA	60
FIGURA 36 - VISTA LATERAL DA PLATAFORMA NA POSIÇÃO INICIAL	60
FIGURA 37 - PLATAFORMA EM MOVIMENTO DE SUBIDA	60
FIGURA 38 – FUNCIONAMENTO REAL DO EMISSOR / RECEPTOR	66
FIGURA 39 - ACOPLAGEM DA PLATAFORMA COM EIXOS	67
FIGURA 40 - ACOPLAGEM DO EIXO COM A GUIA	67
FIGURA 41 - MOVIMENTO DE SUBIDA DO PROTÓTIPO.....	68
FIGURA 42 - PLATAFORMA REAL EM MOVIMENTO DE SUBIDA	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PESOS PARA MATRIZ DE DECISÃO	15
TABELA 2 - MATRIZ DE DECISÃO	16
TABELA 3 - CRONOGRAMA DO PRIMEIRO SEMESTRE.....	17
TABELA 4 - CRONOGRAMA PARA SEGUNDO SEMESTRE	18
TABELA 5 - MATRIZ DE DECISÃO	21
TABELA 6 - PINAGEM DE E/S ANALÓGICA.....	41
TABELA 7 - PINAGEM DE E/S DIGITAL.....	43
TABELA 8 - VALOR EM BINÁRIO PARA CADA PINO DE SAÍDA DE DADOS	65

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
1. DEFINIÇÃO DO TEMA	15
2. FASES DO PROJETO	17
3. PROJETO CONCEITUAL	19
3.1. SOLUÇÕES ENCONTRADAS.....	19
<i>Opção A</i>	19
<i>Opção B</i>	20
3.2. MATRIZ DE DECISÃO	21
4. ESTUDO DE VIABILIDADE.....	23
5. DETALHAMENTO MECÂNICO.....	26
5.1. CADEIA PASSIVA	26
5.2. JUNTA DE ROTAÇÃO	27
5.3. JUNTA UNIVERSAL.....	28
<i>Dimensionamento da Junta Universal</i>	29
5.4. JUNTA ESFÉRICA	32
5.5. PLATAFORMA E ESTRUTURA.....	32
<i>Protótipo</i>	35
6. DETALHAMENTO ELÉTRICO.....	37
6.1. MOTORES CC	37
6.2. MOTORES CA	38
6.3. MOTORES DE INDUÇÃO.....	39
6.4. INVERSOR DE FREQUÊNCIA	40
6.5. PORTA ANALÓGICA	40
6.6. PORTA PARALELA.....	42
6.7. POTENCIÔMETRO	44
6.8. CIRCUITO ELÉTRICO	45
6.9. SENSOR DE POSIÇÃO.....	46
7. DESENHOS E SIMULAÇÃO	48
8. SOLUÇÕES ALTERNATIVAS.....	51
8.1. NEGOCIAÇÃO COM FORNECEDORES	51
8.2. SOLUÇÕES ENCONTRADAS.....	51
9. VÍDEO E SOFTWARE.....	56
10. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO	57
11. CONTROLE	61
11.1. CONTROLE DE MALHA ABERTA.....	61
11.2. CONTROLE DE MALHA FECHADA.....	63
11.3. COMUNICAÇÕES (ENTRADAS E SAÍDAS)	65

12. PROTÓTIPO E RESULTADOS	67
13. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	71
14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
ANEXO A – DESENHOS CONSTRUTIVOS	75
ANEXO B – DATASHEET RELÉ.....	78
ANEXO C – CATÁLOGO JUNTA UNIVERSAL.....	79

Introdução

Diferentemente da maioria dos Trabalhos de Formatura, iremos propor um projeto voltado ao entretenimento de pessoas, isto é, um problema real de Engenharia Mecatrônica voltada à diversão e que proporciona bem-estar ao ser humano.

Assim, neste Trabalho de Formatura iremos detalhar o projeto e construção de um mecanismo simples voltado ao entretenimento. *Cinemotion*, como conhecido popularmente, este mecanismo permite que os participantes sintam diferentes sensações conforme a movimentação da plataforma durante a exibição de um filme passado em um projetor.

Nosso *Cinemotion* terá uma construção mais simples, o que requer menos espaço e manutenção, quando comparado aos complexos mecanismos tradicionais de simulação para diversão, que envolve o uso de circuitos hidráulicos ou pneumáticos, utilizando Plataforma de Stewart. Este nosso mecanismo que será apresentado mais adiante, é formado por três motores elétricos de corrente alternada, alguns eixos, fusos de esferas com passo longo, juntas universais, um circuito elétrico e controlador.

A motivação da elaboração deste projeto iniciou durante o 4º ano de faculdade, quando cursávamos a disciplina PMR2480 – Sistemas Fluido Mecânicos, ministrada pelo Professor Dr. Emílio Carlos Nelli Silva e que deveríamos realizar uma visita técnica em algum lugar que apresentasse aplicação de pneumática ou hidráulica. Foi então que visitamos o centro de diversões existente no Shopping Market Place em São Paulo onde existe um brinquedo parecido com o *Cinemotion*, porém de funcionamento por circuito hidráulico.

Neste momento passado, estudamos sobre o funcionamento da Plataforma de Stewart e sua aplicação voltada ao entretenimento. Orientados pelo Professor Emílio, conversamos com nosso orientador deste Trabalho de Formatura sobre o *Cinemotion* e, a partir de então, passamos a amadurecer a idéia de realizar um Trabalho de Formatura análogo na funcionalidade, porém de modo simplificado na construção.

Portanto, com a motivação de entreter pessoas e com o objetivo de realizar um projeto de engenharia profissional, iremos com este Trabalho de Formatura elaborar projetos mecânicos e elétricos completos de uma plataforma móvel com capacidade de até quatro pessoas.

1. Definição do Tema

Num primeiro momento, buscamos conhecer e entender todos os temas propostos pelos professores da disciplina PMR2500. Realizamos em seguida, pesquisa na internet sobre outros tipos de temas e assuntos atuais que poderíamos aprofundar num Trabalho de Formatura, já que o curso de Mecatrônica permite uma vasta gama de temas e aplicações.

Um tema que achamos interessante devido à abordagem social foi relacionado a Poli Cidadã, cujo tema envolvia trabalho para pessoas com deficiência visual. Além de pesquisa sobre o tema, conversamos com o Professor Antonio Luis de Campos Mariani, responsável pelos projetos da Poli Cidadã.

Outro tema interessante foi discutido com o professor Lucas A. Moscato, no qual envolvia o estudo de robôs móveis, podendo ser aplicados em ambientes marinhos, terrestres ou aeroespaciais.

Contudo, realizamos um trabalho sobre Sistemas Fluido Mecânico no quarto ano na disciplina do Professor Dr. Emílio Carlos Nelli Silva no qual contamos com a colaboração do Professor Dr. Marcos Ribeiro Pereira Barreto e tema envolvia uma cadeira de cinema móvel, que propicia emoções aos participantes chamada *Cinemotion*.

Após o levantamento dessas idéias de temas, procuramos determinar o tema e para isso realizamos uma Matriz de Decisão ponderada, que seguiu o critério de classificação da tabela 1.

Tabela 1 - Pesos para Matriz de Decisão

Nota	Classificação
0	Totalmente sem relevância
1	Pouco relevante
2	Adequado
3	Relevante
4	Muito Relevante

Para a Matriz de Decisão, definimos:

Tema 1: Poli Cidadã;

Tema 2: Robôs;

Tema 3: Cinemotion.

Tabela 2 - Matriz de Decisão

	Tema 1	Tema 2	Tema 3
Construção Mecânica	1	3	4
Projeto Elétrico	4	3	3
Software	2	3	3
Atualidade do Tema	3	3	3
Abrangência	3	3	3
Aplicação	2	3	3
Criatividade	3	2	4
Total	18	20	23

Com o resultado da Matriz de Decisão, conforme a tabela 2 e nossa motivação pessoal, decidimos por fazer o tema do *Cinemotion*, no qual contamos com apoio do Professor Marcos Barreto.

2. Fases do Projeto

Em um primeiro momento, julgamos necessário elaborar um cronograma para o desenvolvimento do Trabalho de Formatura. Este primeiro cronograma foi refeito após o início do projeto e constatação de algumas dificuldades teóricas.

Após estudo sobre a complexidade do tema e nossa disponibilidade de tempo exigida pela Universidade, chegamos a dois cronogramas diferentes, um para o primeiro semestre e outro para o segundo.

O primeiro deles, elaborado para a etapa de projeto é apresentado na tabela 3 abaixo.

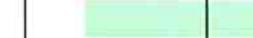
Tabela 3 - Cronograma do Primeiro Semestre

	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL
1. Estudo Plataforma					
2. Projeto Conceitual					
3. Detalhamento Mecânico					
4. Detalhamento Elétrico					
5. Detalhamento Software					
6. Relatório					
7. Entrega					

Podemos relatar que as principais dificuldades encontradas neste período foram referentes ao Projeto Conceitual e ao Detalhamento Mecânico, por isso essas etapas receberam maior tempo e dedicação.

O segundo cronograma elaborado por nós é referente à segunda etapa do Projeto de Formatura, dedicada a elaboração de uma simulação e construção do equipamento. Este cronograma está representado na tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Cronograma para Segundo Semestre

	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1. Desenhos em CAD					
2. Simulação					
3. Cotação/Negociação					
4. Construção					
5. Detalhamento/Testes					
6. Relatório					
7. Entrega					

Nesta segunda etapa consideramos que o período de Cotação/Negociação é muito importante quando não é disponibilizado muito recurso financeiro para o projeto. Essa etapa, como também as outras, será mais bem descrita nos capítulos seguintes.

3. Projeto Conceitual

Neste capítulo iremos mostrar um *Brainstorm* referente aos mecanismos desenvolvidos para o projeto mecânico, como foi o processo de escolha da melhor solução, através da Matriz de Decisão, e um breve estudo conceitual da solução escolhida.

A escolha da melhor solução mecânica foi, sem dúvida, a etapa mais trabalhosa neste Trabalho de Formatura até o momento, mas depois de algumas discussões com os Professores Dr. Oswaldo Horikawa, Dr. Júlio Cezar Adamowski e, principalmente, Dr. Tarcísio Antonio Hess Coelho, chegamos a um consenso sobre a melhor solução.

No início, pensamos em construir uma Plataforma de Stewart, porém devido a grande complexidade que envolve tanto o projeto quanto à construção e sistema de controle deste mecanismo, preferimos descartar esta opção de nosso *Brainstorm*.

3.1. Soluções Encontradas

Todas as soluções propostas apresentam três motores elétricos dispostos a 120º a partir do centro da plataforma e presos nas extremidades da plataforma. Para simplificar, elaboramos apenas croquis de uma 'perna' da plataforma, sendo as demais simétricas e análogas a estas.

Todos os desenhos a seguir foram elaborados com o software Working Model 2D versão 2005 e não apresentam escala. As soluções propostas são duas e serão expostas a seguir:

Opção A

Representada na figura 1 é um motor fixo a um eixo concêntrico (Eixo 1); Eixo 2 preso por uma junta de rotação ao Eixo 1; e a Plataforma presa ao Eixo 2 por uma junta esférica.

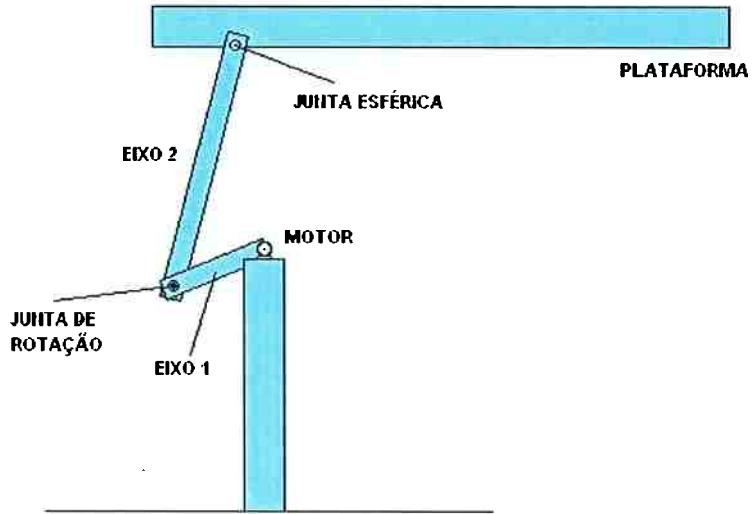


Figura 1 - Opção A

Opção B

Representada na figura 2 é composta por uma cadeia passiva no centro da Plataforma, formada por uma junta universal em um eixo; motor fixo a uma guia de fusos de esferas de passo largo, que movimenta o Eixo 2; Eixo 1 preso por uma junta de rotação ao Eixo 2; e por fim, uma junta esférica prendendo o Eixo 1 a Plataforma.



Figura 2 - Opção B

3.2. Matriz de Decisão

Para a Matriz de Solução apresentada a seguir, criamos alguns critérios, que receberam notas de acordo com a tabela 1 já apresentada anteriormente.

Todos os critérios utilizados foram pensados tendo em vista o tempo e os recursos disponíveis para a execução do nosso trabalho, sempre lembrando também do objetivo de criar um brinquedo seguro, pois envolve a participação de seres humanos.

Tabela 5 - Matriz de Decisão

	Opção A	Opção B
Facilidade de Construção	3	2
Adequação a necessidade	2	4
Robustez nos movimentos	2	4
Problemas de Operação	2	3
Manutenção	3	2
Controlabilidade	2	4
Viabilidade	3	3
Criatividade	3	4
Total	20	26

Segundo a tabela de decisão anterior, concluímos que a Opção B é a melhor dentre as duas opções, pois ela recebeu a maior pontuação ponderada. Assim ela foi escolhida para a solução e construção, e segue abaixo um croqui sem escalas da solução (figura 3).

