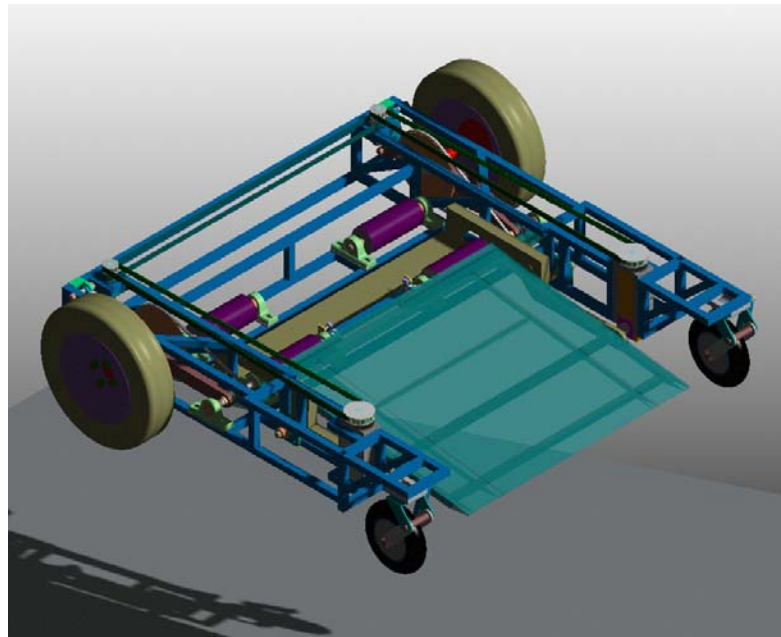




Secção Autónoma de Engenharia Mecânica - UA

Projecto de Automação / Seminário de Processos  
Tecnológicos 2000/2001



# RobuCar<sup>©</sup>

Estrutura Multi-Terreno com Acoplamento Automático para um  
Robot Móvel (Robuter III)

Autor:

Carlos Manuel Ribeiro Cabral nº 16141

Orientadores:

Prof. Vitor M. F. Santos

Co-Orientadores:

Prof. Alfredo B. Morais



## Índice:

<b>Índice:</b> .....	1
<b>1. Introdução</b> .....	2
<b>2. Objectivos</b> .....	2
3.2. Redefinição dos objectivos .....	3
<b>4. Estudos preliminares</b> .....	3
4.1. Questões geométricas e funcionais .....	3
4.2. Sistemas de elevação – Forças e binários .....	3
<b>5. Solução conceptual da plataforma</b> .....	9
5.1. Componentes mecânico-estruturais .....	9
5.2. Componente de automatização .....	13
<b>6. Estudo e desenvolvimento de todos os componentes da plataforma</b> .....	14
6.1. Rolos de apoio livres e de tracção para transmissão do movimento .....	15
6.2. Fuso para a elevação da rampa .....	18
6.3. Rampa de subida do robot para a plataforma .....	24
6.4. Roda dianteira livre .....	26
6.5. Conjunto roda traseira veio de transmissão e braço para possível suspensão .....	28
6.6. Sistema de bloqueio e desbloqueio automático .....	31
6.7. Motor para o sistema de elevação da rampa .....	32
6.8. Unidade de controlo e sistema eléctrico .....	33
6.9. Estrutura base de suporte re-analisada .....	34
<b>7. Programação do robot para testes</b> .....	35
<b>8. Conclusões</b> .....	36
<b>9. Bibliografia e Referência</b> .....	37



## 1. Introdução

Este relatório tem como objectivo fazer uma descrição pormenorizada de todo o trabalho de fim de curso desenvolvido para a disciplina de Projecto de Automação/Seminário de Processos Tecnológicos da Licenciatura em Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, intitulado RobuCar<sup>®</sup> – Estrutura Multi-Terreno com Acoplamento Automático para um Robot Móvel.

O robot móvel em questão, Robuter III é uma plataforma robótica autónoma de elevadas capacidades. Tem vários campos de aplicação por exemplo a pesquisa, educação, prototipagem industrial entre outros. Uma das suas principais limitações é o seu uso inadequado para a navegação em pavimentos onde não haja elevada regularidade, ou seja, ambientes não laboratoriais. Algumas experiências em pavimento de calçada (pavimento com alguma irregularidade) ilustraram a violência que sofre toda a estrutura devido à sua rigidez, o que é particularmente delicado para os sistemas electrónicos a bordo, como seja disco rígido de um PC, entre outros.

Deste modo tem-se como objectivo conceber uma estrutura com acoplamento automático, para que seja possível a navegação do robot móvel Robuter III em ambientes exteriores, ou seja, em pavimentos que apresentem alguma irregularidade como é o caso do Campus Universitário da Universidade de Aveiro alargando-se assim o seu campo de aplicações.

## 2. Objectivos

O trabalho a realizar terá deste modo dois objectivos principais que são:

- Concepção e implementação de uma estrutura que se interligue e suporte o robot móvel Robuter III permitindo a navegação em ambientes exteriores;
- Desenvolvimento de programas elementares de navegação para ilustrar a funcionalidade do sistema.

As especificações principais da estrutura RobuCar para que se interligue e suporte o robot móvel permitindo a navegação em ambientes exteriores são:

- Suportar um robot com 130 Kg em velocidade nominal de 0.6 m/s com máximo de 1 m/s em piso com irregularidade típica de calçada, e acidentes de relevo ocasionais com altura de 5 cm.
- Dotado de suspensão ou sistema de amortecimento tal que não permita acelerações danosas para um disco rígido de PC.
- Unidade de acoplamento às rodas motrizes do robot com relação de transmissão de 1:1, permitindo o movimento nos dois sentidos e independente nas duas rodas.
- Capacidade de formação de um plano inclinado, ou outra geometria apropriada, para a descida do robot à custa de uma unidade motorizada.
- A unidade deve depois permitir ser colocada numa geometria de segurança para a fixação do robot e para o movimento propriamente dito.
- Na posição de descida (possivelmente plano inclinado), a transmissão da tracção não pode ocorrer para permitir ao robot desacoplar-se e “sair” da estrutura.
- A estrutura deve possuir um detector que indique se o robot está ou não na posição de tracção e outra para indicar se a própria estrutura está ou não pronta para se mover.

## 3. Principais etapas de trabalho previstas

### 3.1. Proposta inicial

As principais etapas inicialmente propostas para a realização da plataforma eram:

1. Estudo da geometria, estrutura mecânica e controlo básico da plataforma robótica Robuter III.
2. Idealização de uma estrutura de acordo com as especificações de suporte e movimento do robot.

- 2.1. concepção e projecto da estrutura e do sistema de elevação
- concepção e projecto do sistema de tracção e seu bloqueio no modo de descida
3. Projecto de um sistema de acoplamento para o fornecimento de energia do robot para a estrutura.
4. Construção do sistema de todo o sistema mecânico e eléctrico.
5. Programação do robot para testes.
6. Experiências reais no campus universitário para análise do comportamento de todo o sistema.
7. Dimensionamento de um sistema de suspensão com base nas especificações e análises efectuadas.
8. Avaliação do desempenho da plataforma.

Mas, como o trabalho proposto era para duas pessoas foi necessário fazer uma redefinição das etapas anteriormente referidas.

### 3.2. Redefinição dos objectivos

Deste modo, todas as etapas que têm a ver das experiências reais para a análise do comportamento do sistema foram eliminadas. O objectivo principal seria idealizar a plataforma tendo-se sempre como a meta final o ponto 5 das etapas anteriores, que é a construção de todo o sistema mecânico e eléctrico.

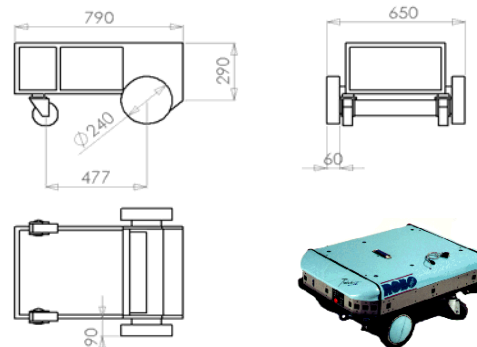
## 4. Estudos preliminares

### 4.1. Questões geométricas e funcionais

Características:

Peso:  $\pm 150$  kg  
Capacidade de carga:  $\pm 120$  kg  
Velocidade: 5 cm/s até 1.25 m/s  
Motores: 2x300 W, DC  
Transmissão: diferencial, usando velocidades relativas de 2 rodas independentes

Dimensões:



Todas as características referidas em relação ao robot móvel são dados fornecidos por o fabricante. De notar que nos cálculos realizados ao longo deste trabalho é utilizado para peso do robot o valor de 270 Kg, que leva em conta o peso do próprio, mais a sua capacidade de carga. O peso actual deste robot do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro ronda os 180Kg porque lhe foram adicionados alguns equipamentos como por exemplo um PC, um laser, entre outros.

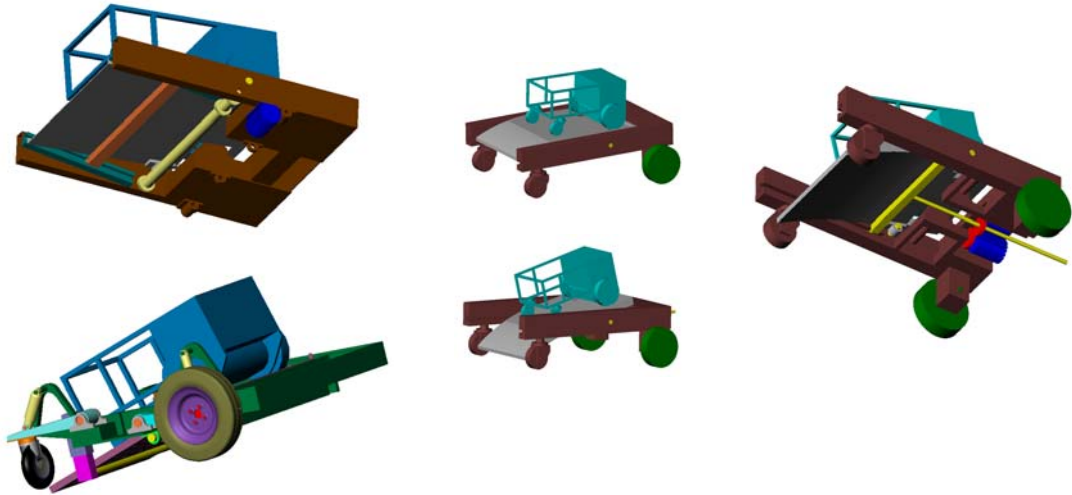
Figura n.º 4.1 – Desenho da estrutura do robot

### 4.2. Sistemas de elevação – Forças e binários

Inicialmente começou-se a fazer o levantamento das principais características e problemas para a idealização da estrutura, que se enumeram em seguida:

- a estrutura a construir deve ser passiva;
- deve permitir o movimento nos dois sentidos;
- a transmissão do espaço percorrido deve ter uma relação de 1:1;
- a inclinação do plano inclinado para elevação do robot  $< 20^\circ$  (devido há falta de binário instantâneo disponível no robot);
- deve-se ter um bloqueio automático da transmissão no caso de subida ou descida;
- transmissão é feita de forma independente a cada uma das duas rodas motrizes, permitindo o direccionamento do robot usando rodas dianteiras livres;
- garantir posições de segurança aquando da elevação;
- transmissão da tracção do robot para a estrutura feita por atrito.

Em seguida mostram-se algumas idealizações de estruturas onde já se levou em conta alguns dos aspectos anteriores, como seja a inclinação da rampa na elevação, a forma de transmissão entre o robot e a estrutura, o espaço para que seja possível dotar a estrutura de suspensão entre outras que se descrevem mais à frente.



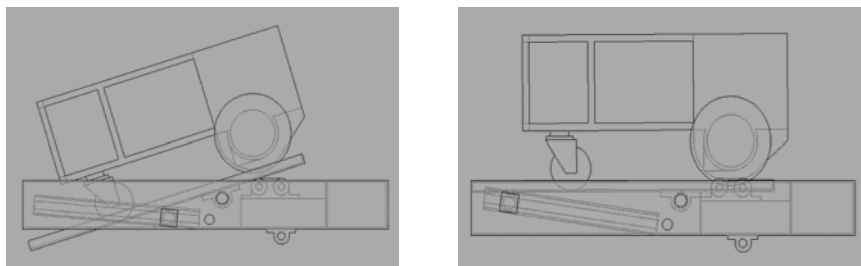
**Figura nº. 4.2-** Diferentes tipos de soluções para o sistema de elevação da estrutura.

Todas as soluções que vão ser descritas posteriormente usam como princípio de colocação do robot em cima da estrutura a formação de um plano inclinado, para que o robot possa subir por os seus próprios meios. Esta foi a solução mais viável encontrada já que outras formas de colocação do robot em cima da plataforma exigiam forças/binários muito elevadas(os) ou plataforma com elementos removíveis o que era de todo indesejável.

Na figura nº. 4.2 podemos observar no seu canto superior esquerdo uma estrutura que utiliza para a elevação do plano inclinado um sistema de duas calhas, duas correntes e uma barra transversal. O objectivo é munir as correntes de um movimento transversal onde estará acoplado uma barra que deslizará através de duas calhas forçando deste modo a rampa que forma o plano inclinado a subir e descer com o avançar e recuar da barra. Nas três figuras mais à direita podemos visualizar o mesmo princípio de elevação mas agora usando um fusos para fazer o movimento transversal da barra. Na mesma figura temos ainda uma outra estrutura na parte inferior esquerda onde se utiliza dois fusos colocados na vertical para a elevação da estrutura. Aqui utiliza-se também a barra transversal para suporte e elevação da rampa.

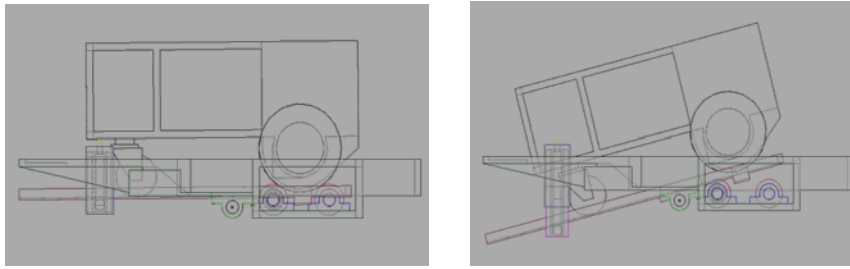
Ainda a uma melhor visualização e compreensão das figuras representativas anteriores e dos métodos usados na elevação, apresentam-se nas duas figuras seguintes uma vista de lado do conjunto robot/plataforma onde se representa as duas posições extremas da rampa de subida para os dois sistemas de elevação distintos.

- com duas calhas, duas correntes e uma barra transversal,



**Figura nº. 4.3** – Representação esquemática do sistema de elevação com duas calhas

- com dois fusos e uma barra transversal.

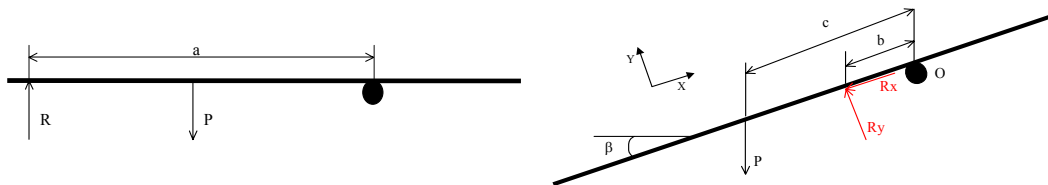


**Figura nº. 4.4** – Representação esquemática do sistema de elevação com dois fusos

Para escolher qual a solução a desenvolver procedeu-se a uns pequenos cálculos para saber quais as forças e binários envolvidos na elevação e analisando se as duas soluções são ou não viáveis.

### Cálculos das forças envolvidas para uma primeira de elevação

1º Caso: usando uma calha de guiamento



**Figura nº. 4.5-** Esquemas representativos das forças envolvidas na elevação usando uma calha de guiamento

Um aspecto muito importante nesta análise é a orientação do sistema de coordenadas utilizado em que o eixo dos xx deste coincide com a rampa de subida. Tendo como base a figura nº. 4.5 e fazendo o somatório dos momentos iguais a zero e decompondo o peso segundo o referencial adoptado temos,

$$\sum M_o = 0 \Leftrightarrow P_y \cdot c - R \cdot b = 0$$

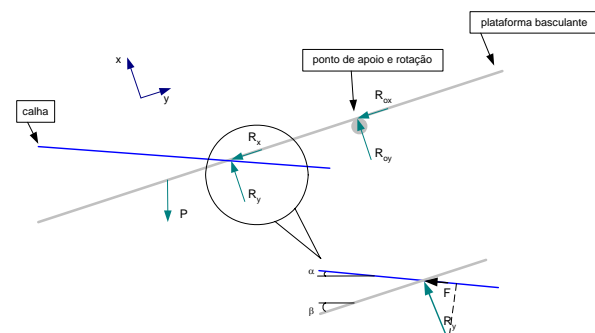
$$R = \frac{P_y \cdot c}{b} \Leftrightarrow R = \frac{P \cdot \cos \beta \cdot c}{b} \quad (1)$$

Sendo R a reacção resultante das componentes  $R_x$  e  $R_y$ . Verificamos que a componente segundo o eixo dos xx desta reacção é compensada por a estrutura, mais propriamente pelo ponto de apoio ou de rotação da rampa. Deste modo a força F que representa a força exercida na direcção de calha para a elevação da rampa, que se pode visualizar na figura nº. 4.6, depende somente da componente da reacção R segundo o eixo dos yy obtendo-se:

$$\begin{aligned} F &= R_y \cdot \cos(90 - (\alpha + \beta)) \\ F &= R_y \cdot \sin(\alpha + \beta) \end{aligned} \quad (2)$$

Substituindo a equação (1) na (2) fica:

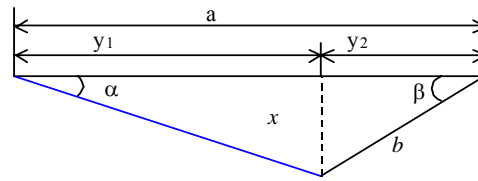
$$F = \frac{P \cdot \cos \beta \cdot c \cdot \sin(\alpha + \beta)}{b} \quad (4)$$



**Figura nº. 4.6-** Esquemas representativos da força na direcção da calha.



De uma análise mais cuidada da figura nº. 4.6 e da equação 4 verificamos que o ângulo  $\beta$  depende directamente do comprimento  $b$ , podendo-se simplificar a equação anterior para que todos os seus elementos sejam independentes. Da figura nº. 4.7 deduz-se a relação entre  $\beta$  e  $b$ ,



**Figura nº. 4.7** – Representação das variáveis para o calculo da relação entre  $\beta$  e  $b$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{x}{y_2} \quad (5) \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{y_1} \Leftrightarrow x = \operatorname{tg} \alpha \cdot y_1 \quad (6)$$

Substituindo (6) em (5) obtemos

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot y_1}{y_2} \quad (7)$$

Se

$$y_1 + y_2 = a \Leftrightarrow y_1 = a - y_2 \quad (8)$$

$$\cos \beta = \frac{y_2}{b} \Leftrightarrow y_2 = \cos \beta \cdot b \quad (9)$$

Substituindo em (7) temos

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{(a - y_2) \operatorname{tg} \alpha}{y_2} \Leftrightarrow \operatorname{tg} \beta = \frac{(a - b \cdot \cos \beta) \operatorname{tg} \alpha}{b \cdot \cos \beta}$$

$$\frac{\sin \beta}{\cos \beta} \cdot b \cdot \cos \beta = a \cdot \operatorname{tg} \alpha - b \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$b \cdot (\sin \beta + \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha) = a \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$\sin \beta \cdot b = a \cdot \operatorname{tg} \alpha - b \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$\sin \beta \cdot b + b \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha = a \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$\boxed{b = \frac{a \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\sin \beta + \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha}} \quad (10)$$

Substituindo a equação (10) na (4), obtemos uma relação onde todos os termos são independentes,

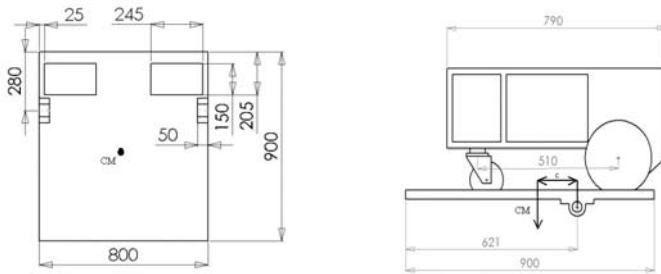
$$F = \frac{P \cdot c \cdot \cos \beta \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot (\sin \beta + \cos \beta \operatorname{tg} \alpha)}{a \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (11)$$

$c$ = distancia entre o centro de massa e o ponto de rotação  
 $P$ = peso do corpo  
 $\beta$ = inclinação da plataforma em relação à horizontal  
 $\alpha$ = inclinação da calha em relação ao plano horizontal  
 $a$ = comprimento total aquando da rampa na posição extrema superior



Neste caso temos:

- peso do robot  $P = 2649 \text{ N}$  ( $\pm 270 \text{ kg}$ )
- distância entre o centro de massa (CM) do robot e o eixo de rotação ,



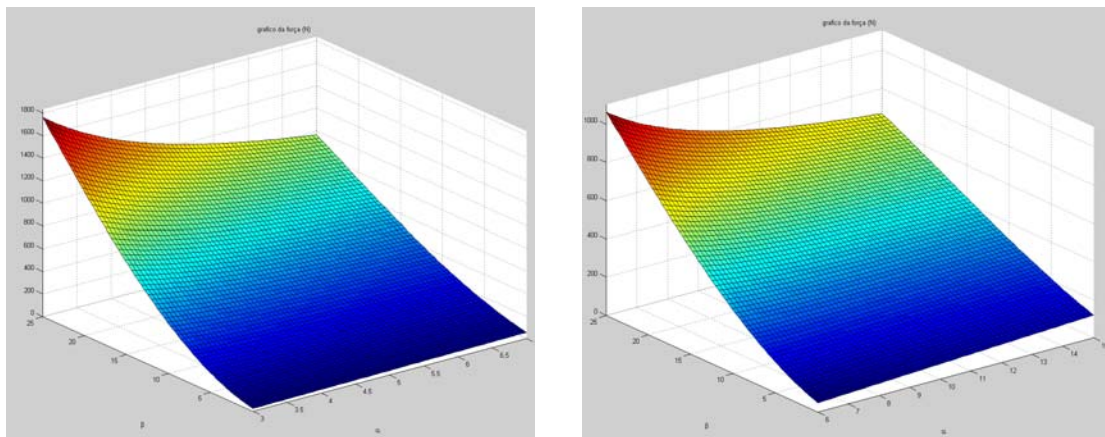
Como as rodas de trás são giratórias a distancia entre o eixo das rodas de tracção e o centro de massa pode variar um pouco, utiliza-se uma aproximação deste valor como indicado na figura nº. 4.8.

$$c = (510/2) - (150/2 + (280 - 205)) = 105 \text{ mm}$$

**Figura nº. 4.8** – Representação esquemática da posição do centro de massa em relação ao conjunto rampa/robot

- condição fronteira quando  $\beta$  assume o valor zero (é o maior valor da distância entre o eixo de rotação e a extremidade da plataforma),  $a = 620 \text{ mm}$

Fazendo a representação gráfica da equação anterior (figura nº. 4.9) verificamos que com o aumento do ângulo  $\beta$  a força tende a aumentar. Mas, podemos verificar também que a intensidade desta força depende fortemente da inclinação da calha.



**Figura nº. 4.9** - Representação esquemática da evolução da força em função dos ângulos de inclinação da plataforma e da calha.

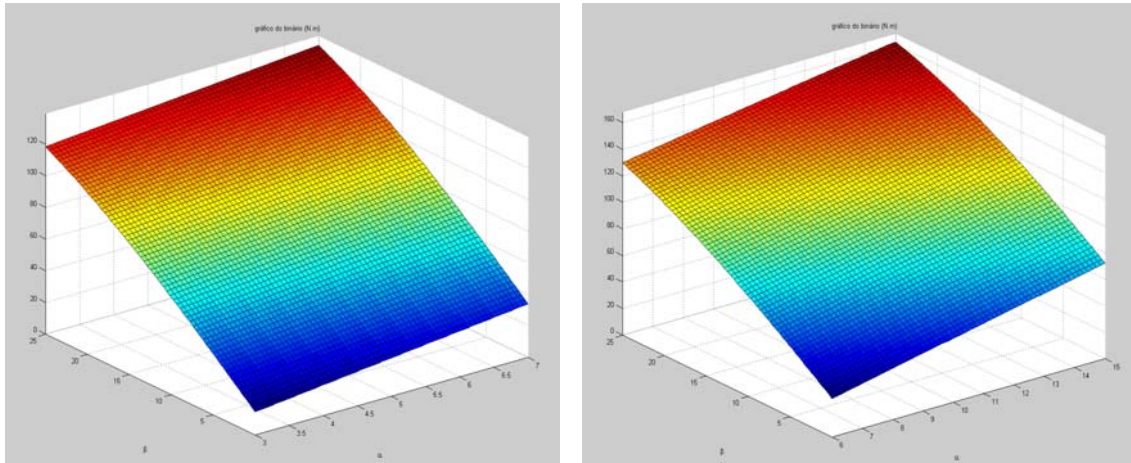
Da análise dos gráficos podemos concluir que a força varia muito com a variação do ângulo  $\beta$  ( ângulo de inclinação da plataforma em relação à horizontal) desde um valor inferior a 100 N e podendo atingir valores superiores a 1700 N, dependendo do valor do ângulo  $\alpha$  (ângulo de inclinação da calha). Estas variações tão elevadas implicaria um sobre-dimensionamento do sistema de elevação. Muito importante referir que o valor de força quando  $\beta$  se aproxima de zero é inferior a 100 N porque não são levados em consideração os efeitos do atrito.

Se quantificarmos o valor do binário em função dos ângulos de inclinação da rampa, que tem uma relação directa com o comprimento do braço onde se realiza a força e a inclinação da calha de guiamento obtemos a seguinte equação:

$$M = P \cdot c \cdot \cos\beta \cdot \sin(\alpha + \beta) \quad (12)$$

A representação gráfica desta equação de  $M$  em função do ângulo  $\alpha$  e  $\beta$  encontra-se na figura nº. 4.10.





**Figura nº. 4.10** - Representação esquemática da evolução do binário em função dos ângulos de inclinação da plataforma e da calha.

Como podemos observar que o binário tem uma grande variação atingindo-se valores bastante elevados. Pode-se verificar também que o binário aumenta com a inclinação da rampa de subida.

**2º Caso:** usando um fuso

Levando em consideração a figura nº. 4.11 e fazendo o somatório dos momentos iguais a zero obtemos as seguintes relações :

$$\sum M_o = 0 \Leftrightarrow F \cdot \cos\beta \cdot b - P \cdot \cos\beta \cdot a = 0$$

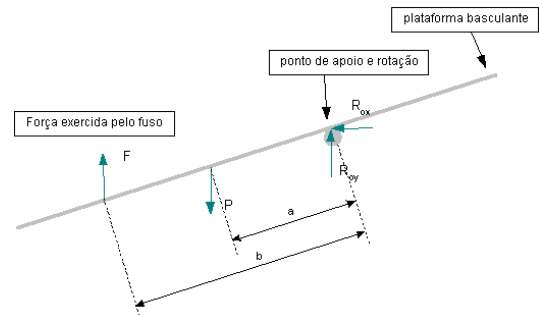
$$F = \frac{P \cdot a}{b} \quad (12)$$

mas podemos obter a seguinte relação

$$c = b \cdot \cos\beta \quad b = \frac{c}{\cos\beta}$$

A equação 12 virá

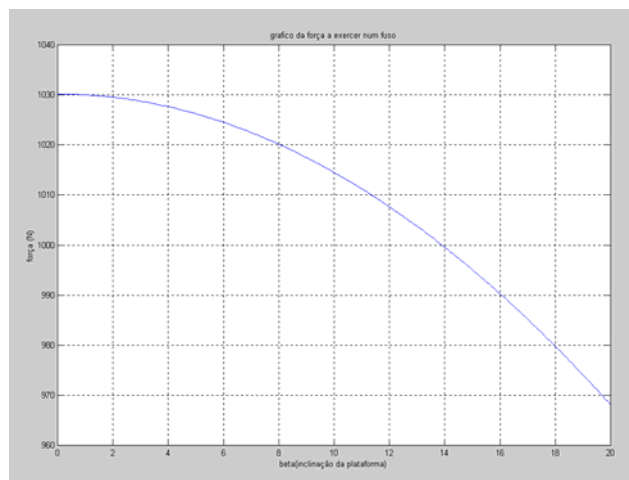
$$F = \frac{P \cdot a \cdot \cos\beta}{c}$$



**Figura nº. 4.11**- Esquema representativo das forças envolvidas na elevação usando um fuso

Neste caso temos:

- peso do robot  $P = 2649 \text{ N}$  ( $\pm 270 \text{ kg}$ )
- distância entre o centro de massa (CM) do robot e o eixo de rotação ,  $a = 105 \text{ mm}$
- distancia entre ao fuso e o eixo de rotação segundo a direcção y dos eixos de coordenadas,  $c = 270 \text{ mm}$ .



**Figura nº. 4.12**- Representação esquemática da força em função do ângulo de inclinação da plataforma

Neste caso o figura nº. 4.12 representa uma variação suave e de pequena amplitude onde essa variação é somente de 10% e a força máxima que será necessário aplicar é bastante inferior ao caso anterior onde se usava uma calha para guiamento da barra transversal. Em relação ao caso anterior podemos verificar também que as forças envolvidas são inferiores. Não se fez uma representação do binário, porque neste caso a sua variação é insignificativa não trazendo elementos novos para a análise.

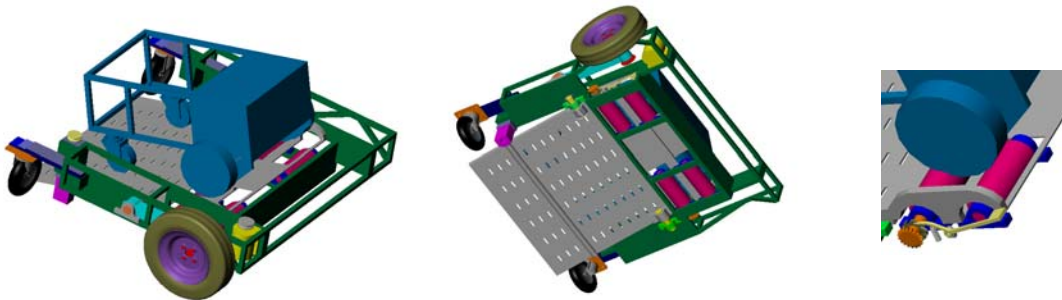
Esta solução tem ainda a vantagem de se poder utilizar a irreversibilidade do fuso como sistema de segurança durante a elevação garantindo assim que se houver falta de energia durante a fase de elevação todo o sistema se mantém imóvel. Deste modo esta é solução que parece mais viável e portanto a escolhida para posterior desenvolvimento.

## 5. Solução conceptual da plataforma

### 5.1. Componentes mecânico-estruturais

Foi obtida temos uma primeira solução conceptual para a estrutura onde grande parte dos problemas iniciais enumerados foram solucionados e levados em linha de conta como, por exemplo;

- a inclinação do plano inclinado  $< 20^\circ$  (devido à falta de potencia instantânea do robot)
- sistema de elevação (neste caso com dois fusos de acordo com a análise anterior)
- utilização de rodas livres para permitir o direccionamento de todo o conjunto
- prevê-se a possibilidade de suportar um sistema de suspensão
- geometria da plataforma para ser possível a transmissão da tracção por contacto usando rolos
- sistema de tracção usando duas rodas cremalheiras
- sistema de bloqueio e desbloqueio automático no modo de descida e subida respectivamente
- forma e local de fixação do motor para o sistema de elevação da rampa

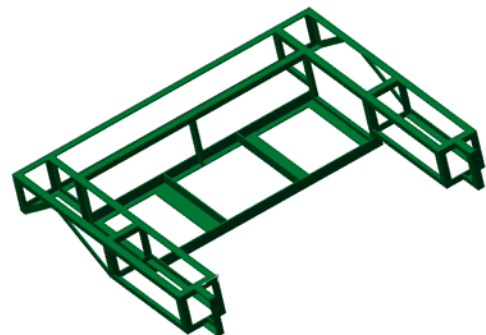


**Figura nº. 5.1** – Primeira solução conceptual da estrutura

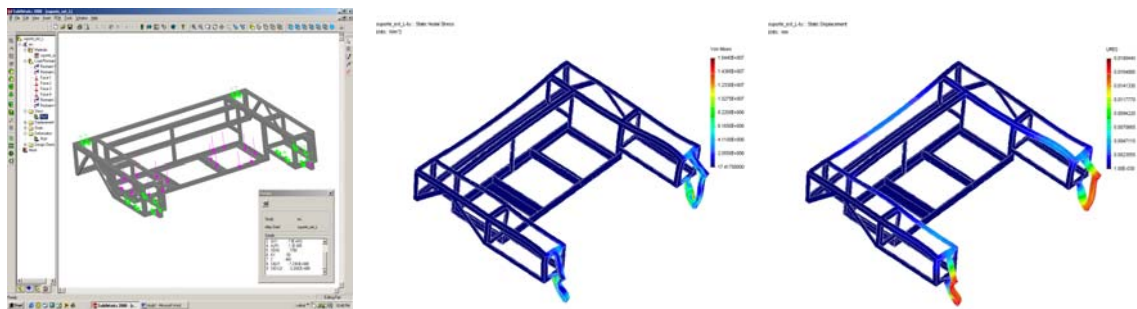
Passou-se em seguida à fase de estudo, em que é preciso fazer a selecção de todos os componentes recorrendo a produtos e componentes comuns. Deste modo a primeira parte a ser analisada em mais pormenor foi a estrutura base de suporte.

Inicialmente a estrutura de base foi desenhada usando um perfil em L 25×25 com 5mm de espessura, sendo assim uma estrutura de construção soldada como se pode ver na figura nº. 5.2.

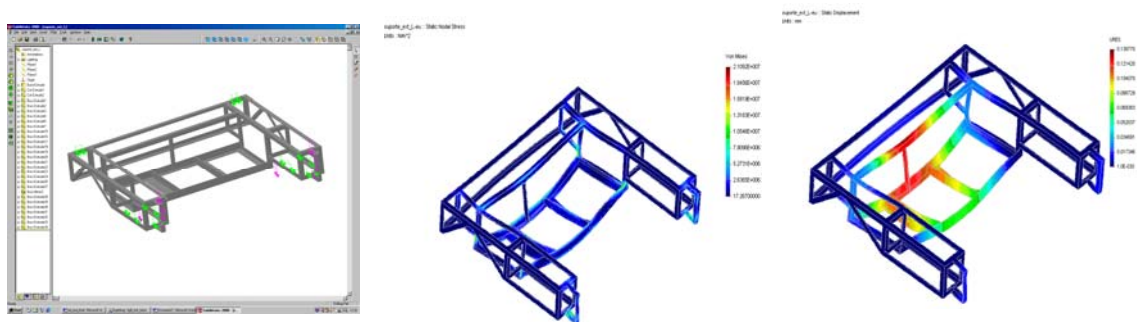
Com este modelo de estrutura base, fez-se em seguida uma análise estrutural estática executada no programa CosmosWorks onde se obtiveram deformações inferiores a 2 decimas de mm, e tensões máximas de 21 Mpa.



**Figura nº. 5.2** – Modelo da estrutura base



**Figura nº. 5.3** – Análise estrutural de tensões segundo o Critério de Von Mises e de deformações na fase de elevação

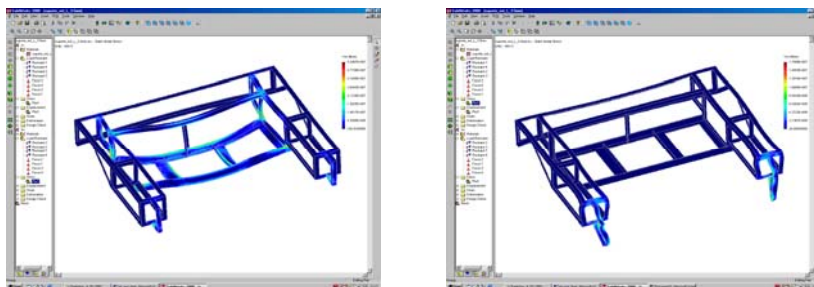


**Figura nº. 5.4** – Análise estrutural de tensões segundo o Critério de Von Mises e de deformações na fase em que o robot já está em cima dos rolos pronto para andar

As figuras representadas em cima (figura nº. 5.3 e figura nº. 5.4) mostram os valores das tensões e deformações em duas situações distintas, quando o robot está em fase de subida e quando o robot já se encontra em cima de toda a estrutura. Na primeira análise aquando da elevação figura nº. 5.3, as solicitações só ocorrem nas chumaceiras ou seja o ponto de rotação e na barra transversal que suporta a rampa de elevação ou seja na região onde se encontram os fusos verticais fusos. Na segunda análise, quando se encontra em regime estacionário ou pronto para andar figura nº. 5.4, as solicitações impostas estão essencialmente no rolos de tracção e é claro nos fusos de suporte.

Num caso ou noutro como já referiu anteriormente as deformações não chegam a atingir 2 decimas de mm, e as tensões máximas 21 Mpa, que são valores bastante aceitáveis para a situação em causa.








Como o valor das deformações obtidas foram muito pequenas assim como o valor das tensões, decidiu-se voltar a desenhar a estrutura com o mesmo perfil em L mas agora com uma espessura de 3mm pensando-se que a estrutura anterior pudesse estar sobre dimensionada. O que se verificou foi que apesar das deformações ainda serem aceitáveis o valor das tensões subia muito, principalmente na fase em que o robot já está em cima dos rolos e pronto a andar. Deste modo surgiu a ideia de reforçar as regiões mais críticas que seriam o local de apoio dos rolos de tracção utilizando aí o mesmo perfil mas de 5mm de espessura o que fez baixar consideravelmente o valor das tensões conseguindo-se também uma elevada redução de peso de aproximadamente de 5.5 kg.



**Figura nº. 5.5** – Análise estrutural de tensões segundo o Critério de Von Mises para a estrutura base usando perfil em L de 3 e 5 mm de espessura

A estrutura com este perfil seria a solução mais simples de adoptar não pondo em questão a sua resistência estrutural. Muito embora seja muito fácil de encontrar e trabalhar achou-se que toda a estrutura com este perfil poderia se tornar um pouco inestético. Com o objectivo de tentar conciliar tanto a questão estrutural como a estética desenharam-se outras quatro estruturas de base com diferentes perfis. Em cada um dos casos fez-se uma análise estrutural assim como se tentou fazer uma estimativa do peso para se verificar qual seria a solução mais indicada para este caso.