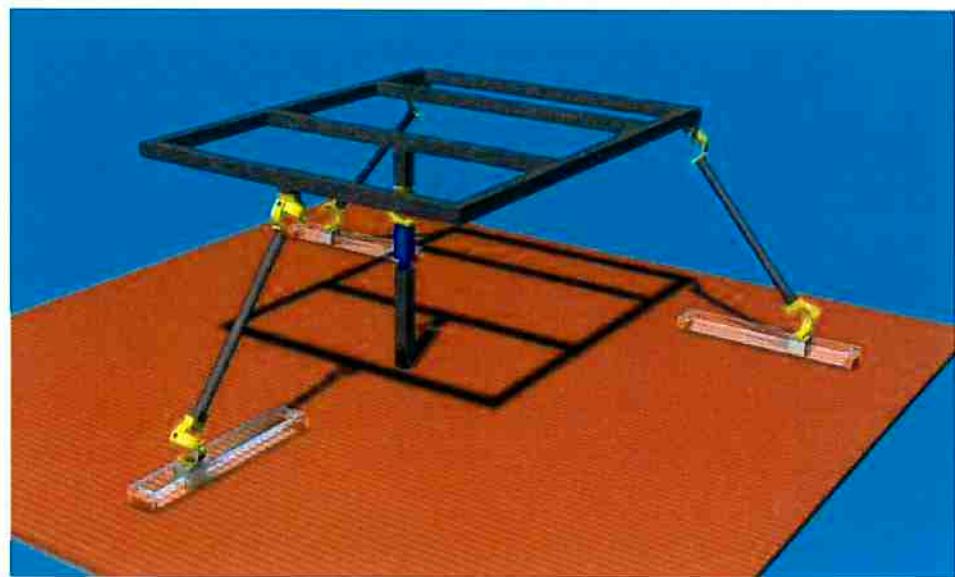


Figura 3 - Croqui da Solução Escolhida

Podemos concluir que esta solução foi a escolhida, pois ela apresenta excelência em alguns quesitos que julgamos fundamentais na execução de um projeto de engenharia: Adequação a necessidade, Controlabilidade e Criatividade.

4. Estudo de Viabilidade

Uma etapa importante na elaboração de qualquer projeto de Engenharia consiste no estudo de viabilidade, e para nós não será diferente, uma vez que temos diversas limitações para nosso Projeto de Formatura, como custo, facilidade de obtenção de peças e componentes, espaço para trabalhar e armazenamento, construção e disponibilidade de ferramentas para usinagem de peças e construção, equipamentos de informática para exibição do vídeo e drives dos motores elétricos.

Um problema encontrado na viabilidade do projeto envolve a robustez e segurança dos participantes durante a execução, uma vez que até quatro pessoas estarão se movendo junto com o *Cinemotion*. Assim, estudando a estrutura de sustentação concluímos que seria necessário o uso dos fusos de esferas ligados aos motores para certificar que a plataforma não se moveria quando os motores estivessem desligados, ou que a plataforma seria abruptamente interrompida a qualquer momento de emergência.

Ainda para garantir a segurança dos participantes, pensamos em utilizarmos motores elétricos com motofreio, que em caso de queda de energia ou quando desligado impede que o motor gire. O motofreio também faz com que posicionamos a plataforma em uma posição e ela não se moverá até que seja dado algum comando nos motores.

Depois do dimensionamento do tipo do motor e suas principais características, procuramos dois fornecedores de motores: Siemens e Weg, ambos apresentam motores que atendem nossas especificações.

Para que a estrutura mecânica não sofresse grandes alterações, pensamos em adicionar estes fusos de esferas (um para cada motor) e guias lineares de passo longo de modo a não alterar o dimensionamento do motor e dos eixos que envolvem o mecanismo. Buscamos com alguns fabricantes por catálogos de fusos de esferas nos sites das empresas THK, NSK e FAG, e encontramos diversos modelos diferentes que atendesse nossas especificações técnicas.

Porém, a grande parte dos fusos de esferas encontrados não são fabricados no Brasil e requerem grande antecedência para o pedido ser atendido e entregue para nós. Mas este não foi o pior problema, mas sim, o elevado preço destes equipamentos.

Os principais empecilhos na construção do *Cinemotion* são:

- Elevado custo de materiais devido a grandes dimensões;
- Grande espaço requerido nas instalações da Escola para nosso trabalho e para guarda-lo, além de exigir uma maior segurança devido ao valor dos motores e demais componentes;
- Dificuldade no transporte do *Cinemotion* devido às dimensões e elevado peso;
- Impossibilidade de erros construtivos tanto por nós quanto pelos outros técnicos envolvidos, uma vez que o preço elevado não permitirá substituição de peças;
- Responsabilidade por segurança dos participantes.

Apesar de todas as dificuldades encontradas, acreditamos que não serão determinantes para inviabilizar o projeto, sendo que os aspectos a favor da construção são mais significativos que os negativos.

Desta maneira, julgamos viável a construção do *Cinemotion* em tamanho real após uma simulação em software especializado para corrigir eventuais erros de dimensionamento, quando tivermos absoluta certeza de todos os passos do projeto, e assim construirmos o *Cinemotion* em tamanho 1:1.

Assim seguiremos nosso Cronograma já apresentado e vamos realizar uma simulação e estudo de elementos finitos verificando o dimensionamento realizado na parte teórica e, em seguida, após os detalhamentos construtivos iremos partir com segurança e tranqüilidade para a construção do protótipo.

Um outro ponto que está diretamente ligado à construção do *Cinemotion* é a grande utilização da plataforma em diversas áreas, não só com a finalidade de entretenimento.

Em se tratando de uma plataforma com liberdades de translações e rotações, podemos enxergar diversos casos de uso do *Cinemotion*. No mesmo ramo de entretenimento, poderíamos pensar em simular ao invés de montanha russa, algum jogo de carro de corrida, um bote em alta velocidade descendo uma corredeira, como em *rafting* ou algum tipo de avião de guerra ou nave espacial.

Com outras finalidades além do entretenimento, podemos utilizar a plataforma para testar outros mecanismos, como, por exemplo, simular um movimento relativo de um carro em um relevo acidentado e testar o sistema de amortecimento.

Assim a viabilidade de construção do *Cinemotion* é mais do que a construção de um protótipo para uma simulação de montanha russa, mas sim, a construção de um mecanismo paralelo com relativa precisão de movimento, alta segurança de movimento, baixo custo de implementação e manutenção, e diversas aplicações diferentes. Essa é mais uma motivação que temos na construção de nosso Trabalho de Formatura.

5. Detalhamento Mecânico

Neste capítulo iremos descrever em detalhe os componentes mecânicos estruturais do *Cinemotion*.

A estrutura é um mecanismo paralelo, essencialmente composto por braços articulados. De uma forma mais precisa, é uma cadeia cinemática aberta formada por um conjunto de elementos da cadeia interligados por articulações ou juntas. As articulações ou juntas permitem o movimento relativo entre as peças.

5.1. Cadeia Passiva

No mecanismo existe uma cadeia passiva, isto é, sem motor ligado ao eixo, que terá a finalidade de equilibrar forças perpendiculares ao movimento vertical da plataforma, impedindo movimentos não desejados.

A cadeia passiva é formada por um eixo interno que se movimenta através de um eixo externo, uma junta universal presa ao eixo interno e um pequeno eixo preso à plataforma.

A figura 4 a seguir mostra o que chamamos de cadeia passiva.



Figura 4 - Cadeia Passiva

Sem a cadeia passiva, os movimentos combinados dos motores iriam fazer com que a plataforma se movimentasse em movimentos de rotação e translação em diagonais, nunca verticalmente em relação ao solo.

Como queríamos que os movimentos da plataforma ocorressem paralelamente ao solo, isto é, de forma que a plataforma simule corretamente o movimento de um carro de montanha-russa, optamos pelo uso de uma cadeia passiva ligada diretamente a plataforma, equilibrando as forças em sentidos diferentes aqueles do movimento desejado.

Um problema que certamente iremos encontrar com o uso deste tipo de mecanismo é o grande atrito entre os componentes. Este problema decorre do deslizamento entre um eixo interno em movimento com um eixo externo fixo.

Para resolvemos este problema iremos propor duas soluções que amenizem o atrito para a construção do protótipo, já que ambos eixos serão construídos em ferro.

A primeira solução envolve o uso de rodas e trilhos. No eixo interno em movimento serão colocadas pequenas rodas e no eixo fixo serão construídos trilhos para a movimentação das rodas. Essas rodas e trilhos estarão nos quatro lados dos eixos, considerando seu formato com perfil retangular.

A segunda solução envolve a idéia de revestimento dos eixos com materiais com baixos coeficientes de atrito e lubrificação das superfícies em contato. Pensamos em utilizar como materiais de revestimento algum tipo de plástico e para lubrificação óleo.

5.2. Junta de Rotação

Para iniciar o projeto mecânico iremos definir os três tipos de juntas utilizados. O primeiro tipo é a Junta de Rotação ou Revolução (*Rotary Joint* ou *Revolute Joint*) que permite movimentos de rotação entre dois vínculos, relativamente a um eixo de referência. Como exemplo deste tipo de junta podemos citar tesoura, dobradiça de porta e limpadores de pára-brisa, e a figura 5 ilustra esse tipo de junta. Uma junta de rotação possui um grau de liberdade, pois permite apenas um movimento (de rotação) em torno de um eixo de referência.

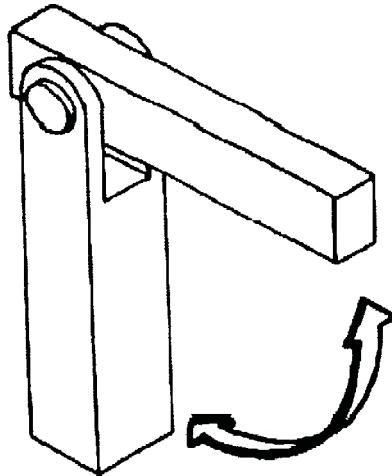


Figura 5 - Junta de Rotação

5.3. Junta Universal

O segundo tipo de junta é a Junta Universal (*figura 6*) ou Cardã (*Universal Joint, Cardan Joint ou Hooke Joint*), composta basicamente por uma conexão de dois vínculos em forma de U (ou Y) e por uma cruzeta através de quatro mancais. A idéia é transmitir um movimento de rotação ou revolução de um eixo para o outro eixo independentemente do ângulo formado entre esses eixos.

Sabemos, segundo Robert Hooke, que a velocidade angular constante de um eixo implica em uma velocidade angular variável no outro eixo, em função do ângulo formado pelos eixos. Porem, como demonstrado também por Hooke, para ângulos inferiores a 30° se um eixo tiver velocidade constante, independente do ângulo formado, o outro eixo também terá velocidade angular constante.

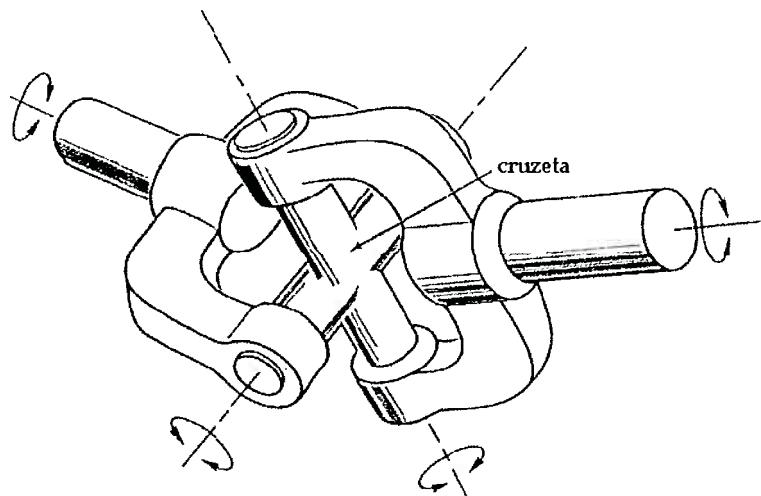


Figura 6 - Junta Universal

Dimensionamento da Junta Universal

Neste subitem iremos demonstrar o dimensionamento e detalhar sobre os fatores que levamos em conta na seleção da junta universal utilizada em nosso projeto.

Como foi definido, iremos utilizar apenas juntas universais na estrutura do nosso *Cinemotion*, não utilizando mais outros tipos de juntas. Chegamos a essa escolha através de estudos dos movimentos e das articulações que temos, ou seja, necessitávamos de juntas capazes de se moverem em dois graus de liberdade de rotação.

Buscamos escolher juntas universais comerciais encontradas em lojas especializadas de componentes mecânicos. Poderíamos ainda construir nossas próprias juntas universais, porém a garantia de qualidade, segurança e especificações técnicas seriam menores.

Como iremos detalhar melhor nos itens subsequentes, nossas juntas deverão ser capazes de suportarem esforços de quatro participantes, estrutura da plataforma, bancos, projetor de vídeo, componentes mecânicos entre outras, chegando a 500 kg de carga, já considerando uma margem de segurança.

Considerando apenas um conjunto de motor-guia, um eixo e a plataforma, iremos utilizar 02 juntas universais: uma na junção da castanha da guia com o eixo e a outra, na outra extremidade do eixo junto à plataforma. Portanto, em toda a estrutura iremos utilizar ao todo 06 juntas universais.

Para o dimensionamento de uma junta iremos estabelecer a seguinte relação de carga:

$$T_{TOTAL} = 500 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,5 \text{ m} = 2.500 \text{ Nm}$$

$$n = 6 \text{ juntas universais}$$

$$q = 2.500 / 6 = 417 \text{ Nm / junta universal}$$

Assim determinamos que cada junta deverá suportar no mínimo 835 N de força. Levando em consideração a efeitos externos a estrutura no local de instalação e a segurança dos participantes, consideraremos ainda um fator de segurança.

Uma outra preocupação que devemos ter na escolha junta universal é o grau de rotação dos eixos. Iremos analisar dois casos a seguir:

- Primeiro Caso: Junta entre a guia e o eixo de sustentação

Neste caso, com o movimento da castanha em até 01 m, ou seja, próxima ao motor e na outra ponta da guia, teremos uma variação angular da junta de 50º até 85º, resultando em aproximadamente 35º.

- Segundo Caso: Junta entre o eixo e a plataforma

Devemos levar em consideração neste caso a combinação de movimentos entre os três motores, pois eles afetarão independentemente todas as juntas acopladas a plataforma.

Nosso pior caso será no movimento de subida da plataforma para a junta frontal, e o movimento de descida para as outras duas juntas. Como especificamos em projeto, nossa plataforma se moverá relativamente em torno de 45º, sendo que cada junta deverá se mover até no máximo 70º, caso em que o eixo estiver o menos inclinado possível (em torno de 50º) e os outros dois o mais inclinado possível (próximo de 85º).

Como iremos definir nosso próprio projeto, não temos restrição para diâmetros ou pesos dessas juntas. Consultando o catálogo (vide Anexo) do fabricante Belden, chegamos aos seguintes modelos de juntas:

- Junta Universal Simples de 35º: modelo UJ-HS3000 (figura 7), com amplitude de 35º de rotação, 3" de diâmetro (76 mm), 235 mm de comprimento total e torque máximo de 1.240 Nm.



Figura 7 – Junta Universal de até 35º

- Junta Universal Dupla de 70º: modelo UJ-DD2000 (figura 8), com rotação de 70º, 2" de diâmetro (50,7 mm), 280 mm de comprimento e torque de 500 Nm.



Figura 8 – Junta Universal de até 70º

5.4. Junta Esférica

A terceira junta utilizada em nosso trabalho, será a junta esférica. Essa conexão se comporta como uma combinação de três juntas de rotação, permitindo movimentos de giros em torno dos três eixos coordenados (x, y, z), como mostrado na figura 9 a seguir.

Note que essa junta permite três movimentos independentes de rotação, relativamente a três eixos distintos. Portanto, esta junta apresenta três graus de liberdade. Observe que qualquer movimento final desta junta é uma combinação dos movimentos relativamente a cada um dos eixos.

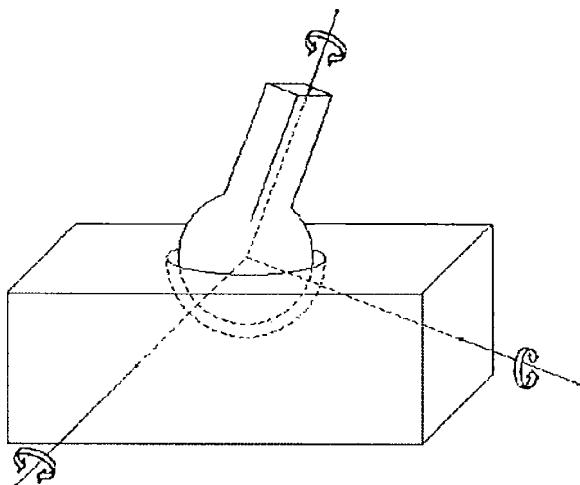


Figura 9 - Junta Esférica

5.5. Plataforma e Estrutura

Outro componente importante na estrutura do *Cinemotion* é a plataforma. Por acomodar quatro pessoas simultaneamente e ainda outros materiais como tela de exibição do filme, cadeiras, longarinas e parafusos entre outros, ela deve suportar uma carga de aproximadamente 500 kg em movimento rápido. Além disso, sua grande dimensão 2500 x 1900 x 10 mm, faz com que apresente grandes momentos fletores e torções nas extremidades.

A estrutura da plataforma será construída com perfis quadrados em aço soldados e terá duas longarinas transversais. Para os participantes apoiarem os pés

e sustentar, existirão chapas de madeiras MDF com espessura de 10 mm aproximadamente, formando assim a base da plataforma.

O projetor, as cadeiras e as bases de madeira serão presos através de parafusos e solda na estrutura da plataforma.

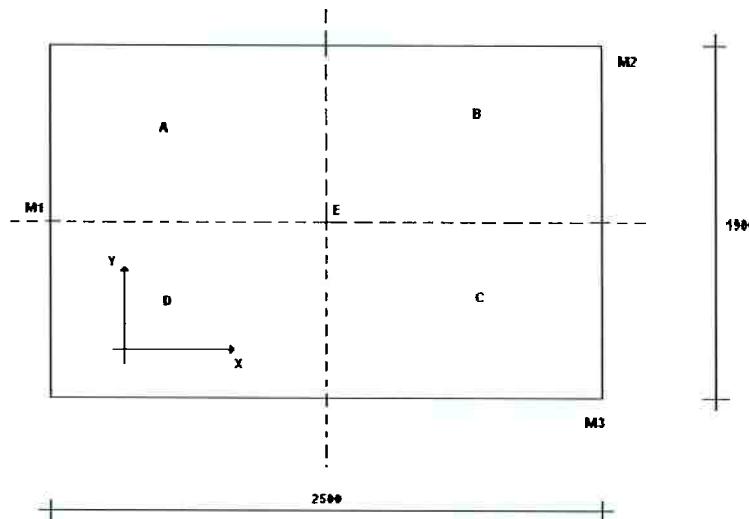


Figura 10 - Croqui de Vista Superior da Plataforma

Considerando o esquema da figura 8 como vista superior da plataforma, e 100 kg para cada uma das quatro pessoas (pontos A, B, C e D) mais 100 kg contendo plataforma e demais componentes (ponto E), temos os seguintes momentos:

$$M_1(x) = 0$$

$$M_1(y) = 0,625.(100+100).10 + 1,25.100.10 + 1,875.(100+100).10 = 6250 \text{ Nm}$$

Por simetria temos:

$$M_2(x) = 0,475.(100+100).10 + 0,95.100.10 + 1,425.(100+100).10 = 4750 \text{ Nm}$$

$$M_2(x) = M_3(x) = 4750 \text{ Nm}$$

$$M_1(y) = M_2(y) = M_3(y) = 6250 \text{ Nm}$$

Assim, a maior carga suportada, considerando a aceleração da gravidade local 10 m/s^2 , será de 5000 N e o maior momento fletor de 6250 Nm.

A resistência à flexão da plataforma deverá obedecer à equação 6.1 e o módulo de elasticidade (equação 6.2) deverá ser alto para que a plataforma seja mais rígida e tendo menor deformação elástica quando houver participantes.

$$R = (3 \times F \times I) \cdot (2 \times b \times h^2) - \text{Equação 6.1}$$

$$R = (3 \times 5000/3 \times 2,500) \cdot (2 \times 2,500 \times 0,010^2) = 6,25 \text{ N/m}^2$$

$$E = \sigma/\epsilon = (P/A)/\epsilon - \text{Equação 6.2}$$

$$E = 5000/0,025/0,001 = 200 \text{ GPa}$$

Valor tabelado mais próximo: $E = 207 \text{ GPa} - \text{Aço}$

Para atender essas necessidades, consideraremos para a construção da estrutura da plataforma um perfil quadrado de liga de Aço ($\rho = 7.830 \text{ kg/m}^3$ a 20°C) de $2500 \times 1900 \times 10 \text{ mm}$, com peso total aproximado de 40 kg .

As hastas, que ligarão os fusos de esferas a plataforma, serão dimensionadas após uma detalhada simulação que faremos para a plataforma. Poderíamos simplesmente superdimensionar essa haste, colocando um material bastante rígido e de grande diâmetro, porém preferimos fazer a simulação para chegar na melhor solução que será mais leve certamente e economizando material.

O tamanho da haste dimensionado manualmente deverá ter tamanho $L = 1\text{m}$. Esse é um bom tamanho, pois quando a haste estiver totalmente estendida da vertical, a plataforma estará em sua altura máxima, e buscamos fazer uma queda aproximadamente de $0,5 \text{ m}$ no menor intervalo de tempo possível, para causar o efeito de emoção mais desejado (chamado de *reeve*, que é, por exemplo, quando o vagão da montanha russa está em alta velocidade em linha reta e sofre uma queda brusca).

Desta maneira, no final, uma das hastas estará a aproximadamente inclinadas a 45° com a plataforma e com o fuso de esferas, representando assim o pior caso e que não provocará alto torque no motor, ou seja, suportável para movimentação da plataforma.

O fuso de esferas já foi definido pesquisando catálogos de grandes empresas reconhecidas do setor, como a THK. Será um fuso de esferas com passo largo. Este possui todas as especificações que precisamos. Permite movimento em altíssimas velocidades, operação silenciosa, altos diâmetros e alta dureza.

Para fixação da estrutura no chão, iremos construir de modo análogo a plataforma, uma base com dimensões 3000 x 2500 x 10 mm em perfil quadrado de aço que será presa ao chão e aos equipamentos do *Cinemotion*.

Protótipo

Para a elaboração do protótipo, utilizamos os seguintes materiais:

- 01 x Computador Pentium D 3.000 GHz, com Visual Basic 6.0 e porta paralela;
- 01 x Protoboard para montagem e testes dos circuitos elétricos;
- 03 x Fontes de tensão, uma 110V para o motor, uma de 12V para o relé, e outra de 5V para o sensor;
- 01 x Motor de indução monofásico, com 1.750 rpm, 220 V e 1/3 cv;
- 01 x Guia linear e fuso, com passo de 5 mm e comprimento de 1.500 mm acoplado ao motor;
- 03 x Eixos de 1.000 mm de comprimento, 50 mm de largura e 25 mm de altura, fabricado em madeira;
- 01 x Plataforma retangular vazada com dimensões: 750 mm de profundidade, 550 mm de largura e 50 de altura;
- 01 x Junta universal de 3/8" para acoplamento do eixo na plataforma propiciando 2 graus de liberdade, sendo que utilizamos apenas um deles (figura 11);



Figura 11 – Junta universal utilizada no protótipo

- 02 x Dobradiças de porta para acoplamentos entre a plataforma e os outros dois eixos, servindo assim para equilibrar o segundo grau de liberdade que não utilizamos.

A figura 12 a seguir mostra o protótipo final em movimento de subida e a figura 13 mostra a plataforma na posição de descida.



Figura 12 – Protótipo em movimento de subida



Figura 13 - Protótipo em movimento de descida

6. Detalhamento Elétrico

O principal componente elétrico do *Cinemotion* é, sem dúvida, o motor elétrico. Motores elétricos podem ser definidos como equipamentos cujo funcionamento baseia-se no giro de bobinas, que são orientadas pela ação de uma força magnética. Essa, exercida por um campo magnético sobre uma corrente elétrica. Em síntese, motores transformam a energia elétrica em energia mecânica e seus tipos são descritos na figura 14 abaixo.

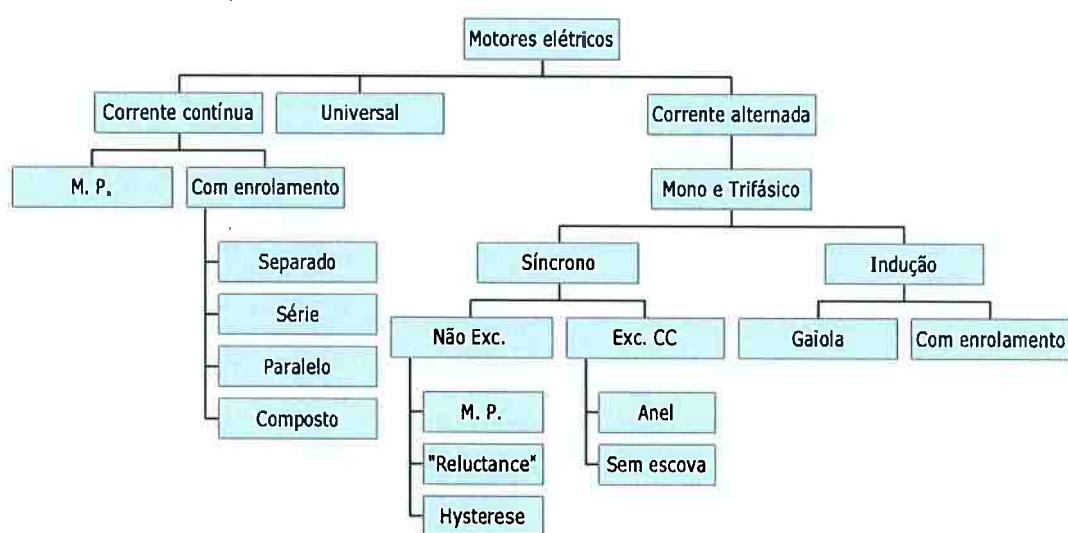


Figura 14 - Tipos de Motores Elétricos

6.1. Motores CC

Motores de corrente contínua são motores de custo elevado e, além disso, precisam de uma fonte de corrente contínua, ou de um dispositivo que converta a corrente alternada comum em contínua. Podem funcionar com velocidade ajustável entre amplos limites e se prestam a controles de grande flexibilidade e precisão. Por isso seu uso é restrito a casos especiais em que estas exigências compensam o custo muito mais alto da instalação.

6.2. Motores CA

Já os motores de corrente alternada são mais utilizados porque a distribuição de energia elétrica é feita em corrente alternada. Seu princípio de funcionamento se baseia no campo girante, que surge quando um sistema de correntes alternadas trifásico é aplicada em pólos defasados fisicamente de 120° . Dessa forma, como as correntes são defasadas 120° elétricos, em cada instante, um par de pólos possui o campo de maior intensidade, causando a associação vetorial desse efeito o campo girante.

Os principais tipos de motores de corrente alternada são:

- Motor síncrono: funciona com velocidade estável; utiliza-se de um induzido que possui um campo constante pré-definido e, com isso, aumenta a resposta ao processo de arraste criado pelo campo girante. É geralmente utilizado quando se necessita de velocidades estáveis sob a ação de cargas variáveis. Também pode ser utilizado quando se requer grande potência, com torque constante.
- Motor de indução: funciona normalmente com velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo, é o motor mais utilizado de todos, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas encontradas na prática. Atualmente é possível controlarmos a velocidade dos motores de indução com o auxílio de conversores de freqüência.

Portanto o motor por nós escolhido para nosso Trabalho de Formatura será motor elétrico de corrente alternada do tipo de motor indução. Certificamos nossa escolha com o Prof. Dr. Alexandre Kawano que confirmou nossa opção de motor. Iremos utilizar os motores da Siemens, conforme possível acerto com a empresa, o modelo será definido dentre os existentes.

6.3. Motores de Indução

O motor de indução é um motor fácil de ser acionado, porém seu controle possui algumas dificuldades, além da necessidade de sensores de posição (potenciômetros) e também de uma caixa de redução, pois o motor possui altas rotações.

Iremos utilizar um motor que tenha motofreio, isto é, um motor auto travante quando desligado ou na falta de energia. Isso contribui para segurança dos participantes na entrada, saída e durante o funcionamento. Além disso, ajudará no momento de sincronia com o vídeo, fazendo com que o motor fique realmente parado quando necessário.

O dimensionamento do motor foi baseado na potência que desejamos obter e nas acelerações e velocidades em que a plataforma se moverá, assim, obtemos os valores abaixo.

Determinação da Velocidade:

Desejamos que a plataforma desça em torno de 0,5 m em 0,5 segundo, assim encontramos a velocidade de 1 m/s para a plataforma.

Determinação da Aceleração:

$$v^2 = v_0^2 + 2.a.\Delta s$$

$$1 = 0 + 2.a.0,5 \rightarrow a = 1 \text{ m/s}^2$$

Determinação da Potência:

$$W = T.v.\cos\theta$$

$$T = 6250/3 = 2085 \text{ Nm} \rightarrow \text{torque por motor}$$

Pior caso $\rightarrow \theta = 45^\circ$ (θ ângulo entre o eixo de sustentação da plataforma e o fuso de esferas)

$$W = 2085.1.\cos(45^\circ) = 1475 \text{ W} = 2 \text{ HP}$$

Analizando um catálogo técnico da Siemens, encontramos diversos tipos de motores que atendem essa necessidade nossa.

Quanto ao redutor, será utilizado motor com maior rotação, isto é 3600 rpm, sendo necessário o uso de engrenagens para reduzir a rotação do motor conforme a necessidade de torque e velocidade.

6.4. Inversor de Freqüência

Será necessário o uso de inversores, pois estes servem para alterar a freqüência, e com isso regulam a velocidade que o motor funciona. No nosso trabalho, simplesmente deslocaremos o fuso na horizontal, e não precisamos ser altamente precisos em seus movimentos, basta ele se deslocar num sentido e no outro, na própria rotação do motor.