Na tabela seguinte apresenta-se os perfis usados, pesos previstos, tensões máximas e deslocamentos máximos obtidos nas duas análises efectuadas uma que diz respeito á fase de subida do robot e outra quando o robot já se encontra pronto para começar o movimento. Nos três primeiros casos usam-se dois tipos de perfil sendo o primeiro usado para toda a estrutura excepto no local de apoio dos rolos de tracção

Perfil	Peso (kg)	Tensões Von Mises (Mpa)	Deslocamentos (mm)
 Quadrado 20×20 com 2.5 mm espessura  Cantoneira 25×25 com 5 mm espessura	27.6	48.2	0.64
 Quadrado 20×20 com 2.5 mm espessura  ferro em T 2½, 25×25	25.5	51.1	0.88
 Quadrado 20×20 com 2.5 mm espessura  Ferro UPN 40×20	29.5	50.0	0.66
 Quadrado 20×20 com 2.5 mm espessura	25.7	48.7	0.61

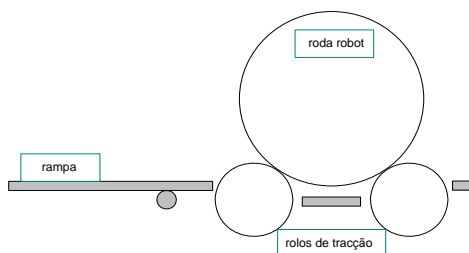
**Tabela nº. 5.1** – Quadro resumo das características de diferentes estruturas base

Com os valores apresentados na tabela nº. 5.1 faz-se a escolha de qual o perfil ou perfis a usar na construção da estrutura mas, já que os valores das tensões e dos deslocamentos são muito semelhantes só nos resta levar em linha de conta o peso. Deste modo podemos eliminar a estrutura que usa o ferro UPN assim como o que usa a cantoneira 25×25, só nos restando assim as outras duas alternativas. Como o perfil do ferro em T tem-se a desvantagem de dificultar a fixação de componentes como é o caso de chumaceiras, sendo a estrutura de perfil quadrado a que apresenta menos desvantagens.

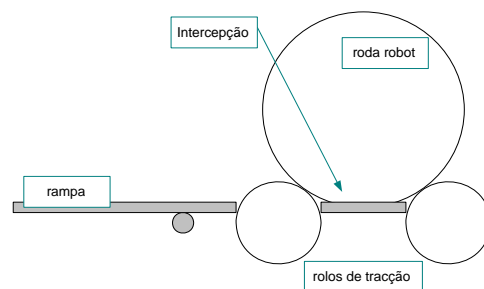
Todo o trabalho desenvolvido a partir de agora em relação à estrutura base vai usar somente o perfil quadrado 20×20 com 2.5 mm de espessura.

A rampa de subida da plataforma idealizada na figura nº. 5.1 levanta alguns problemas de contacto entre as rodas do robot e os rolos de tracção da estrutura. Desta forma não era possível fazer a transmissão do movimento das rodas do robot para os rolos de tracção, pois a rampa não recolhia o suficiente havendo intercepção (figura nº. 5.6).

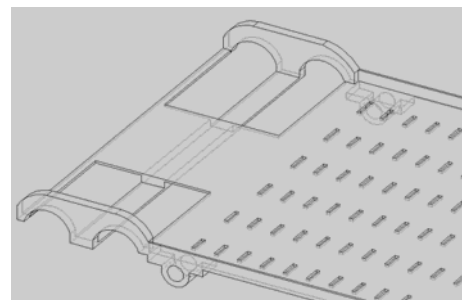
A solução seria então fazer uma espécie de degrau ou seja fazer uma rampa com diferentes alturas para que a parte mais inferior permitisse a contacto entre as rodas do robot a os rolos de tracção. Pode-se ver esta pequena correcção na figura nº. 5.7.



**Figura nº. 5.7** - Solução para o formato da rampa de subida



**Figura nº. 5.6** - Representação esquemática da intercepção roda robot / rampa de subida



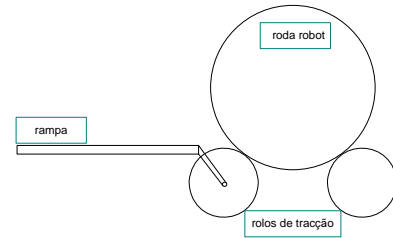




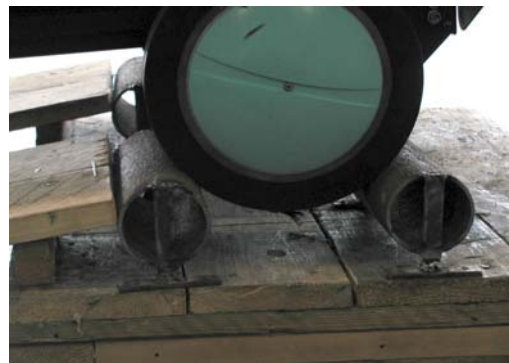
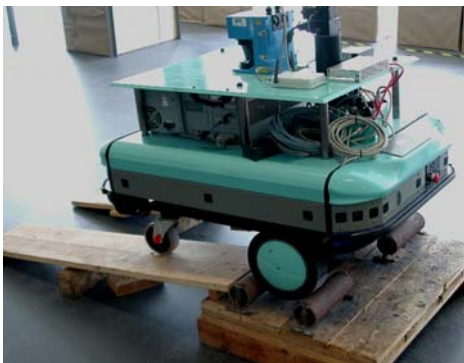
Com este tipo de solução questionou-se se o robot teria “força” suficiente para subir este pequeno degrau. Se analisarmos em mais pormenor verificamos que além da inclinação da rampa, o robot terá ainda de subir um degrau, ou seja, desenterrar-se da abertura para passagem dos rolos de tracção.

Fez-se algumas experiências simulando uma rampa com duas tábuas de madeira como já se tinha feito anteriormente para saber qual era o grau de inclinação máximo que a rampa de subida podia ter em relação á horizontal, mas agora com a simulação das aberturas e com o pequeno degrau de desnível. Verificou-se então que o robot quando estava subir para a rampa e “cai” na primeira abertura não se mexe mais, pois apesar de estar a fazer força, esta já não é suficiente para levar o robot para o apoio intermédio que seria necessário para garantir que o robot quando a rampa rodasse ou seja na fase de elevação do robot ele se posicionasse correctamente entre os rolos. A experiência veio deste modo inviabilizar este tipo de solução para a rampa de subida.

Tentou-se então reduzir a rampa de subida mudando também o seu ponto de apoio e sua posição em relação aos rolos como se pode ver na figura ao lado. Com esta solução garantimos que na fase de subida do robot para a plataforma o robot não tenha nenhum obstáculo extra além da inclinação da rampa. Com experiências realizadas na pratica verificou-se que o robot não tinha problemas em se colocar no meio dos rolos com os seus próprios meios.



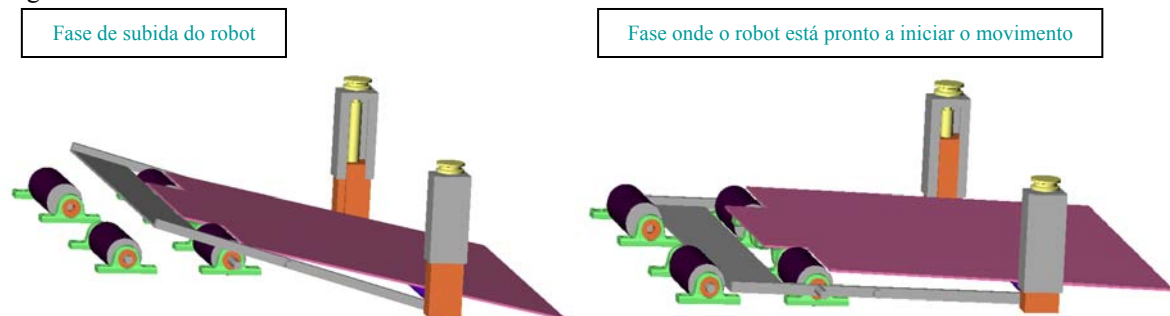
**Figura nº. 5.8** - Representação esquemática do robot / rampa modificada



**Figura nº. 5.9** – Experiência real efectuada

Assim numa primeira visão parecia que tínhamos o problema resolvido apesar de estarmos a sacrificar um pouco a altura máxima que a estrutura poderia ter em relação ao solo, pois a rampa de subida tem de ser praticamente tangente ao diâmetro máximo do rolo de tracção. Mas, esta solução voltava a tornar-se inviável aquando da descida do robot, pois verificou-se que agora não conseguia mas era sair apesar de já estar um pouco inclinado. Este problema pensava-se que poderia ser solucionado variando a distancia entre os rolos de tracção mas a margem de manobra era muito reduzida pois se se reduzisse muito esta distancia punha-se em causa a tracção, o que tornava a solução inviável de novo.

A solução encontra consiste em duas rampas independentes com pontos de rotação distintos para se conseguir diferentes percursos ou distancias percorridas dos seus pontos extremos como podemos ver na figura nº. 5.10.



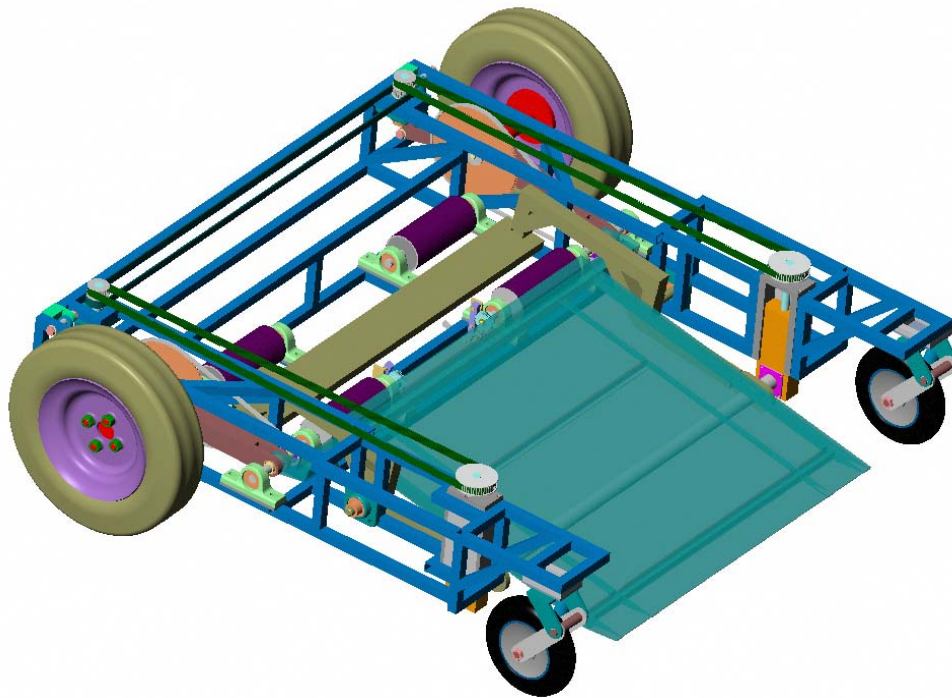
**Figura nº. 5.10** – Representação da posições extremas da rampa de elevação usando duas plataformas independentes

Se observarmos a figura nº. 5.10 do lado esquerdo onde se representa a rampa formando um plano inclinado para a fase de subida do robot, verificamos que as duas rampas ou as duas plataformas praticamente se alinham não fazendo por isso nenhum degrau adicional o que poderia ser problemático nesta fase. Se verificarmos mais em pormenor a rampa mais pequena representada a cinzento tem uma inclinação superior mas mesmo assim está previsto esta não exceder o valor limite de referência que eram os 20°.

Na mesma figura mas do lado direito podemos ver representada a outra posição extrema quando o robot se encontra na fase pronto a avançar ou seja apoiado em cima dos rolos. Aqui já se conseguiu resolver o problema de baixar a rampa de modo a permitir o contacto entre as rodas de o robot e os rolos de transmissão da estrutura, utilizando para isso o mesmo ponto de força mas um diferente ponto de rotação. Deste modo, o robot na fase de subida conseguirá, deste modo, ultrapassar o primeiro rolo e subir para a segunda rampa que irá ser muito importante na fase de descida.

Fazendo uma breve síntese, refere-se que a solução conceptual da estrutura apresentada neste capítulo trazia muitos problemas que poderiam inviabilizar o resultado final aquando da sua construção. Para solução dos problemas que se analisaram anteriormente foi necessário proceder a algumas alterações que vão provocar uma modificação de toda a estrutura.

O estudo realizado até este momento permite-nos pensar numa nova solução conceptual que se poderá ver na figura nº. 5.11.



**Figura nº. 5.11** – Solução conceptual final da estrutura multi-terreno RobuCar

## 5.2. Componente de automatização

A automatização do sistema é um aspecto muito importante para que todo o processo de subida e descida seja feita de uma forma completamente automática. Para isso foi necessário escolher alguns sensores e formas de colocação para detecção de alguns estados.

Deste modo necessita-se de dois sensores indutivos para detecção das posições extremas do fuso. Estes serão colocados num pequeno rasgo que será realizado numa das tampas laterais do fuso, conseguindo-se deste modo obter dois tipos de sinais distintos quando o fuso se encontra na posição superior e na posição inferior, ou seja, a rampa em cima e em baixo respectivamente. Os sensores que foram escolhidos para se utilizar neste caso são sensores com distancia de detecção ampliada M12 que se podem encontrar no catalogo da RS. Na figura nº. 5.12 pode-se ver as características deste tipo de sensores.



Figura nº. 5.12- Sensores indutivos (extracção do catalogo da RS)

Teremos um sensor fotoelétrico para a detecção do robot em posição (figura nº. 5.13). Este sensor detecta que o robot já se encontra na posição ideal para se poder iniciar o processo de elevação da rampa. O sensor será colocado na segunda rampa de elevação representada a castanho na figura nº. 5.13. Apesar de o método não ser o mais seguro já que é um controlo em malha aberta, este sensor terá um temporizador para garantir que o robot já se encontra parado quando a rampa começa a elevar-se. Este método de temporização deve-se essencialmente á falta de comunicação entre o robot e estrutura não se conseguindo detectar se o robot já está parado ou não isto porque é ele próprio que através de um programa de navegação e das leituras de um perfil de distancias vai decidir quando parar.



Figura nº. 5.12- Sensor fotoelétrico (extracção do catalogo da RS)

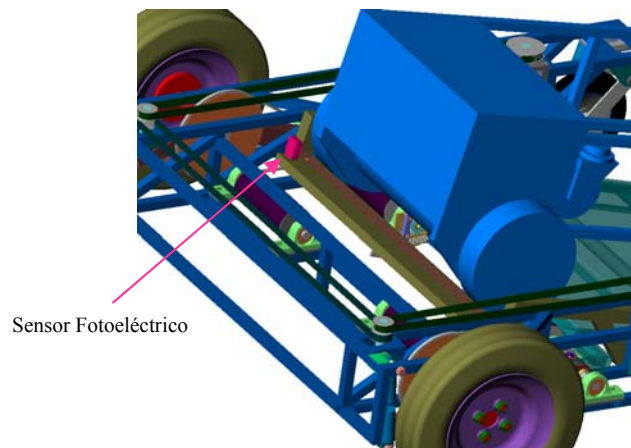


Figura nº. 5.13 – Local de fixação do sensor fotoelétrico na plataforma

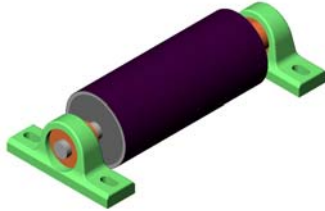
## 6. Estudo e desenvolvimento de todos os componentes da plataforma

A partir da análise efectuada e da solução apresentada na figura nº. 5.11, passou-se ao estudo e desenvolvimento detalhado de cada um dos componentes da plataforma tendo como referencia peças e material existentes no mercado.



## 6.1. Rolos de apoio livres e de tracção para transmissão do movimento

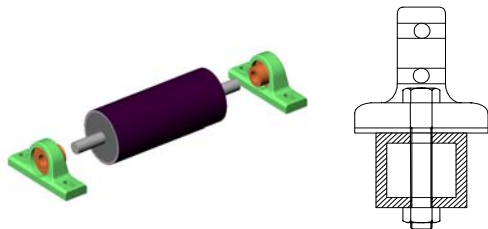
Inicialmente faz-se uma análise dos rolos de apoio livres como representa a figura nº. 6.1, já que a diferença entre estes e os rolos que transmitem a tracção está no comprimento dos eixos de apoio nas chumaceiras, que no segundo caso são bastante superiores.



Este aumento de comprimento deve-se à necessidade de estes veios suportarem tanto a rampa de subida como o próprio braço que suporta a roda traseira não esquecendo do sistema de bloqueio e desbloqueio automático no modo de descida e subida respectivamente.

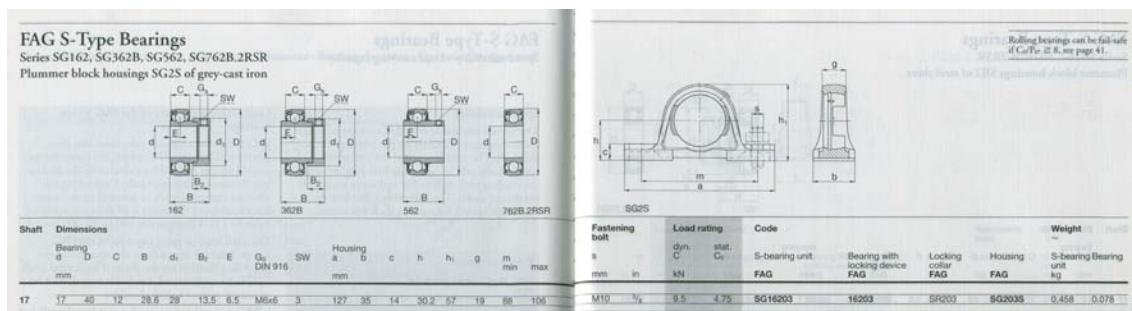
**Figura nº. 6.1** – Rolos de apoio livres

Na figura nº. 6.2 podemos ver o mesmo rolo de apoio livre mas agora em vista explodida onde temos duas chumaceiras e um rolo central que constituem o conjunto. A fixação das chumaceiras á estrutura será realizada por conjunto parafuso porca e a fixação do rolo central ás chumaceiras será realizado por um parafuso que já fará parte destas ultimas.



**Figura nº. 6.2** – Perspectiva explodida e desenho em corte da montagem e fixação dos rolos

Em seguida faz-se a descrição pormenorizada das chumaceiras. Estas chumaceiras são um tipo muito vulgar na industria encontrando-se em vários catálogos de fabricantes da especialidade sendo por isso um componente de fácil aquisição. Os desenhos das chumaceiras até aqui apresentados são uma simples representação onde não se levem em conta pormenores, somente as dimensões exteriores principais. Para uma análise mais cuidada temos na figura nº. 6.3, a representação desta chumaceira em corte e a tabela das suas características retirado do catalogo de rolamentos da FAG.

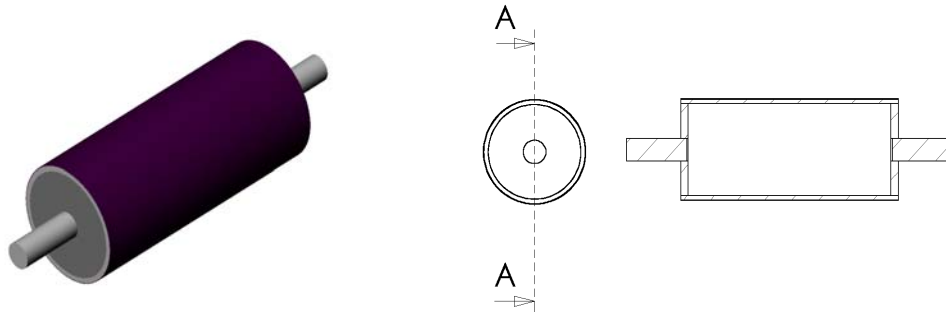


**Figura nº. 6.3** – Representação em corte e tabela das características da chumaceira retirado do catalogo da FAG

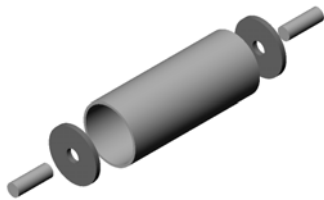
Como se pode verificar o diâmetro interior do rolamento é de 17 mm, podendo suportar uma carga estática de 4.75 kN que é mais do que suficiente para o nosso caso já que o robot pesa no máximo 270 kg sendo estes distribuídos por quatro rodas de uma forma mais ou menos uniformes e duas das rodas vão ser suportadas por quatro rolos ou seja oito chumaceiras. Desde já convêm referenciar que o peso aproximado destas chumaceiras como se pode ver na tabela em cima ronda os 0.5 kg.

Para o caso dos rolos que vão girar livres ou aqueles que vão fazer a tracção e que estão acopladas ás chumaceiras descritas anteriormente não se encontrou nenhum catalogo com as características especificas. Ainda se conseguia arranjar catálogos de rolos para girar livres com diâmetro e comprimento aceitável mas com apoios bastante diferentes dos usados para o outro caso, o que implicaria o desenho e a criação de novas peças para garantir o seu ajuste na estrutura de base.

Decidiu-se assim fazer um desenho deste mesmos rolos referenciando qual o material a usar e uma possível forma de construção, diferindo apenas entre eles o comprimento dos seus eixos de apoio. Em seguida na figura nº. 6.4 podemos ver um destes rolos que neste caso corresponde a um rolo que gira livre, representado tanto em perspectiva como em corte.



**Figura nº. 6.4** – Representação em perspectiva e em corte de um rolo de contacto robot / plataforma



**Figura nº. 6.5** – Perspectiva explodida do rolo

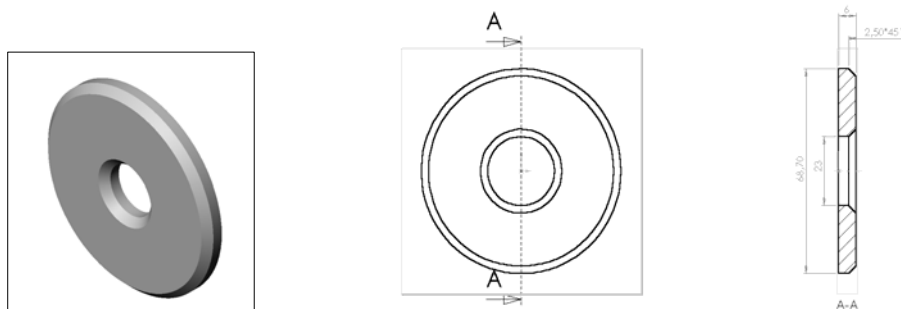
Tanto na representação em perspectiva como na representação e em corte apesar de ser mais visível nesta última da figura nº. 6.4, o rolo é oco por dentro sendo constituído por cinco peças soldadas entre si que estão representados em perspectiva explodidas aqui ao lado.

A peça de maior diâmetro que dita o tamanho dos rolos, ou seja a peça central na figura ao lado é um tubo em aço para canalizações de série ligeira 2½ polegadas com diâmetro exterior médio 76 mm e uma espessura de 3.25 mm. Este tubo é muito fácil de obter devido à sua grande vulgaridade no mercado. O seu comprimento dos rolos é de 180 mm o que significa que o robot terá uma margem de erro de colocação em cima dos

rolos de 60 mm para cada lado garantindo alguma margem de manobra para a subida do robot já que as rodas de trás têm 60 mm de espessura. Esta margem de manobra é de extrema importância devido às incertezas nas medidas dos sensores do robot provocarem incerteza no posicionamento final.

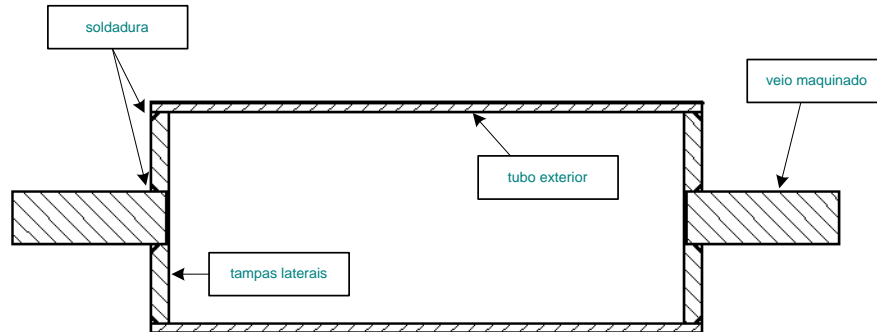
Como irão ser usados 4 rolos de 180 mm o comprimento total de tubo necessário é de 720 mm o que perfaz um peso de aproximadamente 4.2 kg.

Para as tampas laterais que serão soldadas ao tubo exterior irá se usado aço com 8 mm de espessura para garantir alguma rigidez ao conjunto. Elas deverão ter a forma que está na figura nº. 6.6 para que se faça um cordão de soldadura e este tenha grande penetração fixando solidariamente o tubo exterior às tampas de lado. Se para a construção destas tampas se usar um aço vulgar que tenha uma densidade de aproximadamente 7.7 Kg/dm<sup>3</sup> o peso de cada uma delas rondará os 0.5Kg.



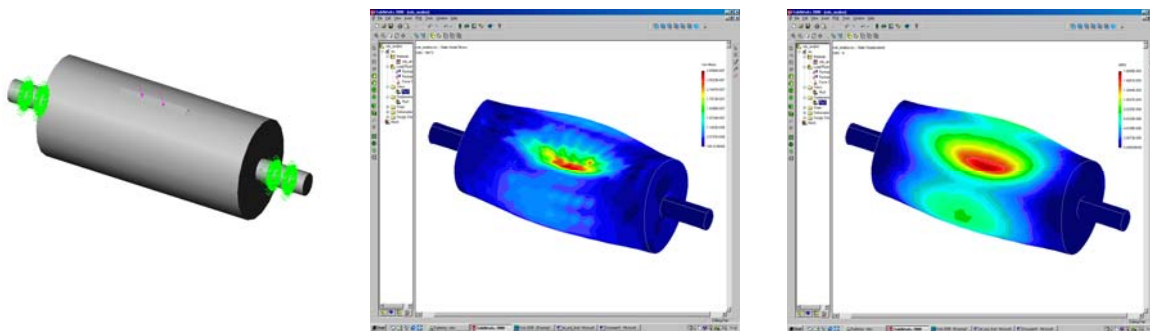
**Figura nº. 6.6** - Representação em perspectiva e em corte das tampas laterais dos rolos

Os veios, devem ter um diâmetro inicial de 23 mm, que permite alguma margem de manobra para se poder maquinar eliminando empenos provenientes da soldadura (ver figura nº. 6.7) garantindo assim que exista coaxialidade com diâmetro final de 17mm. Existem 3 comprimentos diferentes de veios pois, será necessário nos rolos que farão a transmissão da tracção veios mais compridos para que se apoiem outros elementos da estrutura como é o caso do bloqueio e desbloqueio automático, rampa de subida pinhão para transmissão do movimento e braço de suspensão traseira.

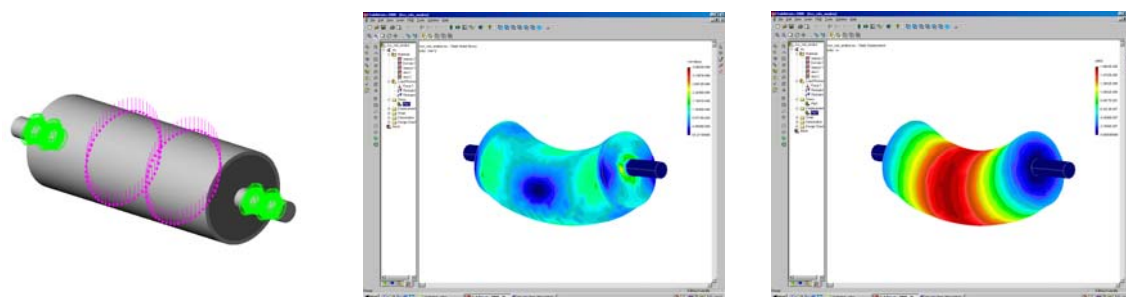


**Figura nº. 6.7** - Representação em corte do conjunto rolos de apoio

Com este conjunto desenhado e descrição anterior de todos os componentes usados falta ainda verificar se na realidade tanto o tubo exterior como os veios terão resistência suficiente para suportar o robot.



**Figura nº. 6.8** - Análise estrutural de tensões segundo o Critério de Von Mises e de deformações do conjunto rolo de apoio quando solicitado numa região de 600 mm<sup>2</sup> com 1000 N

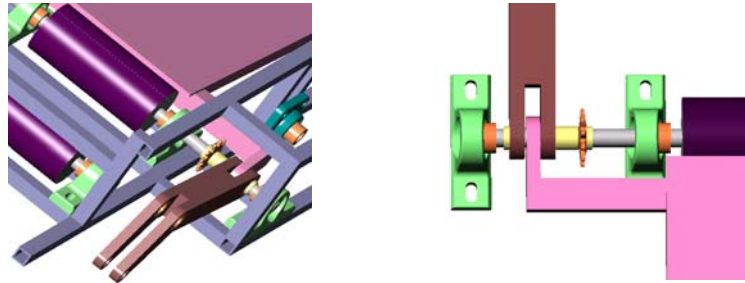


**Figura nº. 6.9** - Análise estrutural de tensões segundo o Critério de Von Mises e de deformações do conjunto rolo de apoio quando solicitado ao longo de toda a sua superfície exterior com 1000 N

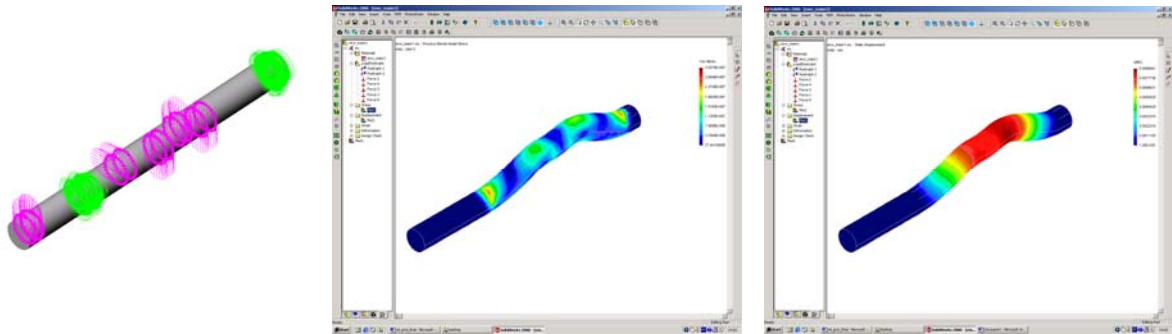
Desta análise conclui-se que as dimensões de todos os componentes para a realização deste conjunto são mais que suficientes pois as tensões como as deformações em causa são pequenas tomando o valor máximo de 28.5 Mpa e  $1.6e^{-5}$  m respectivamente quando solicitado numa região de pequena área de 600 mm<sup>2</sup> que simula o contacto entre as rodas do robot e estes rolos de apoio ou de tracção. Na figura nº. 6.9 a análise foi realizada distribuindo 1000 N ao longo de toda a superfície exterior não se verificando também neste caso problemas no ponto de ligação entre as tampas laterais e os veios. Apesar de aparentemente não existir problemas na realidade quando se maquinar este canto deve-se arredondar a zona de transição conferindo-lhe ainda maior resistência.

Os valores das forças escolhidos foram de 1000 N em ambas as análises garantindo assim um coeficiente de segurança superior a 2, pois o robot somente pesa 180 Kg ( 1766 N) e este peso será distribuído de uma forma quase uniforme por as quatro rodas e sendo cada uma destas rodas suportadas por dois rolos.

Para se completar a análise dos rolos de tracção falta somente analisar qual o comportamento dos eixos dos rolos de tracção que vão ser solicitados com diversas forças provenientes tanto do braço que suportará a roda dianteira, da rampa de elevação e do pinhão usado para transmissão do movimento. Pode-se ver na figura nº. 6.10 seguinte todos os elementos estes apoiados no mesmo eixo.



**Figura nº. 6.10** – Representação dos elementos apoiados no eixo dos rolos de tracção



**Figura nº. 6.11** - Análise estrutural de tensões segundo o Critério de Von Mises e de deformações do eixo do rolo de tracção.

Na análise anterior considerou-se que o braço que suporta a roda provoca uma solicitação de 3000 N isto porque apesar de ser um valor algo arbitrário tem como objectivo levar em consideração que além dos aproximados 1800 N do robot o peso da própria estrutura. O veio é solicitado também com 2000 N numa direcção oposta à força anterior que representa a força que a rampa exerce e ainda com 500 N que representa o valor da força que a corrente de tracção.

Apesar de este valor das solicitações ser algo aleatórios pode-se afirmar que são seguramente superiores aos valores que na realidade vão solicitar este veio garantindo um coeficiente de segurança de pelo menos 2. Com estas solicitações concluímos que os valores das tensões segundo o critério de Von Mises não são muito elevadas atingindo-se no máximo de 30 MPa e um deslocamento inferior a um centésimo de milímetro, concluindo-se deste modo que a dimensão do veio é suficiente para suportar este tipo de cargas.

Os veios dos rolos de tracção têm um comprimento superior aos dos rolos livres e se estes forem executados em aço com densidade de 7.7 Kg/m<sup>3</sup> teremos um peso aproximado de 1.4 Kg e 0.34 Kg respectivamente. Como temos as estimativas dos pesos de todos os componentes que fazem parte do conjunto temos que o peso de um rolo de tracção com as duas chumaceiras rondará os 4.79 Kg e os rolos que rodam livres 3.74 Kg.

## 6.2. Fuso para a elevação da rampa

O fuso para elevação da rampa de subida e descida do robot é semelhante a um braço telescópico para que na fase de elevação do robot ele também se recolha garantindo sempre uma determinada distancia de toda a estrutura ao solo. Podemos ver na pequena figura nº. 6.12 as duas posições extremas que este fuso irá ter na fase de subida e descida e na fase em que ele estará pronto a se movimentar.

Inicialmente para fazer o estudo em pormenor de um fuso de elevação será necessário saber qual a sollicitação a que este se encontra sujeito. Apesar de a estrutura ter sofrido muitas alterações, a análise efectuada no 2º caso da secção 5.1 (Cálculos das forças envolvidas para uma primeira escolha do sistema de elevação) pode ser levada em conta. Se analisarmos o principio de elevação, continua-se a usar um ponto de rotação e uma rampa de subida permanecem, não havendo necessidade de levar em linha de conta a segunda rampa que nesta ultima solução se encontra a seguir aos rolos de apoio porque, utiliza-se somente o centro de massa do robot como único elemento de força que se opõe ao movimento de subida da plataforma.



Figura nº. 6.12 – Posições extremas do fuso telescópico

Da análise anterior 
$$F = \frac{P \cdot a \cdot \cos \beta}{c}$$
 onde F é a força necessária para a elevação segundo vertical

No nosso caso temos:

- peso do robot  $P = 2649 \text{ N}$  ( $\pm 270 \text{ kg}$ )
- distância entre o centro de massa (CM) do robot e o eixo de rotação,  $a = 144 \text{ mm}$
- distancia entre ao fuso e o eixo de rotação segundo a direcção y dos eixos de coordenadas,  $c = 440 \text{ mm}$ .

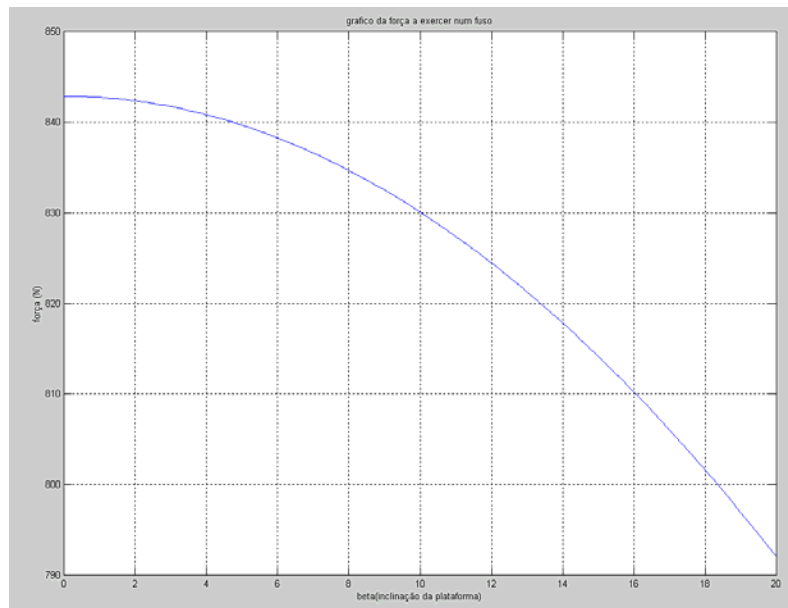


Figura nº. 6.13 - Representação gráfica da força em função do ângulo de inclinação da plataforma

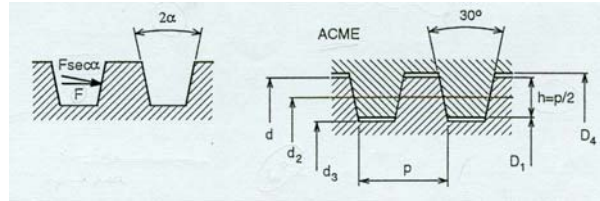
Os valores da força no figura nº. 6.13 são inferiores aos obtidos inicialmente quando se fez uma primeira aproximação do valor das forças envolvidas para a escolha do método de elevação. Utilizou-se o valor do peso do robot de 2649 N, porque este é o valor de referencia do fabricante.

Após termos o conhecimento das forças necessárias para a elevação da rampa passou-se para o calculo ou seja ao dimensionamento do fuso que fará a transformação de movimentos de rotação em movimento de translação. Assim o objectivo principal será saber qual o binário, M que deve ser aplicado ao parafuso de forma a movimentá-lo contra ou a favor da carga F.