O objetivo do uso de inversor será para iniciarmos o movimento do motor a alta freqüência (grande aceleração) e diminuirmos a aceleração conforme o fim da movimentação, para que apresente maior emoção e que o movimento seja mais suave, real e melhor para os participantes (sem trancos).

6.5. Porta Analógica

Através de um computador realizaremos a programação do controlador e transmissão de sinais analógicos e digitais. A comunicação com os motores será feita através da porta serial do computador e com o sensor de posição (potenciômetro) será utilizada a porta de *joystick*. O sinal recebido do potenciômetro indicará a posição da castanha, permitindo a programação da plataforma de forma segura.

Como o sinal do potenciômetro é analógico, utilizaremos a porta de *joystick* para a aquisição desses dados. Essa porta apresenta um conector DB15 ilustrado na figura 15 a seguir e sua pinagem é mostrada na tabela 6 em seguida.

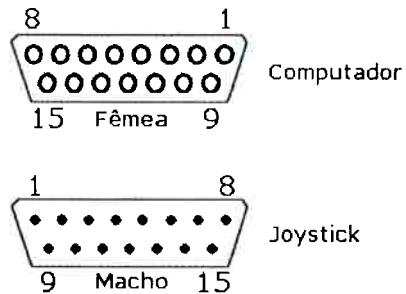


Figura 15 - Diagrama DB15 da Porta de Joystick

Tabela 6 - Pinagem de E/S Analógica

Pino	Nome	Descrição
1	+5V	+5 Volts DC
2	B1	Botão 1 (Botão 1 Joystick 1)
3	X1	Eixo Horizontal 1 (Joystick 1)
4	GND	Terra (Massa)
5	GND	Terra (Massa)
6	Y1	Eixo Vertical 1 (Joystick 1)
7	B2	Botão 2 (Botão 2 Joystick 1)
8	+5V	+5 Volts DC
9	+5V	+5 Volts DC
10	B4	Botão 4 (Botão 2 Joystick 2)
11	X2	Eixo Horizontal 2 (Joystick 2)
12	GND	Terra (Massa)
13	Y2	Eixo Vertical 2 (Joystick 2)
14	B3	Botão 3 (Botão 1 Joystick 2)
15	+5V	+5 Volts DC

Para conectar sensores analógicos à porta de jogos usando a entrada analógica, um dos seguintes pinos deverá ser usado 3, 6, 11 ou 13. Como nosso projeto apresenta apenas três sensores deste tipo, a porta de joystick é suficiente.

A figura 16 a diante mostra a soldagem dos dois fios ao conector DB15. Observe que um fio está conectado à tensão de 5 V (pino 1) e o outro ao pino correspondente à entrada analógica (pino 3) e ainda uma ponte entre os pinos 1 e 6 (em curto).

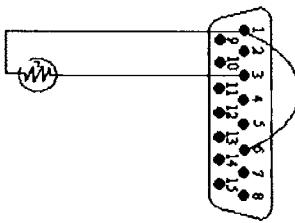


Figura 16 - Esquema de Soldagem do Sensor à Porta Analógica

6.6. Porta Paralela

O computador nomeia as portas paralelas, chamando-as de LPT1, LPT2, LPT3 etc, mas, a porta física padrão de seu computador é a LPT1, e seu endereço padrão é 378h.

A porta paralela está ligada diretamente à placa mãe do computador, por isso, deve-se tomar muito cuidado ao conectar circuitos eletrônicos a essa porta, pois, uma descarga elétrica ou um componente com a polaridade invertida, poderá causar danos irreparáveis ao seu computador, seja coerente.

Para o acionamento dos motores, utilizaremos a porta paralela, usada comumente para a impressora. Esta porta apresenta um conector do tipo DB25 ilustrado na figura 17 e sua pinagem é mostrada na tabela 7 em seguida.

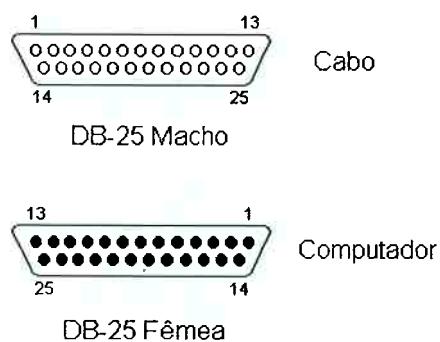


Figura 17 - Diagrama DB25 da Porta Paralela

Tabela 7 - Pinagem de E/S Digital

Pino	Descrição
1	Strobe
2	D0
3	D1
4	D2
5	D3
6	D4
7	D5
8	D6
9	D7
10	Acknowledge
11	Busy
12	Paper End
13	Select Out
14	Auto Feed
15	Error
16	Init
17	Select In
18	GND
...	GND
25	GND

Na figura 18 abaixo se apresenta uma descrição dos pinos de entradas e saídas de dados.

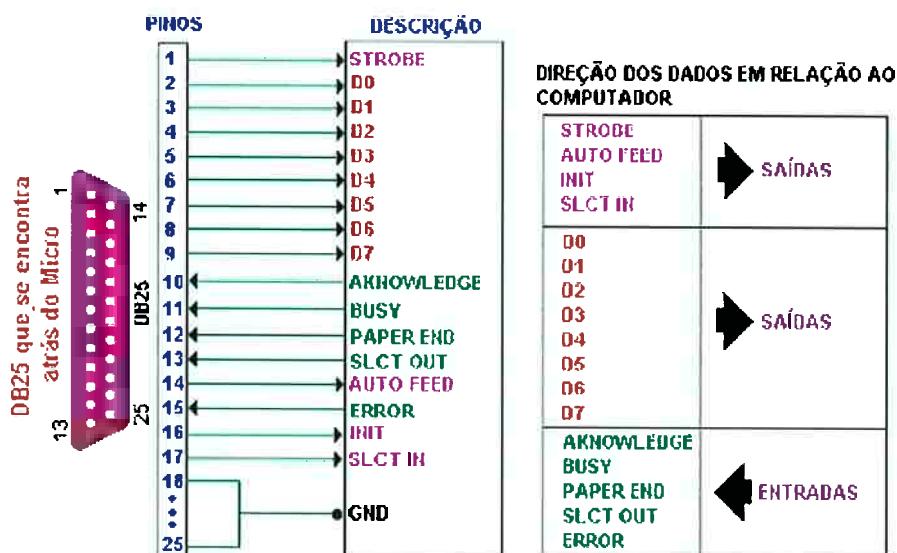


Figura 18 - Diagrama de Entradas e Saídas

Para este projeto, utilizaremos três sinais digitais por motor, sendo cada um desses fios ligados a um relé e depois ao motor. O relé será responsável pela diferenciação e chaveamento do sentido de rotação.

6.7. Potenciômetro

Nosso sensor de posição será um potenciômetro preso a guia com uma calibração feita via software para o tamanho da guia, permitindo a movimentação da plataforma de forma segura e prevenindo contra posições extremas com momentos máximos e singularidades.

Os potenciômetros são resistores variáveis, ou seja, dispositivos cuja resistência elétrica pode ser variada, pois são constituídos por um elemento de resistência sobre o qual corre um cursor. Conforme a posição deste cursor, a resistência apresentada pelo potenciômetro é diferente. Há potenciômetros lineares, em que o cursor percorre um caminho linear, e angulares, no qual o cursor percorre um arco de círculo. A relação entre o ângulo varrido e a resistência pode ser linear ou logarítmica.

Em nosso projeto iremos utilizar um potenciômetro angular sem fim preso a guia conforme a ilustração da figura 19.

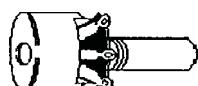


Figura 19 - Ilustração de um Potenciômetro

Muitas vezes os sinais obtidos possuem muitos ruídos, que podem ser facilmente filtrados através do uso de um capacitor em série.

6.8. Circuito Elétrico

Para o acionamento dos motores desenvolvemos um circuito dividido em duas partes: a primeira será responsável pelo funcionamento dos relés e, a segunda, através do controle dos relés rotacionaremos o motor no sentido horário ou anti-horário.

Os circuitos estão representados na figura 20 a seguir.

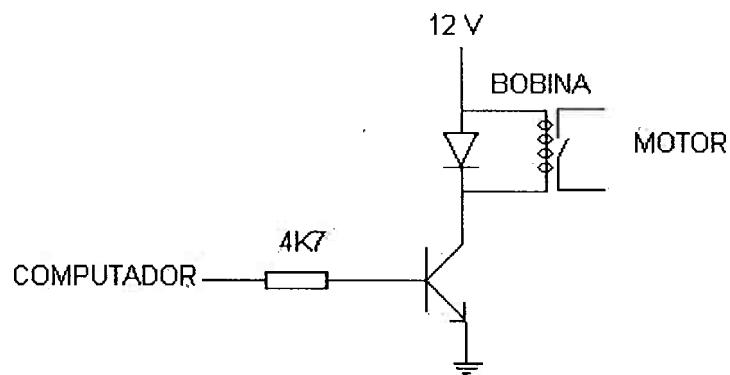


Figura 20 - Circuito de Alimentação do Relé

Nesta figura anterior mostra o circuito que recebe o sinal da porta paralela e junto com a fonte de 12 V aciona o relé para a lógica do motor.

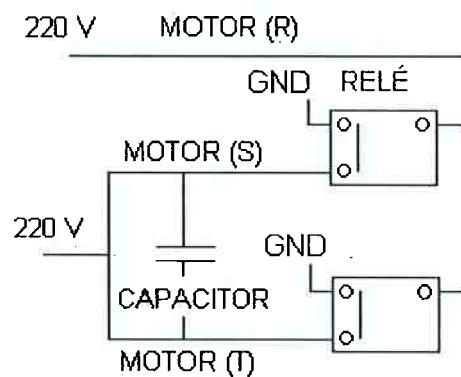


Figura 21 - Acionamento do Sentido de Rotação

Nesta figura anterior (figura 21) mostra o circuito que indica qual relé será chaveado. Sempre ocorrerá uma combinação de R com S ou de R com T, ou seja, um rotacionará no sentido horário e o outro no sentido anti-horário.

6.9. Sensor de Posição

Para atingir o objetivo de realizar um controle em malha fechada, foi necessário estudar muitos tipos de sensores de posição.

Além do potenciômetro, pensamos na possibilidade de utilizarmos um sensor capacitivo, porém, foi descartada esta opção devido ao elevado preço.

Posteriormente, projetamos como realizar o controle através de um transistor fotoelétrico.

A figura 22 abaixo ilustra este tipo de transistor

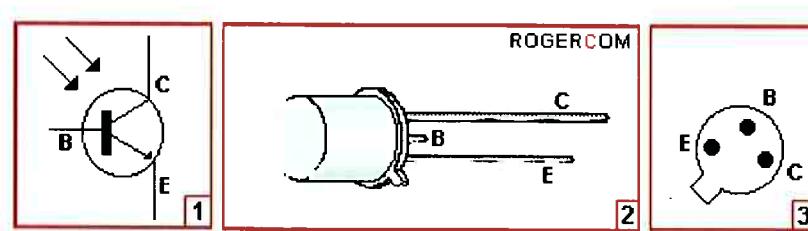


Figura 22 – Transistor fotoelétrico

Através do esquema abaixo, tentamos adaptá-lo e utilizá-lo em nossa guia linear, porém encontramos problemas que serão explicados em breve.

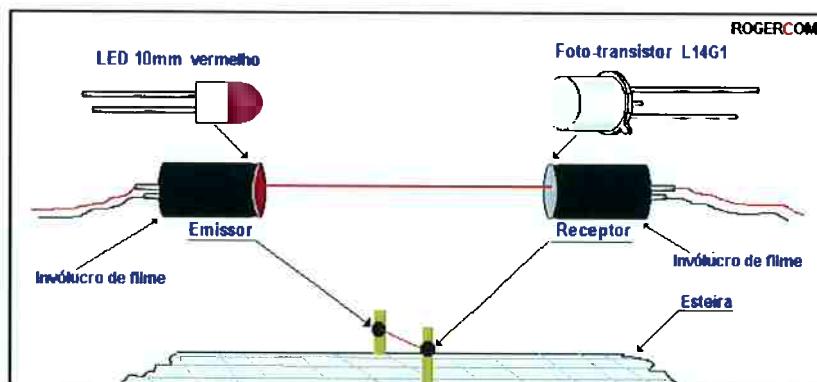


Figura 23 – Funcionamento real do emissor / receptor

O transistor ficaria de um lado da guia linear, e o LED ficaria do outro lado. Assim que a castanha passasse pelo meio deste conjunto, o transistor e o circuito que projetamos, utilizando o buffer 74LS541 mandaria um sinal para a porta paralela, e interromperia o movimento da castanha. Todavia, o grande problema

encontrado foi que o motor ainda dava muitas voltas após passar pelo sensor devido sua inércia. Essa inércia é proporcional a carga que está aplicada na plataforma, assim seria assumir um erro muito alto. Logo, fomos obrigados a descartar esta opção, para realizar um melhor controle.

Abaixo, a figura 24 mostra o circuito que utilizamos nesses testes.

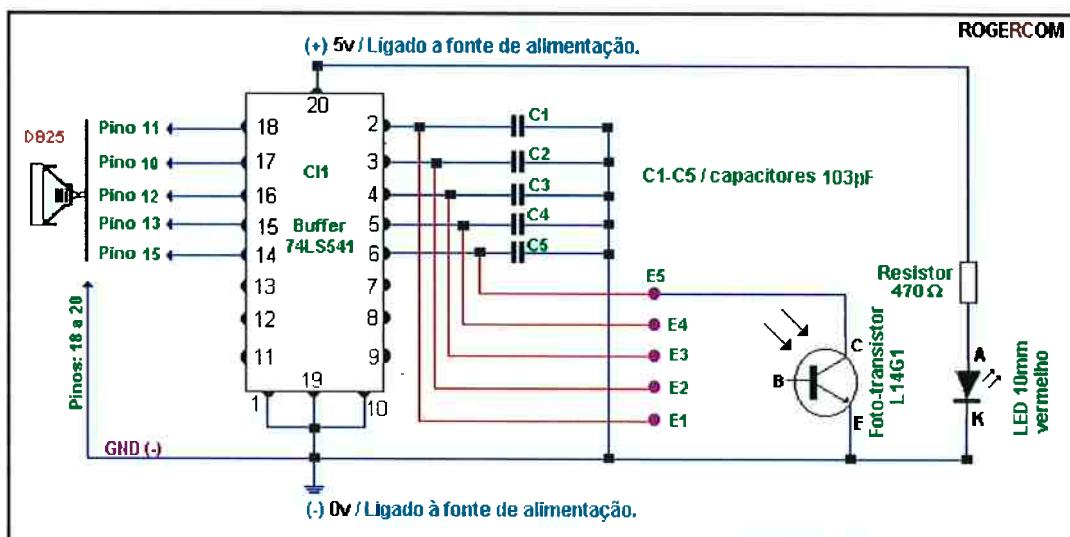


Figura 24 – Circuito para utilizar transistor fotoelétrico

7. Desenhos e Simulação

Como foi acertado no Cronograma do Primeiro Semestre, íamos elaborar uma simulação no início do Segundo Semestre em software especializado da plataforma e seus movimentos, a fim de certificarmos sua funcionalidade.