O calculo do momento torçor para uma rosca “métrica ACME” apresentado em seguida tendo como base os apontamentos da disciplina de Órgãos de Maquinas e Anteprojecto.

$$M = \frac{F \cdot d_m}{2} \cdot \frac{\mu \cdot \pi \cdot d_m \pm L \cdot \cos \alpha}{\mu \cdot d_m \cdot \cos \alpha \mp \mu \cdot L}$$

A formula apresentada para o calculo do valor do momento tem dois sinais, onde os sinais superiores e inferiores se aplicam na movimentação contra e a favor da carga, respectivamente. Em seguida apresenta-se uma representação esquemática da geometria e uma tabela das dimensões das roscas ACME retirado dos apontamentos de Órgãos de Maquinas e Anteprojecto.



**Figura n.º 6.14** – Representação esquemática da geometria da rosca métrica ACME

d	p	d2	D4	d3	D1
10	2	9.0	10.5	7.5	8.0
12	3	10.5	12.5	8.5	9.0
16	4	14.0	16.5	11.5	12.0
20	4	18.0	20.5	15.5	16.0
24	5	21.5	24.5	18.5	19.0
28	5	25.5	28.5	22.5	23.0
30	6	27.0	31.0	23.0	24.0 (*)
32	6	29.0	33.0	25.0	26.0
36	6	33.0	37.0	29.0	30.0
40	7	36.5	41.0	32.0	33.0
44	7	40.5	45.0	36.0	37.0
48	8	44.0	49.0	39.0	40.0
50	8	46.0	51.0	41.0	42.0 (*)
52	8	48.0	53.0	43.0	44.0
55	9	50.5	56.0	45.0	46.0 (*)
60	9	55.5	61.0	50.0	51.0
65	10	60.0	66.0	54.0	55.0 (*)
70	10	65.0	71.0	59.0	60.0
75	10	70.0	76.0	64.0	65.0 (*)
80	10	75.0	81.0	69.0	70.0
90	12	84.0	91.0	77.0	78.0
100	12	94.0	101.0	87.0	88.0

**Tabela n.º 6.1** – Tabela de dimensões standard da rosca métrica ACME segundo a figura n.º.6.14.

(\*) 2ª escolha

Mas para se levar em consideração atritos adicionais, como é o caso do atrito que a gola induz na transmissão de uma carga, terá de se acrescentar a equação do calculo do momento um segundo termo.

$$M_t = \frac{F \cdot d_m}{2} \cdot \frac{\mu \cdot \pi \cdot d_m \pm L \cdot \cos \alpha}{\mu \cdot d_m \cdot \cos \alpha \mp \mu \cdot L} + \frac{F \cdot \mu_c \cdot d_c}{2} \quad (13)$$

Neste caso como não existe um modelo que permita quantificar atritos adicionais entre o conjunto de suporte exterior e a peça deslizante interior, vamos definir estes de uma forma aproximada avaliando qual a superficie de contacto e associando esta a um diâmetro equivalente  $d_c$  usada na formula 13, onde  $\mu_c$  é o coeficiente de atrito entre as duas superficies.

O rendimento da transmissão é igual ao quociente entre o trabalho útil e o trabalho fornecido durante uma rotação completa o que implica,

$$\eta = \frac{F \cdot L}{M_t \cdot 2\pi} \quad (14)$$

Em relação ao dimensionamento à resistência e segundo a bibliografia consultada não é um factor muito critico no projecto de parafusos de transmissão de potencia pois estes devem ser solicitados axialmente e não ao corte. Como há varias analise aproximadas de tensões na rosca, utilizam-se em seguida duas analises em que a primeira considera uma tensão de corte média ao longo da rosca em contacto com uma porca de altura h. Segundo a bibliografia este tipo de analises são pouco rigorosas, uma vez que a carga não se não distribui uniformemente pelas roscas suportando as primeiras rosca uma maior proporção de carga.





Critério de Rotura (usando a tensão de corte média)  $\tau = \frac{2F}{\pi.d_3.h}$  (15)

A outra análise considera do Critério da Pressão Superficial média na rosca que será dado por:

$$q = \frac{F}{\pi.d_m.h} \quad (16)$$

Segundo a norma ISO 898 para parafusos de aço/porcas de bronze limita a pressão superficial média na rosca a um valor admissível de 7.5 Mpa para aços não-ligados correntes e 15 Mpa para aços de alta resistência.

Ainda para se fazer uma análise completa do dimensionamento do fuso faz-se a verificação da condição de auto-retenção que será de extrema importância no nosso caso por questões de segurança evitando com que a carga desça naturalmente, sendo necessário para isso aplicar um momento M. Para a condição de auto-retenção se verificar basta garantir que  $M > 0$  e isto verifica-se se:

$$\mu > \frac{L \cdot \cos \alpha}{\pi.d_m}$$

Com a exposição teórica das formulas necessárias para o dimensionamento passou-se ao calculo destas variáveis para os seguintes valores.

F=1700 N	- força necessário para a elevação
$d_m=0.014$ m	- diâmetro médio da rosca métrica ACME segundo a tabela nº. 4.2
$D_3=0.0115$ m	- diâmetro interior do fuso
$\mu = \mu_c=0.15$	- coeficiente de atrito
P=0.004 m	- passo do fuso
Z=1	- numero de dentes ou numero de entradas
$\alpha=15^\circ$	- ângulo de inclinação da rosca
$d_c=0.040$ m	- diâmetro equivalente para o calculo da força de atrito
H=0.180 m	- altura da porca

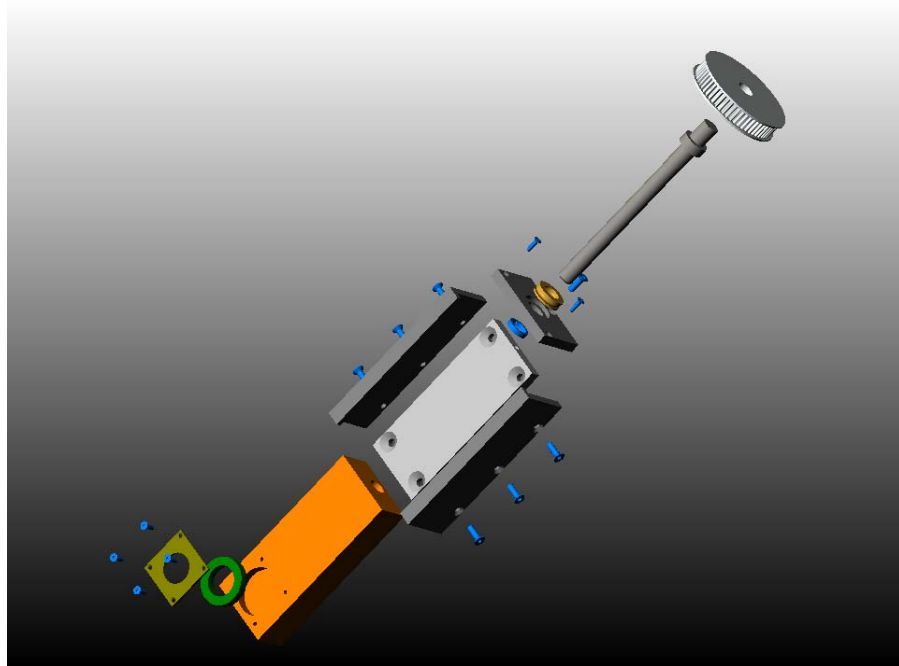
De notar que o valor de 1700 N para a força de elevação da rampa tem um coeficiente de segurança de 2 já que o valor necessário para a elevação desta era somente 850 N e o valor do coeficiente de atrito é de 0.15 dados como referência na bibliografia. Na tabela seguinte apresentam-se os valores obtidos, que foram calculados no matlab. O código para o calculo encontram-se no anexo II.

Descrição das variáveis	Valores Obtidos
Tensão usando o critério de rotura	$\tau = 6.2739 \times 10^5$ Pa
Tensão usando o critério da pressão superficial	$Q = 2.5768 \times 10^5$ Pa
Momento torçor contra a carga	M = 6.5755 N.m
Momento torçor a favor da carga	M = 5.4802 N.m
Coeficiente de atrito para a auto-retenção	$\mu = 0.0878$
Rendimento	$\eta = 0.1646$

**Tabela nº. 6.2** – Tabela dos resultados obtidos para o dimensionamento do fuso de elevação

Fazendo uma análise aos resultados anteriores verifica-se que não temos problemas com o valor das tensões já que a altura da porca em questão é bastante grande. Em relação ao momento torçor como era de esperar é superior quando o fuso se movimentava contra a carga, mas tem um valor não muito elevado de 6.6 N.m. Temos também garantido a auto-retenção porque o valor do coeficiente de atrito calculado é inferior ao coeficiente de atrito utilizado. Só convém ter em atenção que o rendimento de todo o sistema é muito baixo cerca de 16.4 %.





**Figura n.º 6.15** – Perspectiva explodida do conjunto do fuso de elevação

No desenho da figura n.º 6.15 representa-se a perspectiva explodida do conjunto do fuso para a elevação pretendendo-se dar uma ideia geral de todos os seus componentes assim como a sua forma de montagem.

Em seguida fazer-se-á uma descrição mais detalhada de cada um destes componentes.

**5mm de Paso, 16mm de Ancho**  
**NUEVO**

Código RS	d	D	D1	H	W	W1	Paso x anch. correa	N.º de dientes
286-5736	4	15,06	20	8	21	21	5x16	10
286-5742	4	18,25	23	12	21	21	5x16	12
286-5758	6	21,45	26	14	15	21	5x16	14
745-674	6	23,05	28	16	15	21	5x16	15
286-5764	6	23,05	30	18	15	21	5x16	16
745-680	6	27,80	33	20	15	21	5x16	18
286-5770	6	29,40	34	22	15	21	5x16	19
745-696	6	31,00	36	24	15	21	5x16	20
286-5786	6	37,35	42	28	15	21	5x16	24
745-703	6	39,00	43	26	15	21	5x16	25
286-5809	8	42,15	47	30	15	21	5x10	27
745-719	8	46,95	51	34	15	21	5x10	30
286-5815	8	50,10	55	38	15	21	5x16	32
286-5821	8	56,45	61	40	15	21	5x16	36
745-725	8	62,85	67	40	15	21	5x16	40
745-731	8	75,55	80	48	15	21	5x16	48
745-747	8	94,65	105	60	15	21	5x16	60

**Figura n.º 6.16** – Polias do sistema de elevação segundo o catalogo da RS

Para o caso da polia que vai servir para a transmissão do movimento que será imposto por um motor permitindo a elevação ou a descida do fuso, esta será em alumínio segundo o catalogo da RS com a referencia 745 – 731 como se pode ver na figura ao lado n.º 6.16. O diâmetro exterior da polia é de 75.55 mm usando-se um passo de 5 mm e uma largura para as correias de transmissão com 16 mm com o numero de 48 dentes. Com esta dimensão espera-se aqui ter uma relação de 1:2 já que a polia que é previsto ser usada à saída do redutor tem 24 dentes, sendo o movimento entre estas duas polias transmitido por uma correia.

Em relação ao fuso como podemos ver ao lado será uma peça única maquinada onde será necessário abrir a rosca métrica ACME de diâmetro médio de 14mm com comprimento da rosca de 160mm segundo o que está representado na figura n.º 6.14 e na tabela n.º 6.1. Os degrau ou seja as variações de diâmetro devem-se à necessidade de apoiar este fuso em cima de um rolamento axial que suportará todo o sistema de elevação e o robot e à colocação da polia para transmissão da do momento torçor.



**Figura n.º 6.17** - Representação esquemática do fuso

O rolamento axial referido terá como única função suportar o fuso reduzindo muito a força de atrito e o desgaste dos componentes que se geraria se houvesse um contacto directo o fuso e a parte superior da caixa exterior do fuso, diminuindo consequentemente o binário necessário para a elevação do conjunto rampa robot. Para evitar a saída de uma forma simples deste conjunto haverá um anel que no desenho de conjunto esta representado a azul que será aparafusado não permitindo que esta parte do fuso se desencaixe. O rolamento axial é muito vulgar na industria encontrando-se em vários catálogos de fabricante da especialidade. Para uma análise mais cuidada temos na figura n.º 4.29, a representação deste rolamento em corte e a tabela das suas características retirado do catalogo de rolamentos da FAG.



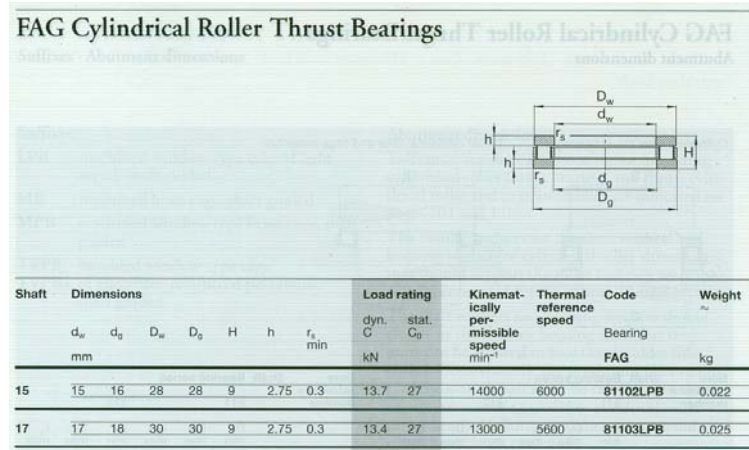


Figura nº. 6.18 – Representação do desenho em corte e da tabela das características do rolamento axial retirado do catalogo da FAG

A caixa exterior de suporte para o fuso de elevação é constituída em quatro partes com espessuras diferentes devido essencialmente à forma e os parafusos usados na fixação. A parte de trás é a parte que vai fazer a fixação de todo o conjunto à estrutura base, usando-se para isso 4 parafusos de cabeça de embeber de oco hexagonal FHF M8 com porca. Todas as outras partes deste conjunto são ligadas entre si usando o mesmo tipo de parafusos FHF com diâmetros M4 e M6.

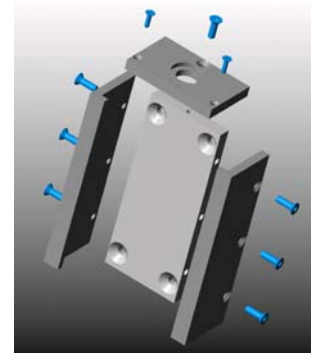


Figura nº. 6.19 - Perspectiva explodida da caixa exterior de suporte do fuso

A peça deslizante que sobe e desce e que usualmente é designada por porca é uma peça única com o formato já apresentado na figura de conjunto da perspectiva explodida da figura nº. 6.15, terá um furo roscado para que seja possível o movimento para cima e para baixo e uma cavidade onde será colocado um rolamento. Este rolamento vai permitir deste modo que o veio transversal de suporte possa rodar e mais facilmente deslizar na rampa usada para a subida. Será cobertura deste rolamento será usada uma tampa com quatro parafusos FHF M4. O rolamento usado neste caso foi à semelhança dos anteriores foi escolhido no catalogo da FAG. De seguida na figura nº. 6.21 podemos ver algumas características principais assim como o desenho deste em corte.

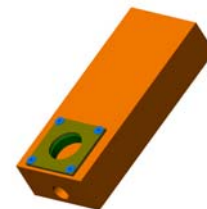


Figura nº. 6.20 – Peça deslizante do fuso

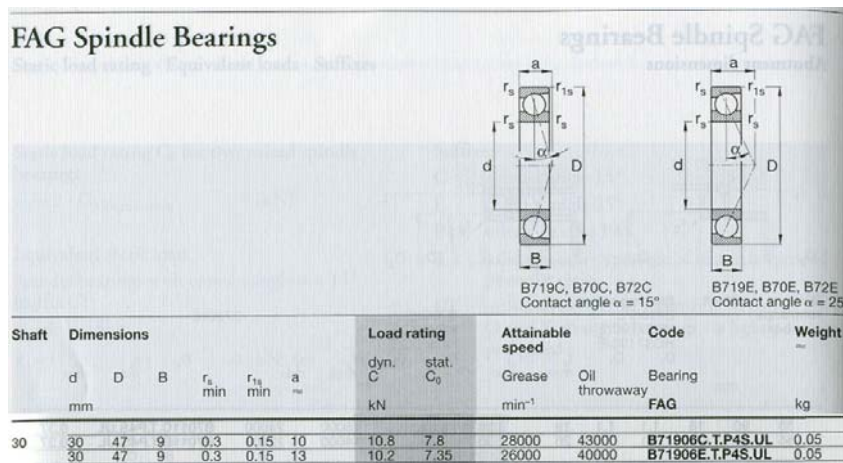
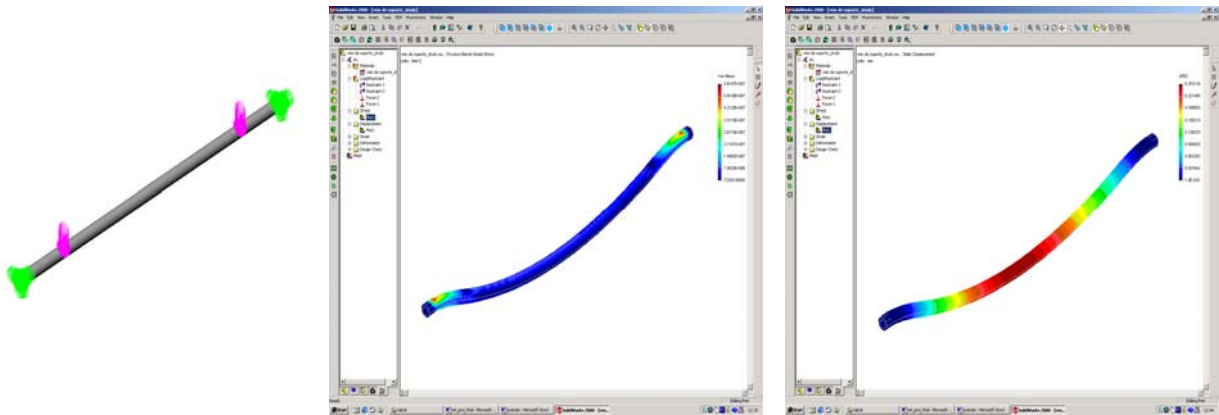


Figura nº. 6.21 – Representação do desenho em corte e da tabela das características do rolamento axial retirado do catalogo da FAG

O veio transversal que suportará a rampa e o robot tanto na fase de elevação como durante todo o tempo que o robot permanecer em cima da plataforma é um tubo circular de aço com 30 mm de diâmetro exterior e com uma espessura de 4.5 mm. Será necessário utilizar um tubo de espessura tão elevada não por que as forças sejam muito grandes mas a área onde elas actuam é muito pequena o que leva a concentração de tensões em determinadas regiões deste tubo. Em seguida podemos então observar na figura n.º 6.22 o estudo realizado quando este tubo é solicitado com uma força de 2000 N que é aproximadamente o dobro do peso do robot. Verifica-se que as tensões máximas de Von Mises apesar de se utilizar um tubo de 4.5 mm de espessura são bastante elevadas chegando-se a atingir os 56 Mpa, valor que mesmo assim não compromete a utilização deste tubo para esta aplicação. Em relação ao deslocamento o valor máximo obtido é inferior a 3 decimas de milímetro, que representa uma ordem de grandeza insignificante para a aplicação em causa.



**Figura n.º 6.22** – Análise estrutural de tensões segundo o Critério de Von Mises e de deformações na barra transversal de suporte do sistema de elevação

### 6.3. Rampa de subida do robot para a plataforma

Na realidade não é só uma rampa que permite a subida do robot para a plataforma mas duas que vão permitir de uma forma conjunta que o robot suba para cima da estrutura e se coloque de forma estratégica para que durante a fase de elevação este se encaixe entre os rolos que vão fazer a transmissão do movimento. As razões para a utilização de duas rampas deve-se essencialmente às razões já descritas anteriormente neste relatório que tinham a ver com limitações físicas por parte do robot em atravessar pequenos obstáculos quando se encontra a subir uma rampa com 18° de inclinação.

A primeira rampa considerando que esta será a que permite a fase de subida inicial, terá uma estrutura construída com perfil quadrado e em L, para garantir alguma rigidez à rampa não permitindo flexões ou deformações plásticas localizadas na chapa de cobertura à passagem sucessiva das rodas do robot numa determinada região.

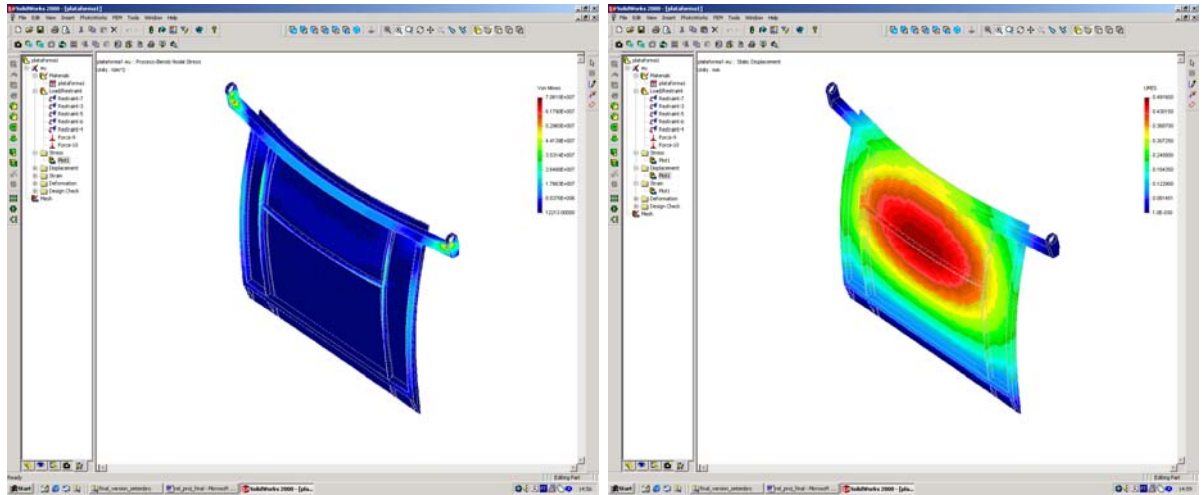
A rampa é composta com uma barra transversal de perfil quadrado 30×30 com 2,5 mm de espessura onde serão soldadas duas peças para permitir a rotação desta mesma rampa. Nestas duas peças serão posteriormente adicionados dois rolamentos com diâmetro interior de 17 mm para acoplamento ao veio que virá dos rolos de tracção. A rampa tem duas barra longitudinais quadradas 20×20 com 2 mm de espessura para as partes mais exteriores e em perfil L de 20×20 com 3 mm de espessura que se encontram localizadas na região onde as rodas do robot irão passar. A estrutura da rampa ainda se encontra reforçada com mais duas barras transversais, uma delas com um perfil quadrado de 20 mm e um perfil em L como descritos anteriormente.



**Figura n.º 6.23** – Primeira rampa de subida

Para se verificar qual o comportamento desta rampa quando esta for solicitada fez-se um estudo estrutural onde se aplicou numa região específica uma força de 2000 N, restringindo os pontos de rotação e a parte da rampa que é previsto fazer o contacto com o solo (figura n.º 6.24). De referir que na análise seguinte considerou-se que a rampa tem uma cobertura de chapa de aço de 3 mm de espessura que irá ser soldada à estrutura de base de toda a rampa.

Com os resultados obtidos poderemos afirmar que a rampa tem uma estrutura capaz de suportar as solicitações ou seja suportar o peso do robot, porque os valores utilizados para as forças na análise são aproximadamente o dobro dos valores actuais e os valores das deformações máximas obtidas são inferiores a 5 decimas de milímetro. Por outro lado só se verifica um pequeno local onde as tensões chegam a atingir os 70 Mpa sendo na restante parte da estrutura valores muito inferiores.



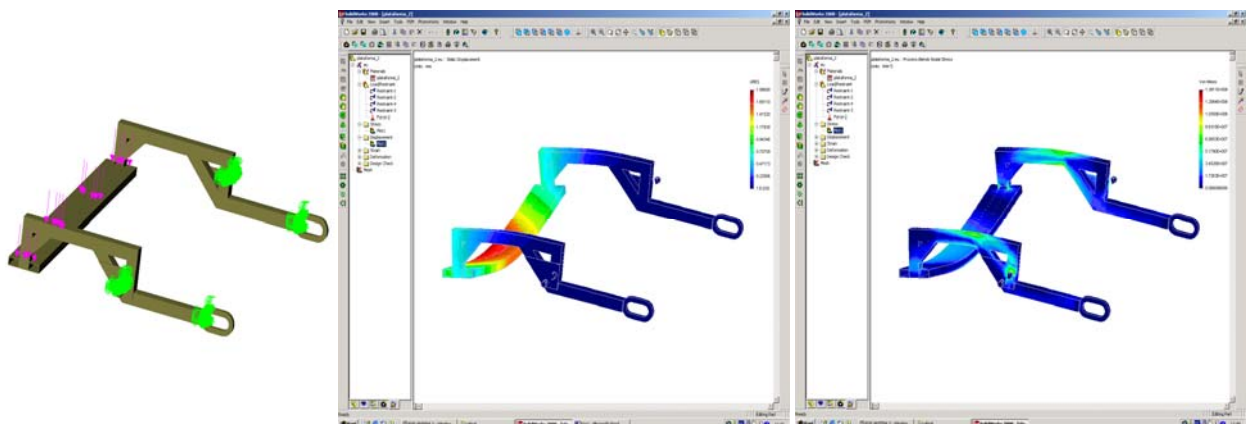
**Figura nº. 6.24** – Análise estrutural de tensões segundo o Critério de Von Mises e de deformações na primeira rampa usada no processo de subida do robot

A segunda rampa que permite o apoio do robot na parte final da fase de subida terá uma configuração como a apresentada na figura ao lado garantindo assim que nesta fase de subida o robot suba sem problemas de tracção ou de potencia e que na fase de recolha esta plataforma permita o contacto entre as rodas do robot e os rolos de tracção. Esta rampa será apoiada em duas chumaceiras laterais que definem o seu ponto de rotação e terá nas suas extremidades um contacto com a barra transversal de suporte para garantir a sua elevação de uma forma sincronizada com a primeira plataforma.



**Figura nº. 6.25** – Segunda rampa de subida

Inicialmente toda esta plataforma foi idealizada usando um perfil quadrado de aço 30×30 mm com 2.5 mm de espessura, na qual foi feita uma análise estrutural impondo-se uma força de 2000 N. Os resultados obtidos (figura nº. 6.26) demonstram que existe locais de elevadas tensões optando-se por utilizar um perfil da mesma dimensão mas com 3.2 mm de espessura. Por razões desconhecidas o programa que corre no SolidWorks o CosmosWorks gerava um erro na análise desta ultima estrutura sendo impossível mostrar aqui o resultado da análise.

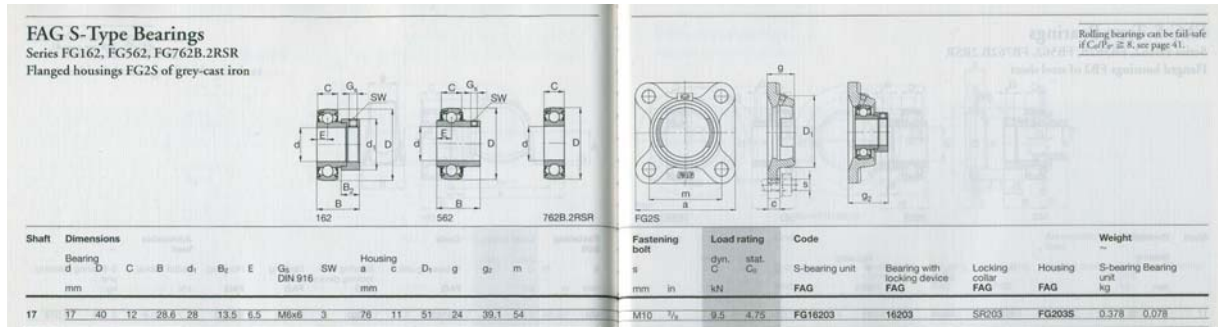


**Figura nº. 6.26** - Análise estrutural de tensões segundo o Critério de Von Mises e de deformações na segunda rampa usada no processo de subida do robot





As chumaceiras laterais encontrando-se em vários catálogos de fabricantes da especialidade sendo por isso um componente de fácil aquisição. O desenho da chumaceira aqui apresentado é uma simples representação onde não se levam em conta pormenores, somente as dimensões exteriores principais. Para uma análise mais cuidada temos na figura n.º 6.27, a representação desta chumaceira em corte e a tabela das suas características retirado do catalogo de rolamentos da FAG.



**Figura n.º 6.27** – Representação em corte e tabela das características da chumaceira lateral retirado do catalogo da FAG

Como se pode verificar o diâmetro interior do rolamento é de 17 mm, podendo suportar uma carga estática de 4.75 kN que é mais do que suficiente para o nosso caso já que o robot pesa somente 180 kg sendo estes distribuídos por quatro rodas de uma forma mais ou menos uniformes e somente duas das rodas vão ser suportadas pela rampa.

#### 6.4. Roda dianteira livre

A roda dianteira livre é uma peça fundamental para que se consiga fazer o direccionamento do todo o conjunto. Mas segundo uma análise das rodas livres existentes no mercado a primeira escolha foi deste modo a roda L\_P 220R segundo o catalogo da Blicke como podemos analisar na figura n.º 6.28 .



Ruedas girat.		Ruedas fijas											
Referencia	Referencia	Ø rueda mm	Ancho rueda mm	Capacidad de carga kg	Ejes	Altura total mm	Tamaño de platina mm	Entre centros de taladros mm	Ø taladro mm	Voladizo rueda girat. mm	Peso p.u. rueda girat. kg	Peso p.u. rueda fija kg	
L-P 200R	B-P 200R	200	50	75	coj. de agujas	235	140 x 110	105 x 75-80	11	65	2,6	2,0	
L-P 220R	B-P 220R	220	70	100	coj. de agujas	250	140 x 110	105 x 75-80	11	60	3,0	2,7	
L-P 222R*	B-P 222R*	220	70	100	coj. de agujas	250	140 x 110	105 x 75-80	11	60	3,0	2,7	
L-P 261R	B-P 261R	260	85	200	coj. de agujas	310	175 x 175	140 x 140	15	78	5,0		
L-P 263R*	B-P 263R*	260	85	200	coj. de agujas	310	220 x 120	190 x 75	15	78	5,0	3,7	
	B-P 263R*	260	85	200	coj. de agujas	310	220 x 120	190 x 75	15	78	5,0	3,7	

**Figura n.º 6.28** - Desenho e tabela das características das rodas livres retirados do catalogo da Blicke

Verificou-se que surgiam problemas para a colocação e fixação destas, já que deveria ser possível de adaptar uma suspensão entre estas rodas e a estrutura. Para que fosse possível ultrapassar este problema idealizou-se uma estrutura sendo esta já passível de levar suspensão, o desenho desta mesma estrutura pode ser visualizada na figura ao lado. Podemos também ver em mais pormenor a constituição deste conjunto na figura n.º 6.30 onde se apresenta a perspectiva explodida.



**Figura n.º 6.29** – Roda livre com local para suspensão

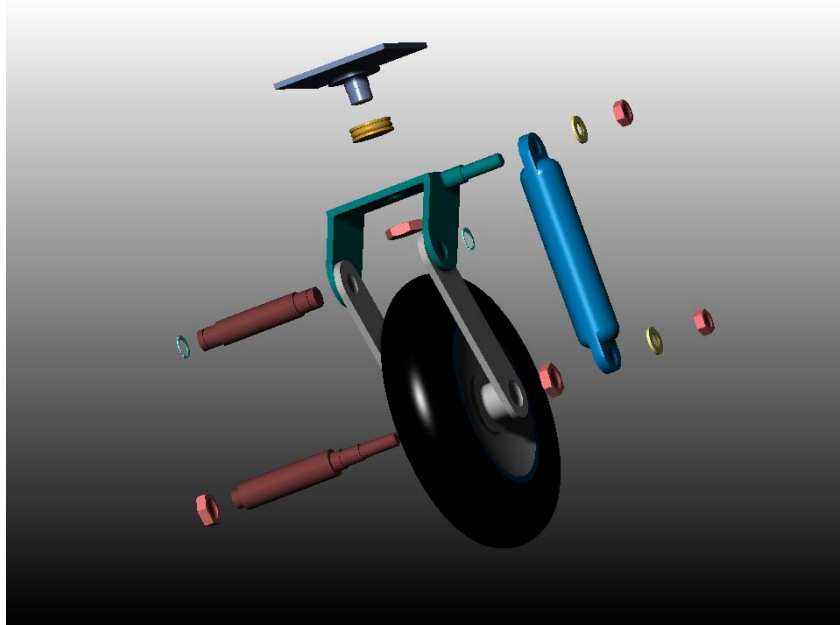


Figura nº. 6.30 - Perspectiva explodida do conjunto da roda livre

Neste caso a roda utilizada tem as mesmas características da roda anteriormente escolhida mas agora sem qualquer estrutura exterior. Todas as características destas rodas estão representadas na figura n.º 6.31 que é uma extracção do catalogo Blicke que a empresa MoviTrofa representa em Portugal.

**Ruedas neumáticas Blicke, centro de acero estampado, Serie: P, ø rueda 180 - 300 mm**

**Bandaje:**  
Con perfil plano y con tacos, lonas 2 o 4, con cámara.

**Centros:**  
De acero estampado, prensados, atornillados o soldados, con cubo de tubo de acero (soldado), con casquillo liso, con cojinete de agujas o a bolas, cincado-cromados. Descripción detallada: Pág. 1.12

**75 - 250 kg**

Perfil plano		Perfil c. tacos									
Referencia	Referencia	Ø rueda mm	Ancho rueda mm	Medida de bandaje	Lonas	Capacidad de carga kg	Presión de aire bar/psi	Ejes	Ø eje mm	Largo de cubo mm	Peso p.u. kg
P 180/20-48R*		180	50	7 x 1 1/4	2	75	2,5/36	coj. de agujas	20	48	0,8
P 200/20-48R		200	50	-	2	75	2,5/36	coj. de agujas	20	48	0,9
P 200/20-60R		200	50	-	2	75	2,5/36	coj. de agujas	20	60	1,0
P 220/20-75R	P 222/20-75R	220	70	2.50-4	2	100	2,5/36	coj. de agujas	20	75	1,1

Figura nº. 6.31- Desenho e catalogo das características das rodas utilizadas para o conjunto das rodas livres retirados do catalogo da Blicke

Neste conjunto é utilizado ainda como elemento existente no mercado um rolamento axial com 17 mm de diâmetro interior e com as mesmas características do rolamento axial usado no caso dos fusos para elevação da rampa. Como elemento standard temos ainda as porcas para fixação onde se utilizam porcas hexagonais segundo a norma ISO 4035 e os anéis elásticos de 14mm.

Neste conjunto ainda se representa uma peça a azul que inicialmente será somente um tubo rígido para as primeiras experiências que depois pode ser substituído por uma mola amortecedor.

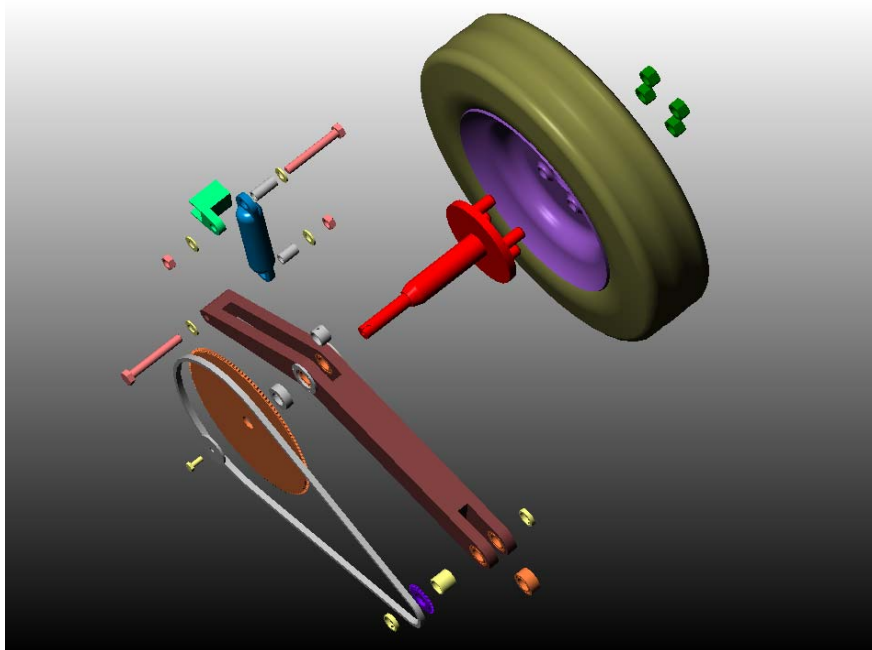
É importante ainda referir dois aspectos que foram tomados em conta na idealização deste conjunto. Um deles é que o conjunto total de roda livre não assenta directamente na estrutura base de toda plataforma garantindo-se deste modo alguma flexibilidade quando se escolher um amortecedor já que esta peça pode ser substituída por uma de maior ou menor dimensão. O outro aspecto que ainda não foi referido é somente de natureza estética que é a necessidade de construir duas peças simétricas que poderemos ver na figura n.º 6.32 para garantir que o amortecedor esteja colocado sempre na parte mais interior de todo o conjunto de suporte do robot quando este se desloca em frente.



**Figura n.º 6.32** - Peças de suporte da roda livre

### 6.5. Conjunto roda traseira veio de transmissão e braço para possível suspensão

O conjunto da roda traseira, veio de transmissão e braço para ser possível de prover a estrutura de uma suspensão foram idealizados como se representa na figura n.º 6.33. A forma do braço de suporte elimina alguns problemas, como por exemplo, este permite que a corrente de transmissão se mantenha sempre em tensão, devido aos pontos de rotação serem os mesmos, ou ainda que seja possível a adaptação de uma suspensão um pouco abaixo do eixo de rotação da roda, garantindo deste modo que o seu apoio superior não ultrapasse a altura da plataforma. Este aspecto será muito importante na âmbito da navegação do robot porque, se consegue evitar a interferência da suspensão com os sensores ultra-sons permitindo assim o seu uso para detecção de obstáculos.



**Figura n.º 6.33** - Perspectiva explodida do conjunto da roda traseira, braço de suspensão e veio de transmissão de tracção.

Em seguida fazer-se-a uma descrição pormenorizada de cada um dos componentes deste conjunto justificando as opções tomadas em cada caso.

A roda aqui utilizada é uma roda pneumática com uma jante de quatro furos que permite a fixação da roda e transmissão de potencia, com um diâmetro exterior máximo 385 mm com uma capacidade de carga de 170 Kg. Pode-se visualizar na figura n.º 6.34 a descrição pormenorizada desta roda segundo o catalogo da Mecanarte.