Pensamos a princípio em utilizar dois softwares para a simulação: ProEngineer ou Visual Nastran 4D.

Como alternativa, buscamos novamente o Professor Tarcísio Antônio Hess Coelho que nos apresentou seu aluno de Iniciação Científica para nos ajudar com a simulação. Concluímos então que deveríamos utilizar o Visual Nastran, pois havia disponibilidade para uso e a relatividade simplicidade de uso do software. Para o uso deste software, deveríamos a princípio fazer todos os desenhos em CAD para posteriormente exportá-los para o Visual Nastran.

O procedimento realizado foi o seguinte:

- SolidWorks 2004: elaboramos desenhos dos componentes mecânicos, como juntas, eixos, fusos de esferas, plataforma e motores;
- Autocad 2005: elaboramos desenhos de peças e conjunto;
- Visual Nastran 4D 2004: utilizado em parceria com o SolidWorks e foi responsável pela simulação do mecanismo, cálculos dimensionais das peças da estrutura e determinação de materiais.

Com a ajuda dos dois e algumas pesquisas, pudemos construir os desenhos das peças e do conjunto da plataforma no software Solid Works 2004. Com os desenhos prontos e revisados, exportamos para o software Visual Nastran e configuramos adequadamente os componentes para a simulação.

Por fim, neste mesmo software, realizamos um estudo de elementos finitos para mapear os esforços nas situações mais críticas nas peças estruturais. Assim, obtivemos alguns vídeos de simulação nas condições reais de uso do *Cinemotion*, algumas imagens de como será todo o conjunto final e o estudo de elementos finitos para os componentes principais (eixos) em posições críticas de máximos esforços exigidos.

O Visual Nastran é um modelador de elementos finitos e pós-processador que permite realizar análises de engenharia. Originalmente desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), de onde provem seu nome (*Nasa Stress Analisys Program*), o programa tem uma série de funcionalidades para a simulação cinemática.

Hoje, o Visual Nastran é usado extensamente durante todo o mundo nas indústrias aeroespaciais, automotivas e marítimas. Considera-se o padrão da indústria para a análise das estruturas aeroespaciais, oferecendo em uma única interface todas as ferramentas necessárias para o desenvolvimento de simulações e análises sofisticadas evitando os custos de conversão de arquivos e aumentando a confiabilidade e a produtividade do projeto.

A geometria pode ser importada de uma fonte externa ou criada no próprio software. É recomendado que se faça à importação de um programa em CAD. As ferramentas de construção do Visual Nastran são limitadas e consomem muito tempo, entretanto são essenciais para a edição de geometrias importadas. O Visual Nastran é uma ferramenta que permite a simulação de mecanismos e a análise de estruturas dos modelos previamente criados no SolidWorks. Os desenhos em CAD modelados em SolidWorks podem ser carregados no Visual Nastran para que sejam feitas simulações e análises desejadas do esquema.

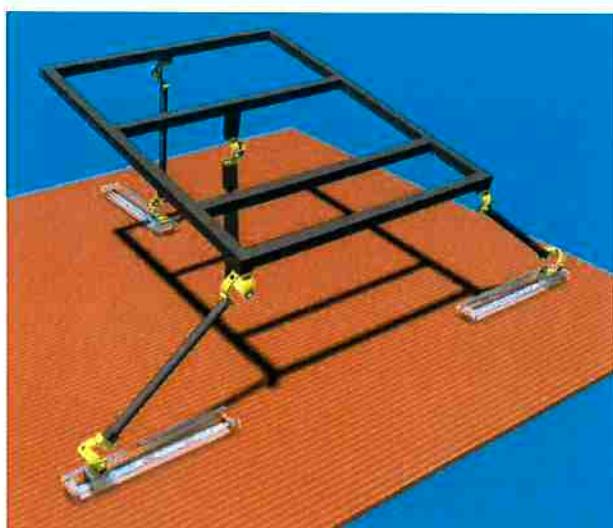


Figura 25 – Resultado da simulação do *Cinemotion*

Como resultado (figura 25), pôde concluir que nossa solução está correta e que a plataforma funciona adequadamente conforme nossas especificações, ou seja, o projeto do semestre anterior foi bem dimensionado, pois não atinge grandes esforços nem posições de singularidade.

Por fim, elaboramos em Autocad 2005 os desenhos de fabricação da plataforma e dos eixos auxiliares. No Anexo A, estão os desenhos de conjuntos de todas as peças utilizadas neste projeto.

8. Soluções Alternativas

Para a aquisição dos componentes elétricos e mecânicos não tivemos muitos recursos disponíveis, por isso, fomos atrás de fornecedores e alguns contatos para facilitar nossa construção.

Para os componentes mais caros tentamos conseguir doação ou empréstimo, como foi o caso dos motores e guias, e para os demais componentes com preços mais acessíveis investimos nós mesmos.

8.1. Negociação com Fornecedores

Realizamos durante o período de transição entre as duas etapas do Trabalho de Formatura a cotação em paralelo com fornecedores para equipamentos elétricos Siemens e Weg, e para equipamentos mecânicos THK, NSK e FAG.

Tentamos um contato na Siemens de ex-aluno que atualmente trabalha na empresa para o fornecimento dos motores, redutores, inversores e *drives* na forma de doação ou empréstimo. Elaboramos uma apresentação técnica, ressaltando algumas vantagens para a empresa, mas mesmo assim não conseguimos os produtos.

Para a parte mecânica, fomos atendidos pelos fornecedores THK e NSK, porém só recebemos cotação da THK. Assim como aconteceu com a Siemens, descrevemos todo nosso projeto, elaboramos uma apresentação e negociamos, mas não conseguimos nenhum desconto, empréstimo ou doação.

Como precisamos de três conjuntos de motores, fusos de esferas e guias lineares, o preço ficou muito alto e longe de ser viável para a realização de um Trabalho de Formatura.

Os fornecedores de equipamentos elétricos Weg e mecânicos FAG nunca nos responderam.

8.2. Soluções Encontradas

Uma vez que não conseguimos os materiais necessários para a construção do *Cinemotion*, pensamos em soluções alternativas para a construção.

Fomos então atrás destes equipamentos dentro da própria Escola Politécnica ou com fabricantes de portões automáticos.

Em um primeiro momento, falamos com a Professora Izabel Fernanda Machado do departamento PMR a respeito de alguns componentes de um torno que não está mais sendo utilizado. Dentre as peças, somente poderíamos utilizar dois fusos de esferas, porém ambos eram diferentes entre si, com passos e cursos pequenos.

Como estes equipamentos não têm serventia para nosso projeto, ela nos sugeriu que, em última hipótese, poderíamos nós mesmos usinar os fusos e construir as guias lineares.

Num segundo momento, procuramos por equipamentos de portão automático. Visitamos uma loja revendedora de equipamentos da marca PPA e Peccinin e lá pudemos visualizar alguns componentes úteis ao nosso projeto.

Constatamos que todos equipamentos não atendiam nossas exigências quanto às especificações de projeto. Existem alguns motores elétricos disponíveis, porém todos eles com baixa potência, alta redução e sem inversores de freqüência. Quanto às guias, os modelos maiores atendem nossas especificações de curso e passo, porém elas apresentam baixa resistência a esforços (100 kg aproximadamente) cada uma.

Em relação a custos, os componentes de portões automáticos são muito mais baratos que os outros, sendo que um conjunto de motor de 1/3 HP e uma guia custam cerca de 10% do custo de produtos industriais.

Assim, devido ao baixo custo comparado a outras empresas, resolvemos adaptar nossa solução para os produtos de portões automáticos. Adquirimos então os motores de 1/3 de HP de potência e guias lineares de passos 10 mm e comprimentos de 1.500 mm, já acopladas aos motores. Desta maneira, desistimos de usinar nossas próprias guias lineares e demais acoplamentos.

Temos as seguintes adaptações do nosso projeto com essa solução alternativa:

- Fusos de esferas recirculantes e guias lineares substituídos por uma guia Peccenin com passo de 10 mm e capacidade de carga de 400 kg por guia;
- Motor elétrico de indução de 2 Hp e 3600 rpm com motofreio substituído por motor elétrico de indução de 1/3 HP, 220 V, 1750 rpm trifásico (figura 16);

- Conjuntos de portões automáticos já apresentam acoplamento para guia no motor, não sendo mais necessário o uso de engrenagens ou outros equipamentos;
- Dimensões da plataforma reduzida para se adequar à potência do motor e capacidade da guia;
- Capacidade reduzida para 02 participantes;
- Movimentação da plataforma com velocidade constante devido à ausência de inversor de freqüência;
- Velocidade máxima de movimentação da plataforma de 1 m/s alterada para 0,4 m/s constante.



Figura 26 - Foto do Motor Elétrico

Como descrito no Detalhamento Elétrico, pensamos em utilizar um potenciômetro como sensor de posição da castanha controlado por um programa de computador comunicado através da porta de joystick do computador.

Os problemas relacionados a esta aplicação envolviam não apenas custos, mas sim a falta do produto no mercado e a complexidade de instalação do sensor na guia, que faria uso de engrenagens para acoplamento e programação de software para comunicação.

Como solução pensamos, primeiramente, no uso de *encoders*, que facilitaria nosso controle por ser um sinal digital. Porem encontramos alguns problemas relacionados a custos novamente. Em seguida, conversamos com o Prof. Dr. Horikawa que nos sugeriu o uso de sensores (*switch*) fotoelétricos, facilmente

encontrados, instalados, controlados com o uso da porta paralela por ser sinal digital e apresentam baixo custo.

As desvantagens desse tipo de sensor está no fato de serem peças móveis sujeitas à quebra e desgaste. Durante a movimentação do *Cinemotion* surge outro problema, a vibração pode fazer com que o sensor repique, falseando o sinal e acarretando a perda ou sobreposição de sinais. Como nosso projeto não exige grande precisão, podemos aceitar esses erros.

Como vantagem os sensores fotoelétricos apresentam resposta rápida, pois trabalham com luz, e baixa inércia. Seu funcionamento é muito simples, o tipo mais simples de sensor consiste em um elemento foto-sensível que tem a luz incidente interceptada quando a parte móvel de um dispositivo passa diante dele. Esse dispositivo será uma pequena haste presa a guia conforme ilustra a figura 27 a seguir.

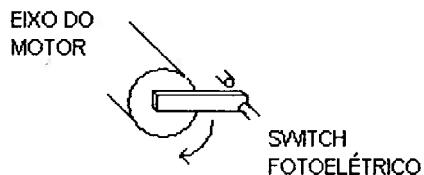


Figura 27 - Dispositivo Elaborado para Interromper o Sensor Fotoelétrico

Cada interrupção provocará a queda de tensão para 0 V e nos outros momentos esse valor será de 5 V, sendo possível saber o número de voltas dada pelo motor e, consequentemente, a posição da castanha multiplicando pelo passo da guia. Faremos com que esse sinal chegue a um software via porta paralela do computador.

Com essas duas opções descritas anteriormente nosso sistema será caracterizado como Sistema de Malha Fechada, pois apresenta controle de posição através de sensores.

Uma terceira alternativa seria o controle da posição via software, ou seja, não usando sensores. Desta maneira, precisa-se que a guia tenha sempre uma posição inicial padrão que não pode ser alterada de maneira nenhuma.

O sensor de posição utilizado no protótipo foi de idéia e funcionalidade muito simples. Colocamos um circuito em aberto com dois contatos: um deles fixo, e outro móvel que gira conforme a rotação do motor.

A figura 28 abaixo explica seu funcionamento.



Figura 28 – Funcionamento do sensor

Conforme o giro do motor, os contatos se fecham uma vez por volta fazendo com que o sinal chegue ao pino 11 da porta paralela e ser lido pelo programa, podendo identificar assim que o motor girou uma volta.

Nós realizamos algumas medidas e chegamos que nossa guia apresenta a seguinte relação: 10 voltas completas do motor equivalem a 50 mm.

Um ponto a favor desta montagem foi a fácil construção do sensor e sua funcionalidade se mostrou adequada ao nosso protótipo.

Como aspectos negativos, encontramos dificuldade de acoplar o fio que vai do motor ao computador, pois este girava e quebrava. Pensamos em utilizar um disco condutor de eletricidade parado e um bom contato com o motor para não perdermos sinal em altas rotações. Um outro ponto contra são os contatos que devem ser maiores e mais flexíveis pra não ocorrer perda ou sobreposição de voltas.

9. Vídeo e Software

Conforme já mencionado anteriormente, utilizamos os seguintes softwares anteriormente: SolidWorks 2004 para a elaboração dos desenhos dos componentes mecânicos; Autocad 2004 para elaborarmos os desenhos de peças e conjunto; e Visual Nastran 4D 2004, utilizado em parceria com o SolidWorks para simulação do mecanismo, cálculos dimensionais das peças da estrutura e determinação de materiais. A determinação de alguns destes softwares foi feita com a ajuda do Prof. Tarcísio, que se prontificou em ajudar posteriormente no uso deles.

Já o vídeo que será apresentado na tela nos será fornecido por nosso orientador, Professor Marcos Barreto, cabendo a nós apenas entendê-lo e alterar caso haja necessidade. Desta maneira, devido a alta complexidade do projeto e em virtude da falta de tempo, não realizamos esta fase do projeto, cabendo apenas a quem for construir o *Cinemotion* determinar um vídeo real de montanha russa, ou de qualquer outra coisa que se queira simular, e sincronizar os três conjuntos de motores para que a plataforma se move de acordo com a necessidade.

Através do Visual Basic 6.0 fizemos os comandos e controles capazes de movimentar nossos motores de acordo com a trajetória da montanha russa. No capítulo de Controle iremos descrever o programa que desenvolvemos para comunicar com o motor. Utilizamos uma biblioteca do Visual Basic para acessarmos a porta paralela do computador e acionar um circuito elétrico, que através do chaveamento de um relé liga e desliga o motor no sentido correto de rotação para movimentar o eixo para cima ou para baixo.

10. Resultados da Simulação

Com a simulação feita no Visual Nastran 3D, pudemos comprovar que o dimensionamento feito por nós estava correto, pois se pode observar como o material se comportaria com as forças externas e como resistiram a pressão exercida pela plataforma em movimento.

As figuras abaixo ilustram o pior caso da movimentação da plataforma, que ocorre no momento de maior inclinação.

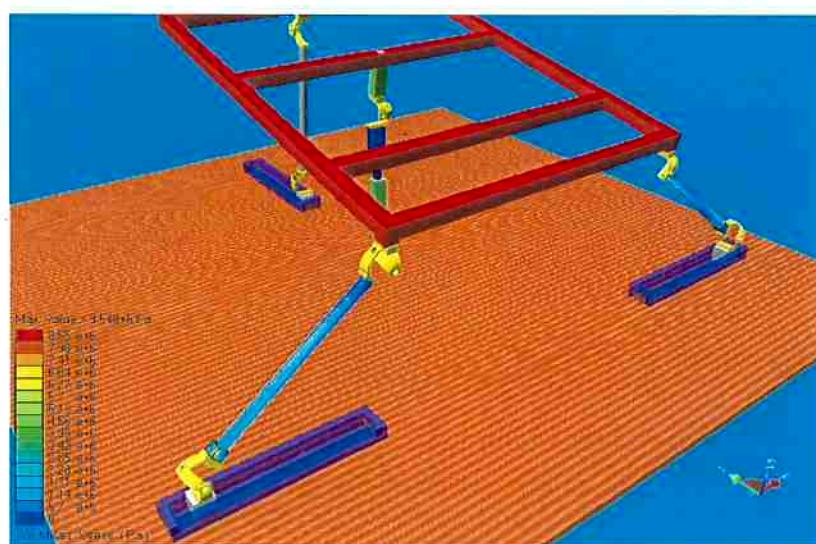


Figura 29 - Plataforma em Movimento de Subida

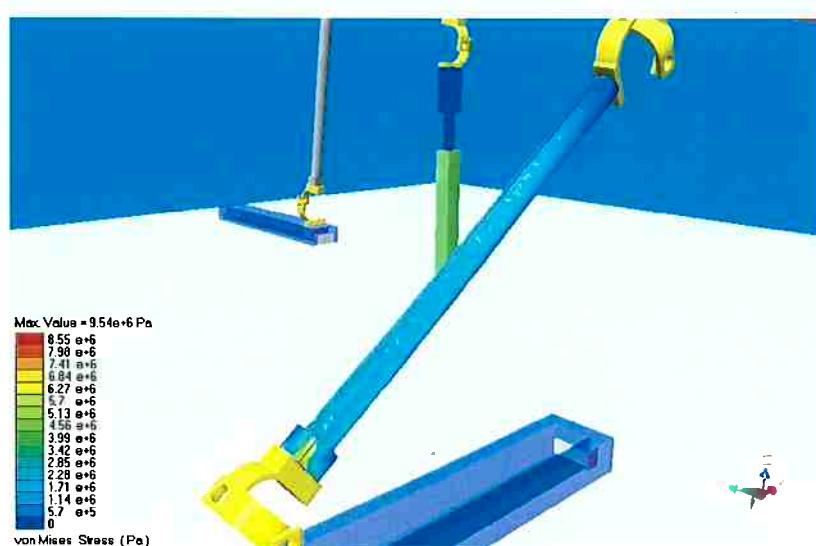


Figura 30 - Detalhamento do Braço em Subida



Figura 31 - Plataforma em Movimento de Descida

As próximas figuras descrevem alguns movimentos da plataforma. Existem exemplos em que a plataforma está renderizada (com acabamento de acordo com o material real) e outros exemplos em que as peças estão coloridas, para melhor visualização.

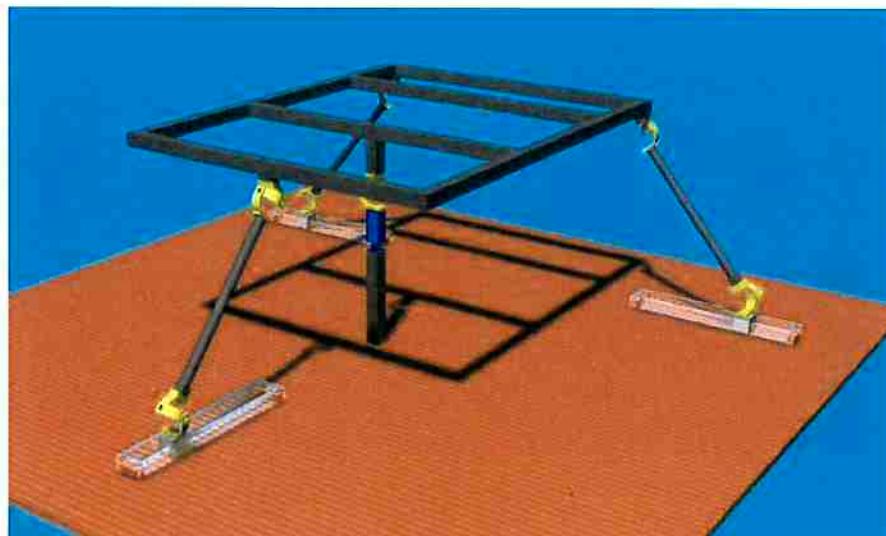


Figura 32 - Plataforma em Posição Inicial

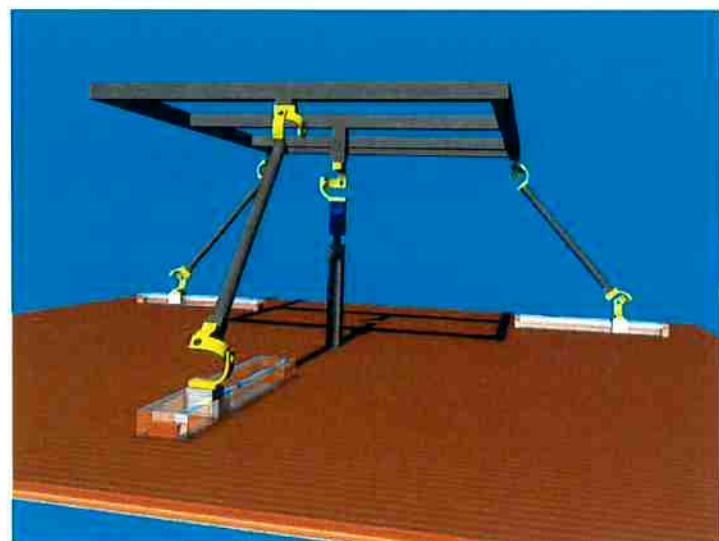


Figura 33 - Vista Frontal da Plataforma na Posição inicial



Figura 34 - Detalhe da Cadeia Passiva e Junta Universal

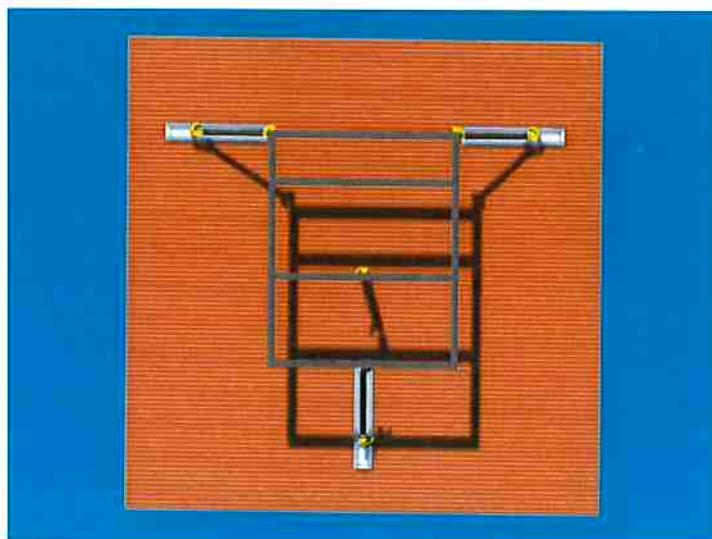


Figura 35 - Vista Superior da Plataforma



Figura 36 - Vista Lateral da Plataforma na Posição Inicial

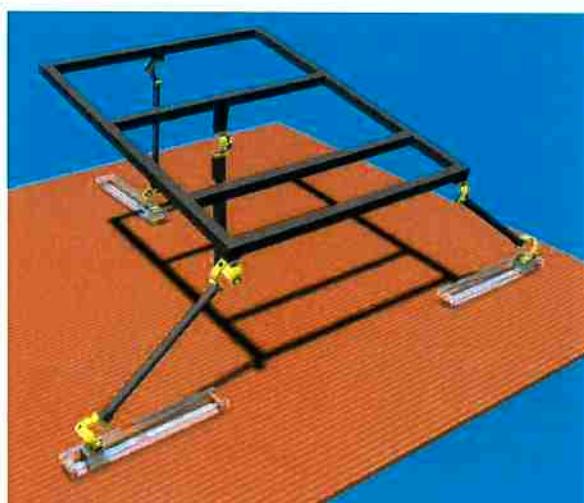


Figura 37 - Plataforma em Movimento de Subida

11. Controle

Para fazermos a programação dos motores utilizamos a biblioteca "inpout32.dll" do Visual Basic 6.0. Esta biblioteca foi colocada no diretório de bibliotecas do Windows XP (\Windows\System32) para ser reconhecida por nosso programa.

A comunicação entre o nosso software e o motor foi através da porta paralela, conhecida também como a porta da impressora.

Primeiramente o programa deve declarar o uso da biblioteca, através do seguinte código:

```
'Declarações para usar porta paralela através da biblioteca inpout32.dll
```

```
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" Alias "Inp32" _
(ByVal PortAddress As Integer) _
As Integer
```

```
Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" Alias "Out32" _
(ByVal PortAddress As Integer, _
ByVal Value As Integer)
```

11.1. Controle de Malha Aberta

Nossa primeira solução foi o uso de controle de malha aberta, ou seja, enviamos um sinal ao motor sem receber nenhuma resposta. Esse tipo de controle é totalmente não indicado para nossa aplicação, pois a variação de carga implica em posições diferentes da plataforma para o mesmo programa.

O programa principal elabora um movimento no sentido horário por 3 segundos, desliga o motor e, em seguida, aciona o motor no outro sentido por mais 2 segundos e, por fim, desliga o motor.

Seu código está representado abaixo.

```
Option Explicit
Dim i, Value, tempo As Double
Dim PortAddress As Integer
```

```

Private Sub Form_Load()
'Programa principal usando inpout32.dll

'Rotacionar sentido horário
i = 1
tempo = 500000 '3 segundos
While i < tempo
    Value = 1
    PortAddress = &H378
    Out PortAddress, Value
    i = i + 1
Wend

'Desliga motor
Value = 0
PortAddress = &H378
Out PortAddress, Value

'Rotaciona sentido anti-horário
i = 1
tempo = 350000 '2 segundos
While i < tempo
    Value = 2
    PortAddress = &H378
    Out PortAddress, Value
    i = i + 1
Wend

'Desliga motor
Value = 0
PortAddress = &H378
Out PortAddress, Value

End Sub

```

11.2. Controle de Malha Fechada

Alteramos nosso programa que com o uso de um sensor digital, recebe uma resposta e envia uma correção ao motor. Esse tipo de motor é muito melhor que o anterior e não implica em alterações de funcionamento da plataforma para variações de carga.

Neste programa, o motor é acionado por 5 pulsos de sinal do sensor, ou seja, a castanha se move por 5 passos (50 mm) e, em seguida, mais 5 movimentos de 5 passos cada, resultado em movimento de 250 mm.

```
Private Sub Form_Load()
'Programa principal usando inpout32.dll

'Desliga todas as saídas da porta paralela
PortAddress = &H378
Value = 0
Out PortAddress, Value

'MOVIMENTO 1 - 5 movimentos de 1 passo cada
For iteracao = 1 To 5

'Liga motor no sentido horário
PortAddress = &H378
Value = 2
Out PortAddress, Value

'Recebe sinal do sensor
Somador = 0
While Somador <= 254
    Recebe = Inp(&H379)
    If Recebe = 254 Then
        Somador = Somador + Recebe
    End If
Wend

'Desliga o motor
PortAddress = &H378
Value = 0
```

Out PortAddress, Value

'Temporizador

For i = 1 To 700000

Next i

Next interacao

'Temporizador

For i = 1 To 1000000

Next i

'MOVIMENTO 2 - 5 movimentos de 5 passos cada

For iteracao = 1 To 5

'Liga motor no sentido horário

PortAddress = &H378

Value = 2

Out PortAddress, Value

'Recebe sinal do sensor

Somador = 0

While Somador <= 1270

 Recebe = Inp(&H379)

 If Recebe = 254 Then

 Somador = Somador + Recebe

 End If

Wend

'Desliga o motor

PortAddress = &H378

Value = 0

Out PortAddress, Value

'Temporizador

For i = 1 To 700000

Next i

Next interacao

```

PortAddress = &H378
Value = 0
Out PortAddress, Value

End Sub

```

11.3. Comunicações (Entradas e Saídas)

Os valores enviados para a porta paralela através do programa são todos em binário, e podem ser explicados através da tabela abaixo.

Tabela 8 - Valor em Binário para cada Pino de Saída de Dados

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	1	1	1

Esta tabela 8 está enviando dados através dos pinos 2, 3 e 4, que correspondem a D0, D1 e D2 (que já foram abordados na descrição da porta paralela). Que em binário, significa o número 7.

Ou seja, se quiséssemos acionar somente o pino 2, deveríamos colocar o valor 1 no programa.

No caso do nosso motor, nunca devemos combinar o pino 2 com o pino 3, pois o motor entraria em curto-circuito. Por isso que utilizamos os valores 1 ou 2 para rotacionarmos o motor.

Quando queremos desligar o motor, basta enviar o valor 0.

Para recebermos um sinal digital, usamos o pino 11 chamado de *busy* e mais uma pino entre o 18 e o 25 como terra. Quando o sinal do sensor está em zero, ou seja, circuito em aberto, recebemos o número decimal 126 que representa 01111110 em binário.

Esse número em binário é subdividido conforme a descrição da figura 38 a seguir. As três últimas posições não representam nada, e as outras 5 posições estão relacionadas com 5 entradas. Conforme a descrição na figura a seguir, sem nenhum sinal de entrada o valor recebido pelo programa é 126, pois o pino 11 está em 0 e as outras entradas em 1.

	S7	S6	S5	S4	S3	Nenhum pino relacionado nestas posições do byte			
Descrição / número dos pinos	busy 11	ack 10	paper end 12	slct out 13	error 15				
Byte lido em binário:	0	1	1	1	1	1	1	0	
Byte lido em Decimal:	126								

Figura 38 – Funcionamento real do emissor / receptor

Quando enviamos um sinal ao computador, o pino 11 vai a 1 e o número recebido pelo programa será 254 em decimal.

Isso explica os números 254 e 1270 (= 5 x 254) do programa.

12. Protótipo e Resultados

Iremos expor neste capítulo sobre a construção de um protótipo, quais foram às dificuldades encontradas na elaboração e os resultados encontrados.