**Ruedas neumáticas Blickle, encajables, centro de acero estampado, Serie: PA**

**Bandaje:** Perfil con tacos, lonas 2 - 10, con cámara.

**Centros:** De acero estampado, prensados, atornillados o soldados, con cubo de tubo de acero (soldado), agujeros para montaje con tuercas o tornillos de asiento esférico, acuañados o rebajados, pintados. Color: plateado. Descripción detallada: Pág. 1.12.

250 - 1300 kg

Perfil c. tacos											
Referencia	Ø rueda mm	Ancho rueda mm	Medida de bandaje	Lonas	Capacidad de carga kg	Presión de aire bar/psi	Medid./fasc. de centro nº agujeros	Ø agujero/tornillo mm	Ø círculo de agujeros mm	Peso p.u. kg	
PA 402/4	400	100	4.00-8	2	250	2.5/36	4	14.5	60	100	3.2
PA 412/4	400	100	4.00-8	4	350	3.5/51	4	14.5	60	100	3.5

Figura n.º 6.34 - Desenho e tabela das características das rodas livres retirados do catalogo da Mecanarte

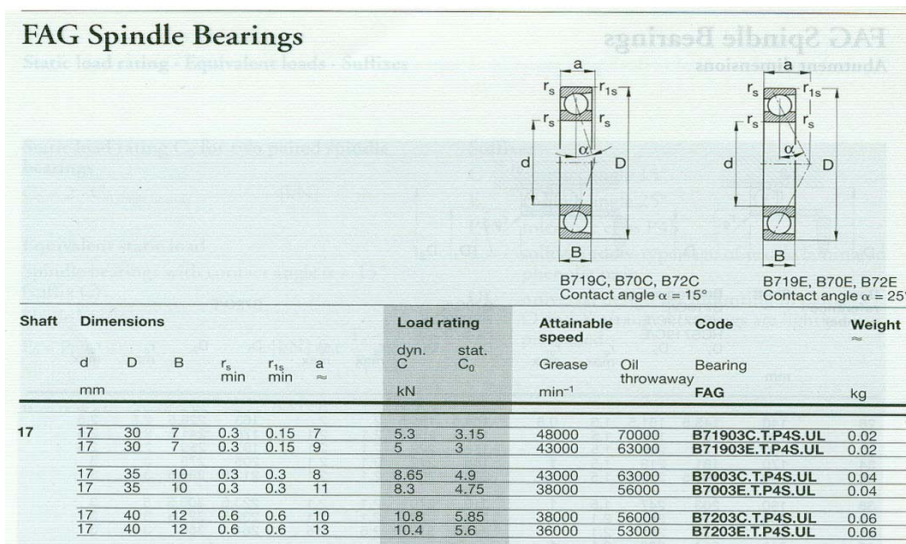
Em relação ao veio de suporte desta roda terá de ser fabricado tendo em conta a geometria de fixação das rodas em causa onde se utilizar-se-ão quatro porcas de 15mm e na outra extremidade o diâmetro de 17 mm onde levará um escatel para permitir a transmissão do momento para o movimento de todo o conjunto.



Figura n.º 6.35 – Braço de suporte

Referente ao braço de suporte onde será possível a colocação de uma suspensão para se absorver as vibrações provocadas pela irregularidade do terreno, temos um corpo que será construído em varias peças, usando-se por exemplo um perfil de secção quadrada de 40x40 mm com 3.2 mm como peça de ligação das outras obtidas por maquinação que serão soldadas entre si.

Este braço suportará quatro rolamentos com diâmetro interior de 17 mm e exterior de 30 mm e espessura de 7 mm como se pode ver na figura seguinte n.º 6.36 que é uma extracção do catalogo da FAG.



**FAG Spindle Bearings**

Static load rating - Equivalent load - Sulzer

Diagram showing cross-sections of bearings with dimensions:  $r_s$ ,  $r_{1s}$ ,  $r_s$ ,  $d$ ,  $D$ ,  $B$ , and contact angle  $\alpha$ .

B719C, B70C, B72C Contact angle  $\alpha = 15^\circ$

B719E, B70E, B72E Contact angle  $\alpha = 25^\circ$

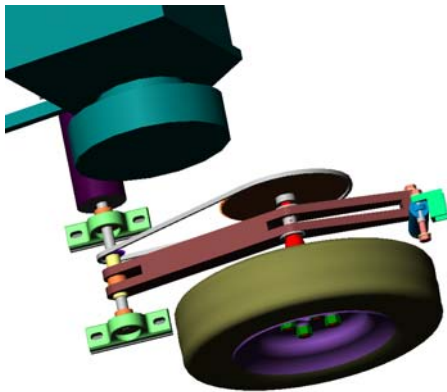
Shaft	Dimensions						Load rating		Attainable speed		Code	Weight
	d	D	B	$r_s$	$r_{1s}$	a	dyn. C	stat. C <sub>0</sub>	Grease	Oil throwaway		
	mm			min	min	mm	kN		min <sup>-1</sup>		Bearing FAG	kg
17	17	30	7	0.3	0.15	7	5.3	3.15	48000	70000	B71903C.T.P4S.UL	0.02
	17	30	7	0.3	0.15	9	5	3	43000	63000	B71903E.T.P4S.UL	0.02
17	17	35	10	0.3	0.3	8	8.65	4.9	43000	63000	B7003C.T.P4S.UL	0.04
	17	35	10	0.3	0.3	11	8.3	4.75	38000	56000	B7003E.T.P4S.UL	0.04
17	17	40	12	0.6	0.6	10	10.8	5.85	38000	56000	B7203C.T.P4S.UL	0.06
	17	40	12	0.6	0.6	13	10.4	5.6	36000	53000	B7203E.T.P4S.UL	0.06

Figura n.º 6.36 – Representação em corte e tabela das características da chumaceira lateral retirado do catalogo da FAG

Os rolamentos referidos vão ser fixados com duas tampas laterais que serão fixadas com três parafusos garantindo-se com os anéis interiores a imobilidade total destes rolamentos .

Na perspectiva explodida da figura n.º 6.33 podemos ver ainda além do pequeno tubo que simulará a suspensão numa fase inicial e os seus componentes de fixação temos ainda representadas duas cremalheiras que serão responsáveis pela transmissão de movimento dos rolos de tracção para a roda que terá contacto com o chão. Como se pretendia que a relação de transmissão fosse de 1:1 ou seja que o espaço percorrido pelo robot seja igual ao espaço percorrido pelo conjunto de toda a estrutura. Em seguida apresenta-se o calculo da relação de transmissão necessária entre as duas cremalheiras.

Como existe contacto directo entre as rodas do robot e os rolos de tracção implica que o espaço percorrido é o mesmo entre estes dois elementos. Deste modo como a roda pneumática tem um diâmetro 400 mm uma volta desta implica percorrer 1256 mm. Para se conseguir percorrer o mesmo espaço nos rolos de tracção levando em conta que estes têm um diâmetro 76 mm ou seja 238.64 mm/rot temos de ter uma relação de transmissão de 1:5.26. Para melhor compreensão deste conjunto apresenta-se na figura n.º 6.37 uma representação de todos os estágios que permitem a transmissão do movimento das rodas do robot para as rodas da estrutura.



Apesar de o valor da relação de transmissão ser algo elevado para uma transmissão directa num estagio entre duas cremalheiras, consegue-se este tipo de relação usando uma roda cremalheira de 125 dentes com um diâmetro de 201,1 mm que será acoplada no veio da roda da estrutura e outra de 24 dentes que tem um diâmetro exterior de 40.5 mm sendo o valor de transmissão de precisamente 1:5.21.

A relação transmissão calculada idealmente se o diâmetro da roda fosse precisamente de 400 mm difere da conseguida com as cremalheiras anteriores mas esta diferença é pouco significativa podendo ser desprezável já que como a roda é pneumática o seu diâmetro vai variar em função do peso e da irregularidade do terreno.

Figura n.º 6.37 - Representação da transmissão do movimento das rodas do

As rodas cremalheiras referidas foram extraídas de um catalogo da Chiaravalli que tem representação nacional na empresa Lanema em São João da Madeira, sendo estes modelos normalizados segundo a norma ISO/R 606 (figura n.º 6.38). Depois da aquisição destas cremalheiras será ainda necessário ajustar o diâmetro para fixação no veio e abrir um escatel para que seja possível a transmissão do movimento.

Z	d <sub>e</sub>	d <sub>p</sub>	S			Z	d <sub>e</sub>	d <sub>p</sub>	S		
			D <sub>1</sub>						D <sub>1</sub>		
8	15,2	13,06	4			44	72,2	70,09	8		
9	16,8	14,62	4			45	73,8	71,68	8		
10	18,3	16,18	4			46	75,4	73,27	8		
11	19,9	17,75	5			47	77,0	74,86	8		
12	21,5	19,32	5			48	78,6	76,45	8		
13	23,0	20,89	5			49	80,2	78,03	8		
14	24,6	22,47	5			50	81,8	79,63	8		
15	26,2	24,04	5			51	83,4	81,22	10		
16	27,8	25,63	6			52	85,0	82,81	10		
17	29,4	27,20	6			53	86,6	84,40	10		
18	30,9	28,79	6			54	88,1	85,97	10		
19	32,5	30,38	6			55	89,7	87,58	10		
20	34,1	31,96	6			56	91,3	89,17	10		
21	35,7	33,54	8			57	92,9	90,76	10		
22	37,3	35,13	8			58	94,5	92,35	10		
23	38,9	36,72	8			59	96,1	93,94	10		
24	40,5	38,30	8			60	97,7	95,53	10		
25	42,0	39,89	8			62	100,9	98,72	12		
26	43,6	41,48	8			64	104,1	101,90	12		
27	45,2	43,07	8			65	105,6	103,49	12		
28	46,8	44,65	8			66	107,2	105,08	12		
29	48,4	46,25	8			68	110,4	108,26	12		
30	50,0	47,83	8			70	113,6	111,44	12		
31	51,6	49,42	8			72	116,8	114,63	12		
32	53,2	51,01	8			75	121,6	119,40	12		
33	54,8	52,60	8			76	123,1	120,99	12		
34	56,3	54,19	8			78	126,3	124,17	12		
35	57,9	55,78	8			80	129,5	127,35	12		
36	59,5	57,37	8			85	137,5	135,31	14		
37	61,1	58,96	8			90	145,4	143,27	14		
38	62,7	60,54	8			95	153,4	151,22	14		
39	64,3	62,13	8			100	161,3	159,18	14		
40	65,9	63,73	8			110	177,2	175,09	14		
41	67,5	65,31	8			114	183,6	181,46	14		
42	69,1	66,91	8			120	193,2	191,01	14		
43	70,6	68,49	8			125	201,1	198,96	14		

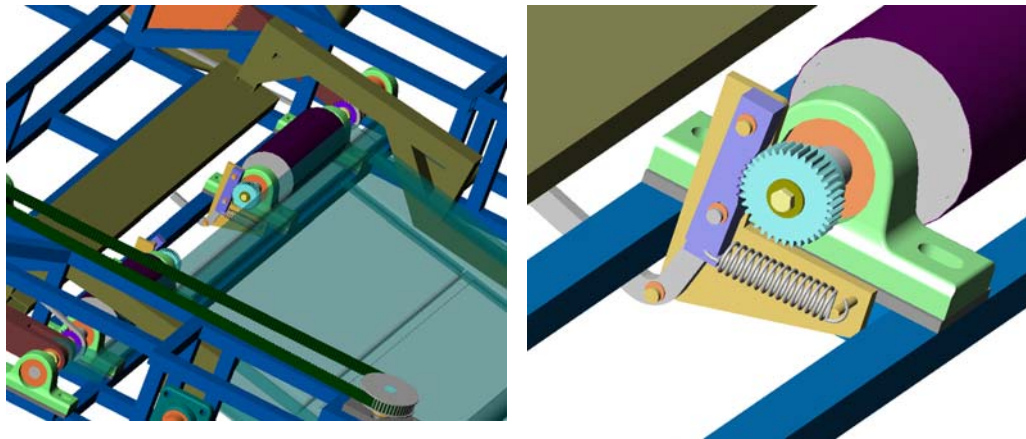
  

Discos 5 x 2,5 mm	
para cadena de rodillos s/ DIN 8187 ISO/R 606	
A partir de z.51 el ancho del disco (excepto diente) h = 4 mm	
DISCO	mm
Radio diente r <sub>3</sub>	5
Ancho zona curva C	0,6
Ancho diente B <sub>1</sub>	2,3
CADENA mm	
Paso	5
Ancho interior	2,5
Diámetro rodillo	3,2

Figura n.º 6.38 - Tabela e especificações de cremalheiras segundo o catalogo da Chiaravalli

## 6.6. Sistema de bloqueio e desbloqueio automático

O sistema de bloqueio e desbloqueio automático no modo de descida e subida respectivamente é um aspecto de extrema importância para garantir a imobilização dos rolos de tracção e consequente bloqueio de toda a estrutura não permitindo que esta se mova quando a rampa de elevação estiver no modo de subida ou descida, desbloqueando-se somente quando a rampa se encontrar toda recolhida. Sem um sistema de bloqueio poder-se-ia pôr em causa a segurança não só do material envolvido na fase de subida ou descida como todo o ambiente em redor, sendo assim necessário que a plataforma fique bloqueada enquanto estiver em curso a subida ou descida do robot.



**Figura n.º 6.39** - Representação esquemática conjunto de bloqueio e desbloqueio automático

Idealizou-se deste modo um bloqueio mecânico usando uma pequena peça que funciona como alavanca, que em contacto com a segunda rampa permite o desbloqueio da roda dentada normalizada de 36 dentes e uma pequena mola que garante sempre o bloqueio (figura n.º 24), evitando deste modo falhas no sistema como a falta de energia eléctrica.

**CHIARAVALLI España SL**

**ENGRANAJES CILINDRICOS DENTADO RECTO – SPUR GEARS**

Piñones y ruedas  
 con cubo a 1 lado  
 Ángulo de presión 20°  
 MATERIAL C 43 - UNI 7847

Z	Modulo 1			
	d <sub>e</sub>	d <sub>p</sub>	d <sub>m</sub>	D <sub>1</sub>
34	36	34	25	10

Ancho diente "B":		Ancho total "A":	
Modulo 1 = 15 mm.	Modulo 1,5 = 17 mm.	Modulo 1 = 25 mm.	Modulo 1,5 = 30 mm.
Modulo 2 = 20 mm.	Modulo 2,5 = 25 mm.	Modulo 2 = 35 mm.	Modulo 2,5 = 40 mm.
Modulo 3 = 30 mm.	Modulo 4 = 40 mm.	Modulo 3 = 50 mm.	Modulo 4 = 60 mm.
Modulo 5 = 50 mm.	Modulo 6 = 60 mm.	Modulo 5 = 75 mm.	Modulo 6 = 80 mm.

**Figura n.º 6.40** - Rodas dentadas de dentado recto extraído do catalogo da Chiaravalli.

Neste conjunto temos ainda mais três peças, a de suporte de todo o conjunto, a que permite o acoplamento com a roda dentada e uma pequena alavanca para o accionamento do bloqueio e desbloqueio que estão ligadas entre si com anéis elásticos.

De referir que a peça que faz o contacto com a roda tem uma abertura para permitir o deslizamento do eixo da alavanca quando estas se desloca entre as suas posições extremas já que ambas as peças têm pontos de rotação diferentes. Mas para que se garanta o bloqueio de todo o sistema, quando a rampa forma o plano inclinado usa-se uma mola como representado na figura n.º 6.39.



**Figura n.º 6.40** – Peça que fará o bloqueio com a roda dentada





## 6.7. Motor para o sistema de elevação da rampa

Para a escolha do motor que irá fazer o accionamento dos dois fusos levou-se em conta os valores obtidos na análise da secção anterior do momento torçor máximo necessário impor a cada fuso para elevação do conjunto plataforma/robot. Para cada um dos fusos era necessário aproximadamente 6.6 N.m. Mas, como temos dois fusos e somente um motor para o accionamento, isso implica que será necessário ter-se um binário de 13.2 N.m.

Como verificamos é um valor bastante elevado para um motor de corrente continua mesmo utilizando um redutor adicional. Convém antes da escolha do motor referir que a transmissão entre este e os fusos será realizado com correias dentadas ( poder-se-a ver uma representação destas correias na figura n.º 6.41 assim como alguns tamanhos standard que se poderão encontrar) onde temos uma relação de 1:1 que fará com que o binário necessário no motor para este processo de elevação seja aproximadamente o mesmo devido a este tipo de transmissão ter um rendimento muito elevado.



**Figura n.º 6.41** – Representação de correias para transmissão de potencia para os fusos de elevação

Inicialmente pensou-se que toda a estrutura deveria ser passiva e até a energia que esta necessitasse ser proveniente do robot, mas, verificou-se que o acoplamento entre o robot e a estrutura seria muito difícil de realizar devido à incerteza de posicionamento. Por esta razão decidiu-se prover a plataforma com umas baterias para fornecimento de energia ao motor de elevação da rampa, mas, continuava-se a ter problemas na escolha do motor/redutor porque o binário em causa era bastante elevado.

Surgiu por fim a ideia de se utilizar uma UPS como fonte de energia podendo deste modo utilizar-se um motor de corrente alterna com maior potencia. O motor escolhido foi deste modo um motor monofásico de 180 W com redutor. A relação de transmissão poderá ser neste caso de 1:32.75, porque segundo o catalogo da Bonfoglioli com este motor a rodar a 1400 rpm consegue-se obter 3.9 daN.m a uma rotação de 43 rpm à saída do redutor. Com estes valor prevê-se que todo o processo de elevação demore aproximadamente 45 segundos, porque será necessário dar 30 voltas ao fuso para que ele se desloque entre as duas posições extremas.



**Figura n.º 6.42-** Representação do Motor/ Redutor e da UPS

Com uma UPS de 500 VA que tem uma autonomia de aproximadamente 11.4 minutos a metade da sua carga permitindo fazer uma media de 15 ciclos de subida ou descida com uma só carga.

<b>SAIDA:</b> Potência de saída 500 VA Potência de saída 300 Watts Tensão nominal de saída 230 V Forma de onda Onda pseudo-sinusoidal Ligações de saída: (3)IEC 320 C13, (1)IEC 320 C13 (Surge), (2)IEC Jumpers.	<b>BATERIAS:</b> Autonomia típica com 50% da carga 11.4 minutos Tipo de bateria: Bateria de chumbo-ácido, selada sem manutenção com electrólito suspenso : à prova de fugas Tempo normal de recarga 6 Hora(s) Conjunto para substituição da bateria (1) RBC2
<b>ENTRADAS:</b> Tensão nominal de entrada 230 V Frequência de entrada 50/60 Hz +/- 5 Hz (Ajuste manual ) Tipo de ligação de entrada IEC-320-C14 inlet Margem de entrada em funcionamento normal 196 - 280 V	<b>COMUNICAÇÃO E GESTÃO:</b> Porta de comunicação USB Painel de control LED de equipamento ligado Alarme audível Alarme de bateria em uso : alarme bateria baixa
<b>DIMENSÕES FÍSICAS:</b> Altura máxima ( 9.14 cm) Largura máxima ( 16.51 cm) Profundidade máxima ( 28.45 cm) Peso líquido ( 6.32 kg) Peso bruto ( 7.05 kg)	<b>Certificações:</b> C-tick, CE, EN50091-1, EN50091-2, GOST, PCBC, VDE

**Figura n.º. 6.43** – Desenho e tabela das características principais da APC - UPS BK 500 EI



## 6.8. Unidade de controlo e sistema eléctrico

O controlo de todo o sistema de elevação será realizado nas posições extremas do fuso com dois sensores indutivos. O sistema terá assim a possibilidade de actuação manual ou automática. No caso da actuação manual teremos a possibilidade de fazer subir ou descer a rampa sempre que o desejarmos. Para actuação automática será necessário mais dois sensores fotoeléctricos, um para detecção do robot em posição para iniciar o processo de elevação e outro para fazer a detecção de um sinal proveniente de um solenóide que se montará no robot, que significará a vontade de o robot descer da plataforma.

O sensor fotoeléctrico para fazer a detecção do sinal proveniente de um solenóide, tem as mesmas características do outro sensor mas sem temporizador. Em relação ao solenóide que será accionado por o robot terá um curso máximo 25 mm, como se pode ver na figura nº. 6.44. Este será fixado na parte traseira do robot da sua base de suporte a uma altura tal que permita cortar o feixe de luz do sensor fotoeléctrico que estará colocado na estrutura base de suporte da plataforma (figura nº. 6.45).



**Solenoides**  
Estándar y de Grandes Dimensiones **NUEVO**

Código RS	Tensión	Trabajo en %	Potencia de cierre	Recorrido (mm)							
				2	4	6	10	15	20	25	
250-1296	6V d.c.	100	10W	850	600	400	200	120	-	-	-
	12V d.c.	25	40W	2.200	1.750	1.250	700	360	230	200	-
349-709	12V d.c.	100	10W	850	600	400	200	120	-	-	-
	o 24V d.c.	25	40W	2.200	1.750	1.250	700	360	230	200	-
349-715	24V d.c.	100	10W	850	600	400	200	120	-	-	-
	o 48V d.c.	25	40W	2.200	1.750	1.250	700	360	230	200	-
349-478	230V a.c.	100	15VA	1.000	550	450	310	280	200	70	-

Figura nº. 6.44 – solenóide para actuação do motor para descida da rampa

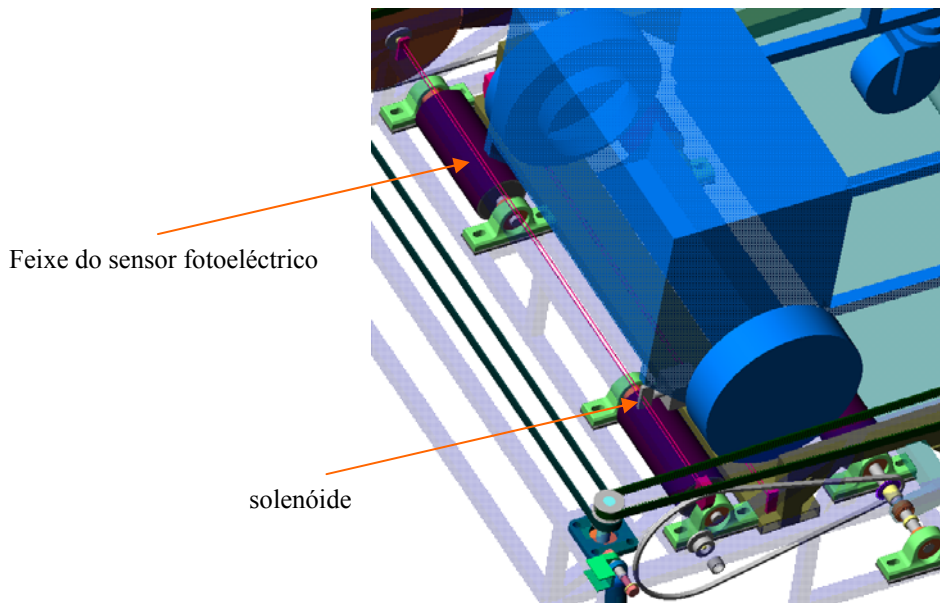
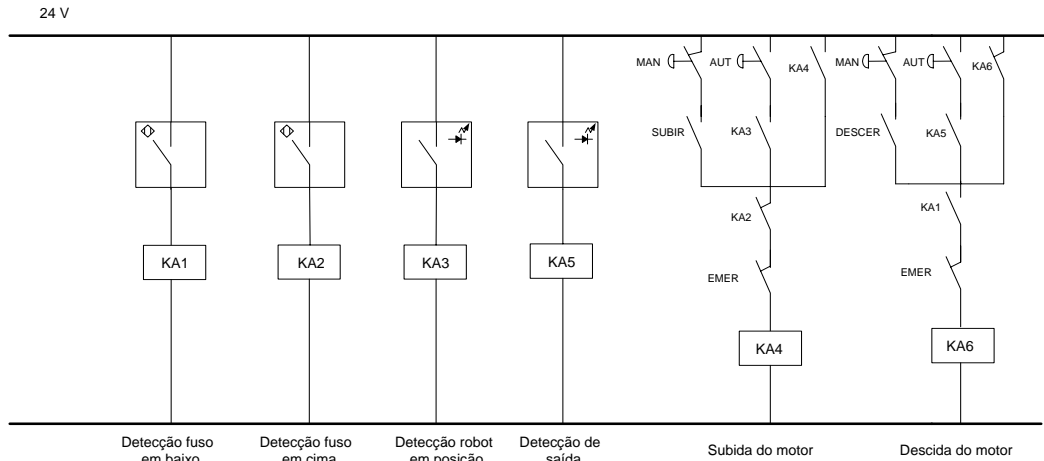


Figura nº. 6.45 – Representação esquemática da forma de colocação do solenóide no robot e o sensor fotoeléctrico na plataforma

Em seguida apresenta-se o esquema eléctrico que fará com que todo o processo de detecção do robot, accionamento do motor para subida ou descida do fuso e paragem deste quando atinge a parte superior ou inferior seja realizada de uma forma completamente automática. Neste esquema leva-se ainda em consideração o uso do botão de emergência que cortará a corrente de todo o circuito.

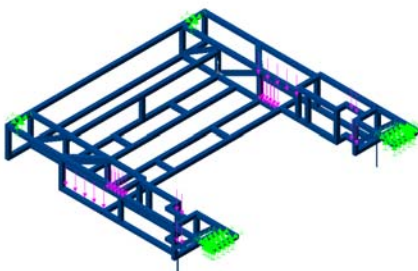


**Figura nº. 6.46** – Esquema eléctrico para actuação da subida e descida da rampa de elevação

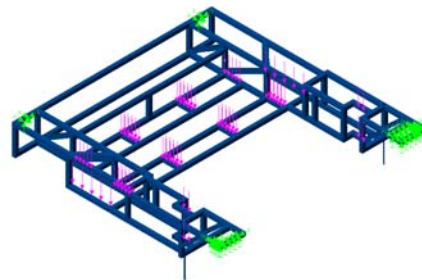
### 6.9. Estrutura base de suporte reanalizada

Por fim falta fazer a análise da estrutura base de suporte que foi toda reconstruída levando em conta todas as dimensões e locais de fixação dos componentes anteriormente escolhidos. A estrutura será em construção soldada com perfil quadrado de 20×20 mm e 2.5 mm de espessura.

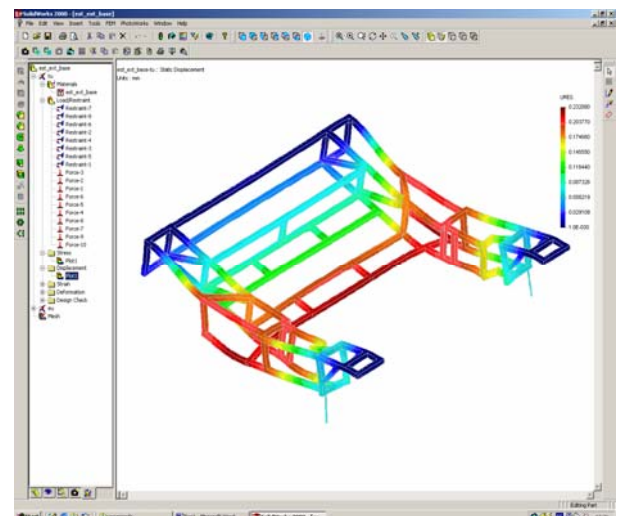
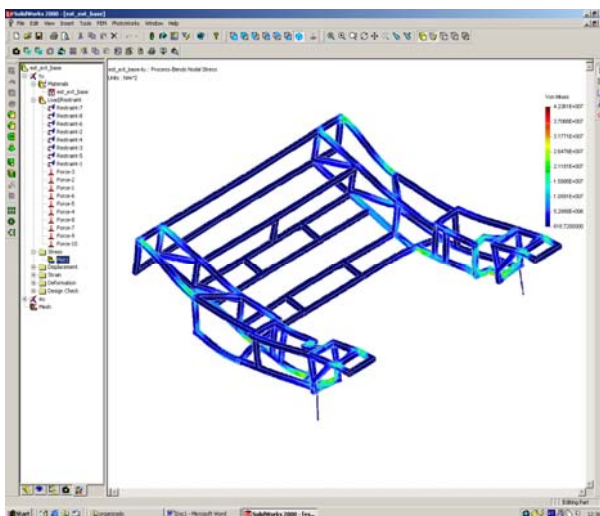
Na análise estática estrutural foram considerados duas situações, uma tentando simular a fase de subida do robot para a plataforma (figura nº. 6.47) e outra tentando simular a fase quando o robot já esta pronto a avançar (figura nº. 6.48).



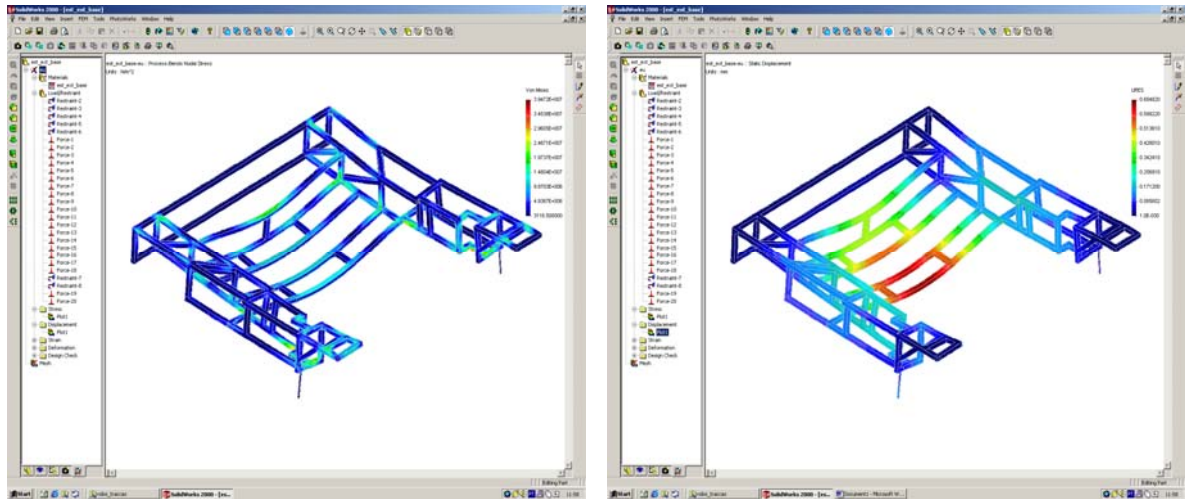
**Figura nº. 6.47** – Forças aplicadas na estrutura na fase de subida do robot para a plataforma



**Figura nº. 6.48** – Forças aplicadas na estrutura na fase de subida do robot para a plataforma



**Figura nº. 6.49** – Análise estrutural de tensões segundo o Critério de Von Mises e de deformações na fase de elevação



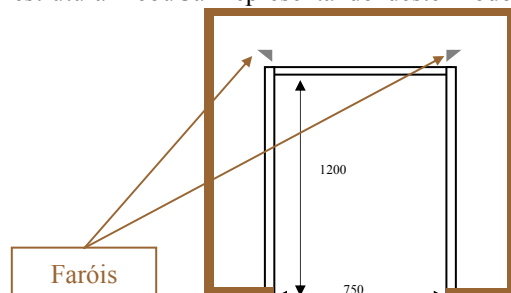
**Figura nº. 6.50** – Análise estrutural de tensões segundo o Critério de Von Mises e de deformações na fase em que o robot já está em cima dos rolos pronto para andar

Desta análise podemos concluir que não teremos problemas de resistência da estrutura já que as tensões máximas e deslocamentos máximos obtidos são respectivamente de 42.4 Mpa e 0.69 mm para solicitações impostas na estrutura com coeficiente de segurança de 2.

## 7. Programação do robot para testes

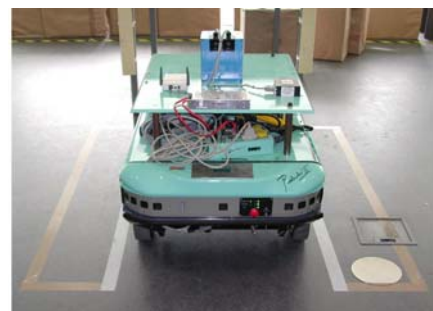
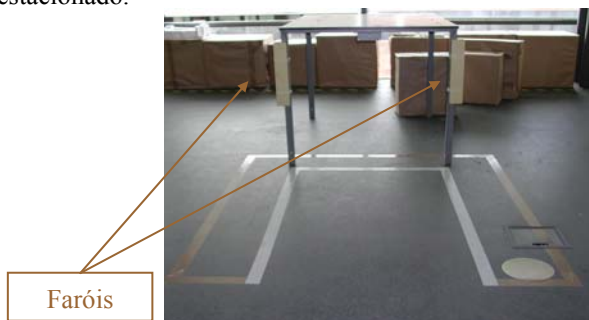
Para que seja possível o acoplamento automático do robot à estrutura RobuCar é necessário fazer a programação do robot para que ele se aproxime e suba para a plataforma. Mas como não temos a plataforma construída surgiu a ideia de simular a fase de aproximação e de subida usando somente fitas coladas no chão representando um estacionamento com as dimensões da estrutura RobuCar representando deste modo os locais onde é proibido que o robot se mova, sendo este trabalho realizado no âmbito da disciplina de Robótica Autónoma e Móvel.

A ideia seria prover a plataforma de duas guias que poderão suportar duas bandeiras por simples questões estéticas de aproximadamente 1.5 m da altura que terão o nome de faróis, para que seja possível a identificação da plataforma por parte do robot. No caso da experiência que se realizou para se simular os dois faróis utilizaram-se as pernas de uma mesa sendo estes detectados através de um laser, um varrimento horizontal de 180° e uma resolução de 4°.



**Figura nº. 6.51** – Representação esquemática do estacionamento simulado com fitas coladas no chão

Para melhor compreensão de todos os passos seguidos, apresenta-se de seguida na figura nº. 6.52 o espaço de trabalho onde todo este foi realizado. Podemos ver na imagem do lado esquerdo da figura seguinte o local de estacionamento e os faróis para a localização do robot e do lado direito a representação do robot já estacionado.



**Figura nº. 6.52-** Fotografias de representação do espaço de trabalho para simulação do estacionamento do Robuter



A detecção dos faróis é feita através das distancias que o laser nos fornece, de todos os objectos “à sua volta”, i.e, na realidade ele só nos dá um perfil de distancias com uma amplitude de 180°. Este perfil de distancias já é dado num *array* de dados que tem de ter 45 elementos, que representa o perfil de distancias mas com uma resolução de 4°. Este valor de 4° aqui usado não é uma limitação porque o robot tem a capacidade de nos fornecer um perfil de distancias com 1° de resolução sendo assim capaz de detectar elementos mais estreitos que os usados neste caso como por exemplo as bandeiras.

O processo de estacionamento foi dividido em duas partes, na primeira faz-se uma aproximação ao estacionamento para colocar o robot alinhado e na segunda procede-se ao estacionamento propriamente dito.

Na primeira fase de aproximação o robot procura os dois faróis identificando assim a localização do estacionamento. O processo de identificação começa por filtrar os dados e eliminar distancias superiores a 550cm calculando posteriormente os gradientes entre duas leituras sucessivas. Assim dependente do valor dos gradientes obtidos e suas orientações procede-se à identificação dos faróis.

Após a identificação dos faróis direcciona-se para o ponto destino com o objectivo de se alinhar com as fitas na chão (figura n.º 6.53). Quando concluído este processo, volta-se a fazer tudo o que anteriormente foi descrito, desde a detecção dos faróis até ao teste de saída, para garantir que o robot já se encontra na posição desejada, repetindo-se este ciclo até que isto aconteça.

Existe uma probabilidade grande de ele executar este ciclo pelo menos duas vezes, devido a alguns erros de leitura, assim como a alguns erros devido à utilização da função “motp”. A probabilidade de ocorrências destes ciclos aumenta com o aumento da distancia do robot ao faróis.

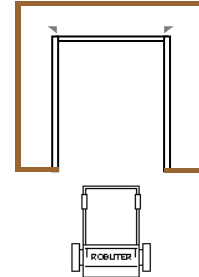
Com a primeira etapa realizada estamos em condições para proceder ao estacionamento propriamente dito. Desde já se afirma que só é possível ser realizada com sucesso esta segunda etapa se as condições da etapa anterior se verificarem.

Tal como na etapa 1, também nesta se faz a detecção dos faróis segundo o mesmo princípio. Começa-se por filtrar os dados e eliminar distancias superiores a 310 cm, em vez de 550cm como era o caso anterior. Para a detecção destes, o gradiente entre duas leituras sucessivas também é menor, sendo de 55 cm e a condição para que possa ser farol é que a menor leitura avaliada seja menor que 240 cm. Faz-se também o teste usando o “método dos triângulos” para se certificar quais os faróis correctos.

O trabalho desenvolvido neste campo da programação demonstra que apesar de o robot nesta experiência se deslocar para a frente e não para trás que é o que terá de fazer para subir para a plataforma e executar o movimento num plano inclinado em vez de um plano horizontal, será possível realizar o acoplamento de uma forma completamente automática sem risco de colidir com a plataforma.

## 8. Conclusões

De acordo com os objectivos iniciais do trabalho, foi idealizada uma plataforma onde se levam em consideração todas as especificações impostas, para que a plataforma se interligue e suporte o robot móvel permitindo a navegação em ambientes exteriores, ultrapassando deste modo a sua limitação actual de navegação em ambientes laboratoriais. A realização de um programa que simula o modo de aproximação e subida do robot à plataforma demonstra assim a funcionalidade do sistema. o aspecto mais significativo que ficou por realizar, foi deste modo, a construção de todo este conjunto.



**Figura n.º 6.53** – representação da posição do robot em relação à plataforma na fase inicial de aproximação



## 9. Bibliografia e Referência

- [1] Apontamentos teóricos da disciplina de Órgãos de Maquinas e Anteprojecto
- [2] Apontamentos teóricos da disciplina de Robótica Autónoma e Móvel
- [3] Catalogo de motores da Bonfiglioli Riduttori 32/93
- [4] Catalogo de rodas da Mecanarte
- [5] Catalogo de Ruedas y Horquilhas da Blickle
- [6] Catalogo da RS
- [7] Catalogo da FAG Rolling Bearings
- [8] Catalogo da JBF – Estabelecimentos J. B. Fernandes, SA, apontamentos Técnicos e práticos
- [9] Catalogo de cremalheiras a engrenagens da Chiaravalli
- [10] Catalogo de correias dentadas da Mectrol
- [11] Relatório de Robótica Autónoma e Móvel 2000/2001 – Estacionamento do Robuter