Nosso protótipo foi elaborado visando a construção da plataforma com um grau de liberdade ativo, o que significa dizer que terá apenas um motor e guia movimentando a plataforma.

A construção foi feita da seguinte maneira:

- Conjunto de motor e guia já foi discutido anteriormente;
- Plataforma e os 03 eixos foram construídos em madeira, e seus acoplamentos foram feitos com dobradiças de portas e junta universal, conforme mostrado abaixo na figura 39;



Figura 39 - Acoplamento da Plataforma com Eixos

- O acoplamento da guia com o eixo foi feito através de um parafuso na horizontal soldado, conforme figura 40.



Figura 40 - Acoplamento do Eixo com a Guia

Como dificuldade construtiva encontrada foi a falta de espaço adequada e de algumas ferramentas específicas como equipamentos de solda e serra. Ainda pudemos perceber que em posições onde os eixos ficassesem com mais de 90º o movimento era dificultado devido à singularidade com a plataforma.

Para comprovarmos a funcionalidade do projeto, elaboramos um programa que realizou os seguintes movimentos:

- No início a plataforma estava na posição mais baixa, assim o primeiro movimento foi de subida para posição inicial seguido de um intervalo de tempo;
- O segundo movimento foi de subida da plataforma, como na realidade existe nas montanhas-russas, que durou cerca de 05 segundos;
- Depois da subida elaboramos um rápido movimento de descida por cerca de 05 segundos;
- Por fim, programamos alguns movimentos de subida e descida da plataforma com intervalos de tempo diferentes, simulando assim curvas e obstáculos, (translações e rotações).

As figuras 41 e 42 a seguir mostram a plataforma real durante um movimento de subida.



Figura 41 - Movimento de Subida do Protótipo



Figura 42 - Plataforma Real em Movimento de Subida

Desta maneira, a construção do protótipo nos serviu para completar as dificuldades existentes em um projeto e que não são possíveis de prever através do projeto ou simulação.

Pudemos observar algumas características da plataforma depois de montada que aumentarão sua funcionalidade, são elas:

- Ângulo de subida de 25º aproximadamente;
- Ângulo de descida de 40º aproximadamente;
- Movimentos estáveis e seguros;
- Rápida resposta do motor, e consequentemente, da plataforma;
- Robustez do conjunto como um todo, isto é, perfeita comunicação entre o software, circuito elétrico e motor, e ainda em harmonia com o conjunto mecânico.

Um problema enfrentado na construção do protótipo foi o atrito no acoplamento entre a haste de sustentação da plataforma e a castanha da guia linear.

Esse problema de atrito já era esperado e, conforme já mencionado anteriormente, ele é esperado também na cadeia passiva. Para o acoplamento, tentamos reduzir o atrito fazendo um revestimento interno no furo da haste com um material plástico liso, fazendo com que a superfície de contato entre as duas peças

ficasse lisa e “emperrando” menos, não ocasionando assim perda de energia do motor e aumentando o rendimento total do sistema.

Podemos mencionar que o resultado experimental mostra mais uma vez que o dimensionamento, os projetos teóricos e juntamente com a simulação nosso projeto estava correto e não precisou de alterações no momento da construção.

13. Discussão e Conclusão

Neste trabalho encontramos vários problemas os quais não esperávamos e que acabou nos tomando muito tempo, como por exemplo, a dificuldade em chegar numa estrutura mecânica que não houvesse travamentos em nenhum movimento. Pois alguns movimentos poderiam não ocorrer corretamente se simplesmente escolhêssemos uma junta errada ou devido ao mau dimensionamento do motor e guia.

Pelo fato de querermos montar uma plataforma que funcione da maneira mais real possível, não poderíamos fazê-la de qualquer jeito, ou simplesmente excluirmos partes do vídeo as quais não conseguimos simulá-las. Por isso houve uma certa demora na definição da estrutura.

Após a definição da estrutura, encontramos uma nova dificuldade. Um software que fosse capaz de simular o nosso problema com perfeição e máxima verossimilhança. Usamos, a princípio, o Working Model para simular, mas este é em 2D e não representou muito para nós. Após algum estudo mais aprofundado, chegamos ao software Solid Works para desenharmos em formato CAD, e o software Visual Nastran para a simulação e elementos finitos.

Sem dúvida onde encontramos maior dificuldade foi na aquisição dos componentes, que a princípio seriam doados ou emprestados. Todavia não conseguimos e tivemos que pensar em soluções alternativas, que foi o caso dos motores, guias e sensores.

Apesar de todas essas dificuldades encontradas em nenhum momento pensamos em desistir do tema escolhido ou reduzir nossas obrigações e objetivos com este trabalho. Em todo projeto, seja ele em qual área for, sempre haverá dificuldades e obstáculos que encontraremos, não significando desistência ou desmotivação, mas sim aprendizado.

Na parte elétrica e controle, tivemos algumas dificuldades, principalmente, em desenvolver um controle em malha fechada, que atendesse as necessidades do projeto, e que não tivesse um alto custo. Utilizamos o software Visual Basic, porém, os problemas encontrados não eram computacionais, eram problemas de precisão da posição desejada. Para solucionar isso, tivemos que realizar um controle de passo, o qual atendeu de melhor forma a nossa necessidade.

De um modo geral este Trabalho de Formatura contribuiu para nossa formação como Engenheiro, pois envolveu todas as fases de elaboração de um projeto real, que será enfrentado em nossas vidas a partir de agora.

Neste trabalho também encontramos grande ajuda de professores já citados anteriormente que nos ajudaram muito na parte mecânica, além do conhecimento nessa área do nosso orientador.

Para finalizar podemos destacar a importância do desenvolvimento tecnológico e o avanço da ciência em aplicações não convencionais, como foi o caso deste trabalho que visou a construção de um equipamento voltado ao entretenimento de pessoas. Poderíamos destacar ainda o uso de sistemas mecatrônicos com objetivo social, isto é, para facilitar a vida de pessoas doentes, deficientes ou de baixa renda.

14. Referências Bibliográficas

WIKIPÉDIA, a encyclopédia livre. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org>>. Acesso em 15 de abr. de 2006.

SIEMENS Brasil. Disponível em <<http://www.siemens.com.br>>. Acesso em 16 de abr. de 2006.

DESIGN Simulation Technologies. Disponível em <<http://www.design-simulation.com>>. Acesso em 10 de mai. de 2006.

SOLIDWORKS. Disponível em <<http://www.solidworks.com>>. Acesso em 02 de jun. de 2006.

MSC Software. Disponível em <<http://www.mscsoftware.com>>. Acesso em 02 de jun. de 2006.

NSK. Disponível em <<http://www.nsk.com.br>>. Acesso em 11 de jun. de 2006.

THK Brasil. Disponível em <<http://www.thk.com.br>>. Acesso em 11 de jun. de 2006.

FAG Internet. Disponível em <<http://www.fag.com.br>>. Acesso em 11 de jun. de 2006.

Peccinin Internet. Disponível em <<http://www.peccinin.com.br>>. Acesso em 17 de ago. de 2006.

PPA. Disponível em <<http://www.ppa.com.br>>. Acesso em 17 de ago. de 2006.

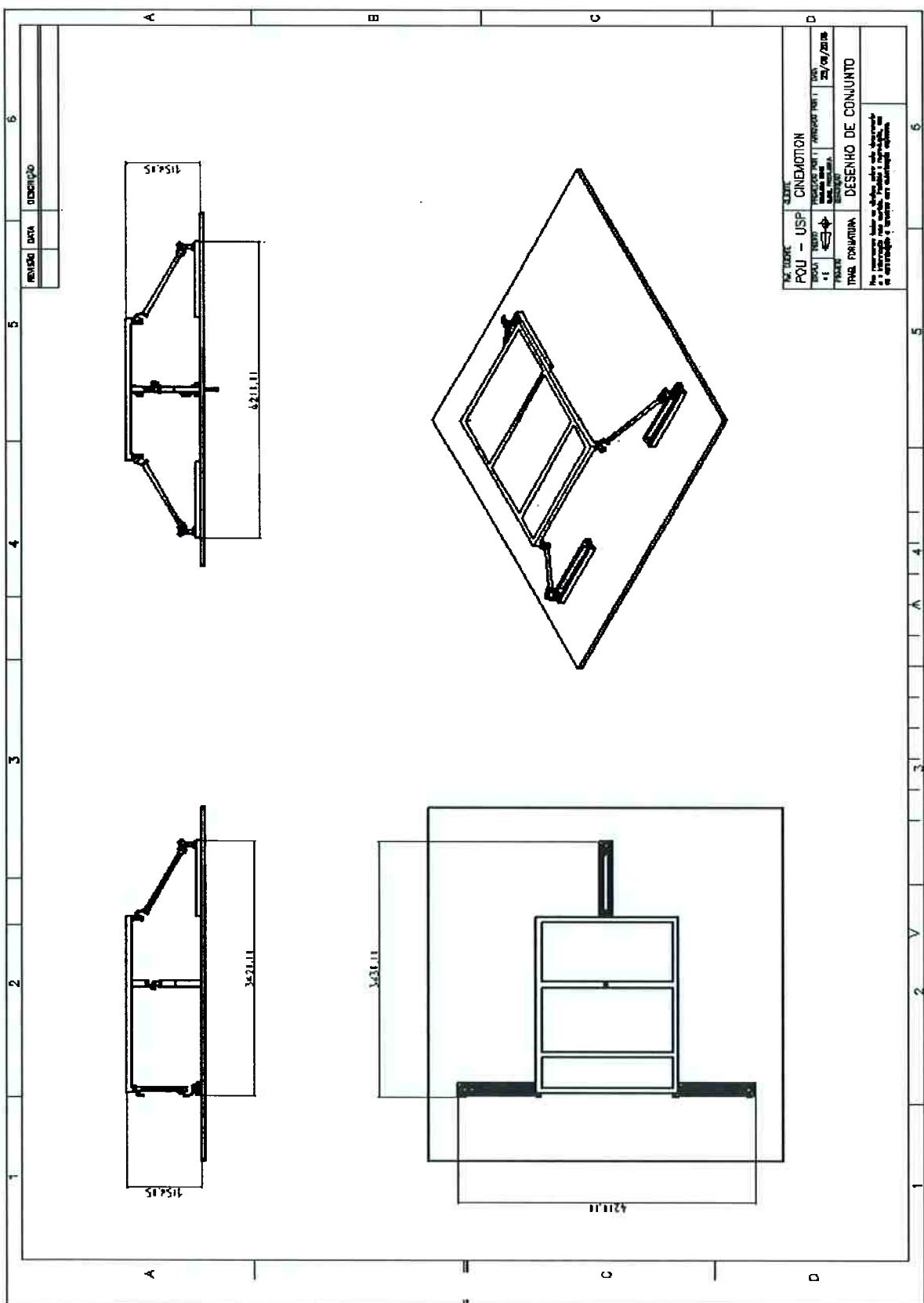
Rogercom. Disponível em <<http://www.rogercom.com.br>>. Acesso em 22 de out. de 2006.

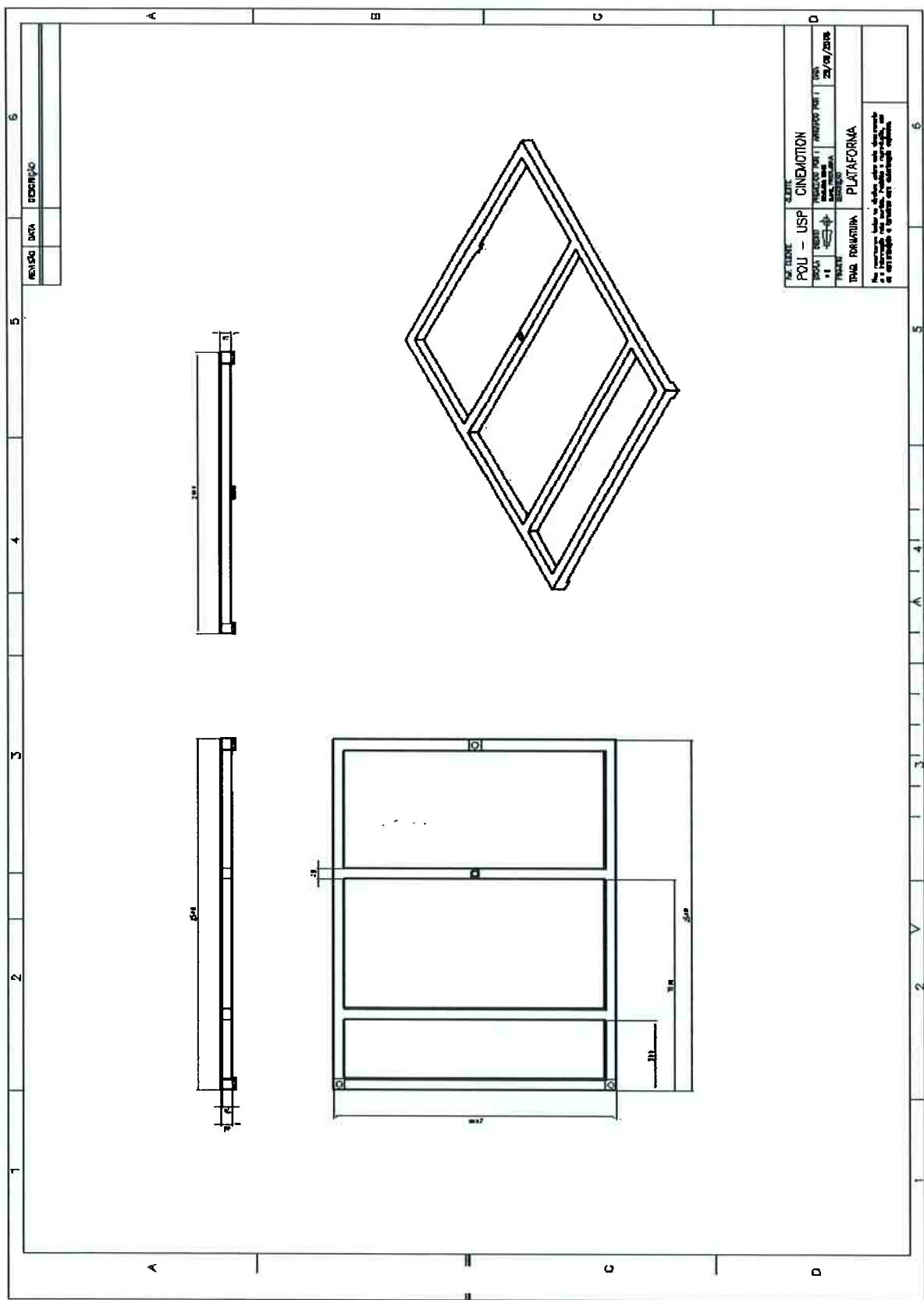
Metaltex. Disponível em <<http://www.metaltex.com.br>>. Acesso em 25 de out. de 2006.

Belden Universal. Disponível em <<http://www.beldenuniversal.com>>. Acessado em 29 de dez. de 2006.

A. P. Malvino, “Eletrônica”, vol. I e II, 4a. ed, 1997, Makron Books.

ANEXO A – DESENHOS CONSTRUTIVOS



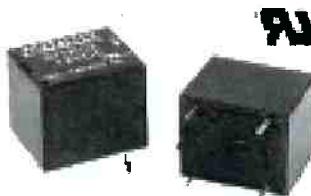


ANEXO B – DATASHEET RELÉ

- 1 contacto nevralgico para 15 A
 - Bloqueo generalizado en circuito Impresario
 - Hermetica corriente en la red
 - Bloqueo en el sistema
 - Hermetica agencia U.

Chave de código / How to order

- 15 A contact
 - Direct PCB mounting
 - Hermetically sealed
 - Low cost
 - UL recognized



Especificações da bobina / Coil specifications

Wafer Size	Total Active Horizontal VCell Nominal Voltage (VDC)	Number of Cells in Cx (VCell) x R ² Cell Resistance at 25°C (mΩ)	Current per Horizontal Column (mA)	Total Active Area per VCell Pitch (μm) x Length (μm)	Voltage at Diode parallel to VCell Diode On Voltage (VDC)	Voltage Across Diodes (VDC)	Wafer Total Current (VDC)
C-SV	5	100	12.0	4 x 4.0	0.10	0.10	0.5
C-1	8	1600	16.0	4 x 8.0	0.10	0.10	0.8
C-4W	16	3200	32.0	4 x 16.0	0.10	0.10	1.6
C-8	32	6400	64.0	4 x 32.0	0.10	0.10	3.2
C-16	64	12800	128.0	4 x 64.0	0.10	0.10	6.4
C-32	128	25600	256.0	4 x 128.0	0.10	0.10	12.8
C-64	256	51200	512.0	4 x 256.0	0.10	0.10	25.6
C-128	512	102400	1024.0	4 x 512.0	0.10	0.10	51.2

Especificações do contato / Contact specifications

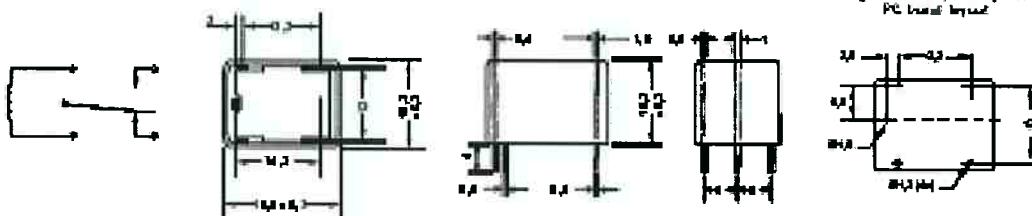
Características gerais / Characteristics

<p>Programs should be used in combination with other methods to manage land and water use. If you are not sure if a particular program or activity will affect your land or water use, contact your local government or agency, or contact the Texas Natural Resources Institute at 800-252-2763 or visit their website at www.tnri.tamu.edu.</p>	<p>1000' VCA APAC (100' distance from water) 100' VCA APAC (100' distance from water) 100' distance from water + 100' VCA + 100' + 100' distance + 100'</p>
<p>Point sources of nitrogen may be managed by using best management practices.</p>	<p>10' x 10' drainage requirement, 1' drainage 10' to 100' drainage, 1' drainage</p>
<p>Point sources of nitrogen may be managed by using best management practices.</p>	<p>10' x 10'</p>

Sequence statistics / Summary stats

www.earthworks.org

REFERENCES



Telomerase activity is inhibited by 60% after 10 days.

ANEXO C – Catálogo Junta Universal

Quality. Precision + Reliability

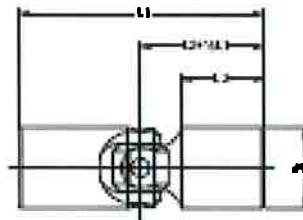
Belden Universal Joints

BELDEN

Single Universal Joints

- High-grade alloy steel
- Standard operating angles up to 35°
- Wide choice of hub configurations and finishes

The Belden single pin & block universal joint is manufactured from high-grade alloy steel for increased durability and better performance than standard industrial-grade models. All components are heat treated, precision machined and ground to close tolerances. The Heavy Duty, High Strength or Low-Level Strength universal joint provides exceptional service life in the most demanding applications. All joints are available with or without a lubricant retaining box.



Heavy Duty Joints (standard operating angle 35°, higher operating angles available upon request)

Part No.	Nominal Size	#D in [mm]	L1 in [mm]	L3 in [mm]	Ultimate Torque lb-in [Nm]	Max. Operating Torque lb-in [Nm]
UHN0875	3/8"	0.370 [9.39]	1.76 [44.5]	0.68 [17.2]	100 [11.3]	30 [2.3]
UHN0900	1/2"	0.405 [12.79]	2.00 [50.8]	0.75 [19.1]	350 [39.5]	70 [7.9]
UHN0925	5/8"	0.620 [15.75]	2.25 [57.2]	0.84 [20.5]	675 [76.3]	135 [15.2]
UHN0750	3/4"	0.745 [19.93]	2.60 [66.3]	0.95 [24.1]	1250 [141.1]	260 [28.2]
UHN0875	7/8"	0.870 [22.10]	3.00 [76.2]	1.08 [28.2]	1750 [197.7]	360 [39.6]
UHN1000	1"	0.995 [25.27]	3.38 [85.7]	1.19 [30.2]	2250 [254.2]	490 [50.8]
UHN1125	1-1/8"	1.120 [28.45]	3.60 [88.9]	1.22 [31.0]	3250 [366.9]	690 [73.4]
UHN1250	1-1/4"	1.245 [31.62]	3.75 [95.3]	1.25 [31.8]	5200 [587.1]	1044 [117.9]
UHN1375	1-1/2"	1.405 [37.97]	4.25 [108.0]	1.41 [35.7]	10000 [1129.8]	2000 [225.9]
UHN1750	1-3/4"	1.745 [44.32]	5.00 [127.0]	1.60 [40.6]	14500 [1637.0]	2900 [327.4]
UHN2000	2"	1.995 [50.87]	5.60 [139.7]	1.70 [43.2]	21500 [2429.2]	4300 [485.6]

High Strength Joints (maximum operating angle 35°, higher operating angles available upon request)

Part No.	Nominal Size	#D in [mm]	L1 in [mm]	L3 in [mm]	Ultimate Torque lb-in [Nm]	Max. Operating Torque lb-in [Nm]
UHN1600	1/2"	0.495 [12.57]	2.00 [50.8]	0.75 [19.1]	475 [53.7]	95 [10.7]
UHN1825	5/8"	0.820 [16.75]	2.25 [57.2]	0.81 [20.8]	950 [107.3]	190 [21.5]
UHN21750	3/4"	0.745 [18.98]	2.60 [66.3]	0.96 [24.1]	1750 [197.7]	360 [39.6]
UHN2375	7/8"	0.870 [22.10]	3.00 [76.2]	1.03 [28.2]	2600 [282.4]	600 [66.5]
UHN2600	1"	0.995 [25.27]	3.38 [85.7]	1.19 [30.2]	4600 [508.4]	900 [101.7]
UHN28125	1-1/8"	1.120 [28.45]	3.60 [92.9]	1.22 [31.0]	6500 [621.5]	1100 [124.3]
UHN31250	1-1/4"	1.245 [31.62]	3.75 [98.3]	1.25 [31.8]	8800 [788.2]	1360 [153.7]
UHN31600	1-1/2"	1.405 [37.97]	4.25 [113.4]	1.31 [48.4]	12600 [1412.1]	2500 [282.5]
UHN31750	1-3/4"	1.745 [44.32]	5.00 [136.8]	2.23 [56.8]	16000 [1807.8]	3200 [361.6]
UHN32000	2"	1.995 [50.87]	5.60 [152.4]	1.94 [49.2]	26000 [2937.6]	6200 [687.5]
UHN32500	2-1/2"	2.495 [63.37]	6.50 [159.0]	2.81 [49.6]	32000 [3615.6]	8400 [928.1]
UHN33000	3"	2.995 [78.07]	9.26 [236.0]	3.00 [78.2]	55000 [6214.2]	16000 [1842.8]

Low-Level Style Joints (maximum operating angle 35°, higher operating angles available upon request)

Part No.	Nominal Size	#D in [mm]	L1 in [mm]	L3 in [mm]	Ultimate Torque lb-in [Nm]	Max. Operating Torque lb-in [Nm]
ULV1600	1-1/2"	1.405 [37.97]	6.25 [133.4]	1.91 [43.4]	16000 [1694.8]	3000 [339.0]
ULV1750	1-3/4"	1.745 [44.32]	6.25 [158.8]	2.23 [58.8]	17500 [1974.9]	3500 [395.5]
ULV2000	2"	1.995 [50.87]	6.50 [139.7]	1.72 [43.7]	28000 [3163.5]	5500 [632.7]
ULV2500*	2-1/2"	2.495 [63.37]	9.50 [216.0]	3.00 [78.2]	60000 [6849.3]	10000 [1129.9]
ULV3000*	3"	2.995 [78.07]	9.25 [236.0]	3.00 [78.2]	70000 [7939.0]	14000 [1581.8]
ULV3500*	3-1/2"	3.495 [89.77]	10.60 [268.7]	3.60 [88.2]	100000 [11298.5]	20000 [2229.7]
ULV4000*	4"	3.995 [101.47]	10.65 [269.0]	3.10 [81.0]	140000 [15817.9]	28000 [3163.8]

*Maximum operating angle 30°

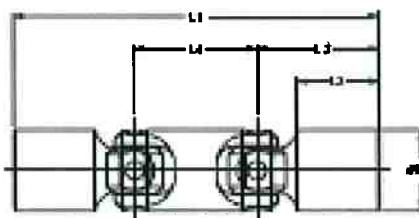
Double Universal Joints

- High-grade alloy steel
- Standard operating angles up to 70°
- Uniform speed ratio between driving and driven shafts (with parallel output shafts)

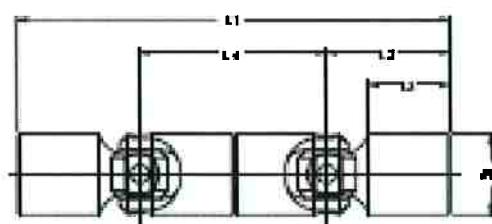
The Belden double universal joint provides the same reliability and service life as the single universal joint with a maximum combined working angle of 70°. Double universal joints provide accurate positioning and flexibility under higher operating angles. Belden double universal joints are available in a wide variety of materials and finishes. Lubricant retaining boots are recommended for operation in corrosive environments.



Double Universal Joint



Butted Double Universal Joint



Double Universal Joints are available in operating angles up to 70°. Higher operating angles are available upon request.

Part No.	Nominal Size	#D in [mm]	L1 in [mm]	L2 in [mm]	L3 in [mm]	L4 in [mm]	Max. Operating Torque kNm [Nm]
DUJ625	5/8"	0.620 [15.75]	3.25 [82.0]	1.13 [28.0]	0.81 [20.6]	1.00 [25.4]	300 [21.9]
DUJ750	3/4"	0.745 [18.93]	3.81 [96.0]	1.34 [34.1]	0.95 [24.1]	1.13 [28.6]	350 [24.6]
DUJ875	7/8"	0.870 [22.10]	4.38 [111.1]	1.25 [33.0]	1.03 [28.2]	1.38 [35.0]	500 [34.6]
DUJ1000	1"	0.905 [25.27]	4.89 [123.0]	1.60 [42.0]	1.19 [30.2]	1.60 [38.1]	600 [41.7]
DUJ1125	1-1/8"	1.120 [28.45]	5.13 [130.2]	1.75 [44.4]	1.22 [31.0]	1.83 [41.8]	1100 [74.9]
DUJ1250	1-1/4"	1.245 [31.62]	5.63 [142.0]	1.88 [47.0]	1.26 [31.8]	1.88 [47.8]	1380 [93.7]
DUJ1375	1-1/2"	1.405 [37.97]	6.56 [168.7]	2.13 [54.0]	1.41 [35.7]	2.31 [68.7]	2500 [162.9]
DUJ1500	1-3/4"	1.745 [44.32]	7.76 [196.0]	2.50 [63.0]	1.60 [40.6]	2.76 [89.0]	3200 [218.6]
DUJ1625	2"	1.905 [50.67]	8.89 [220.7]	2.75 [69.0]	1.70 [43.2]	3.19 [101.0]	5200 [367.6]
Butted Double Universal Joints are available in operating angles up to 70°. Higher operating angles are available upon request.							
DUJ-D0875	3/8"	0.370 [9.39]	3.60 [88.0]	0.88 [22.2]	0.65 [17.2]	1.75 [44.6]	20 [2.3]
DUJ-D0600	1/2"	0.495 [12.57]	4.00 [101.6]	1.00 [26.4]	0.75 [19.1]	2.00 [50.5]	70 [7.0]
DUJ-D0825	5/8"	0.620 [15.75]	4.60 [114.3]	1.13 [28.6]	0.81 [20.6]	2.25 [57.2]	135 [16.2]
DUJ-D0950	3/4"	0.745 [18.93]	5.38 [138.6]	1.34 [34.1]	0.95 [24.1]	2.60 [68.3]	250 [28.2]
DUJ-D0875	7/8"	0.870 [22.10]	6.00 [152.4]	1.50 [38.1]	1.03 [28.2]	3.00 [78.2]	350 [30.6]
DUJ-D0900	1"	0.905 [25.27]	6.76 [171.6]	1.69 [42.9]	1.10 [30.2]	3.38 [85.7]	450 [36.6]
DUJ-D09125	1-1/8"	1.120 [28.45]	7.00 [177.8]	1.75 [44.6]	1.22 [31.0]	3.60 [98.9]	650 [73.4]
DUJ-D09250	1-1/4"	1.245 [31.62]	7.60 [190.5]	1.88 [47.8]	1.25 [31.8]	3.75 [95.3]	1044 [117.0]
DUJ-D09500	1-1/2"	1.405 [37.97]	8.50 [215.0]	2.13 [54.0]	1.41 [35.7]	4.25 [108.0]	2000 [125.8]
DUJ-D09750	1-3/4"	1.745 [44.32]	10.00 [254.0]	2.80 [63.6]	1.60 [40.6]	5.00 [127.0]	2900 [227.4]
DUJ-D10000	2"	1.905 [50.67]	11.00 [279.4]	2.75 [69.0]	1.70 [43.2]	5.60 [139.7]	4300 [466.6]