MAPEAMENTO DE AMBIENTES COM O ROBO BELLATOR

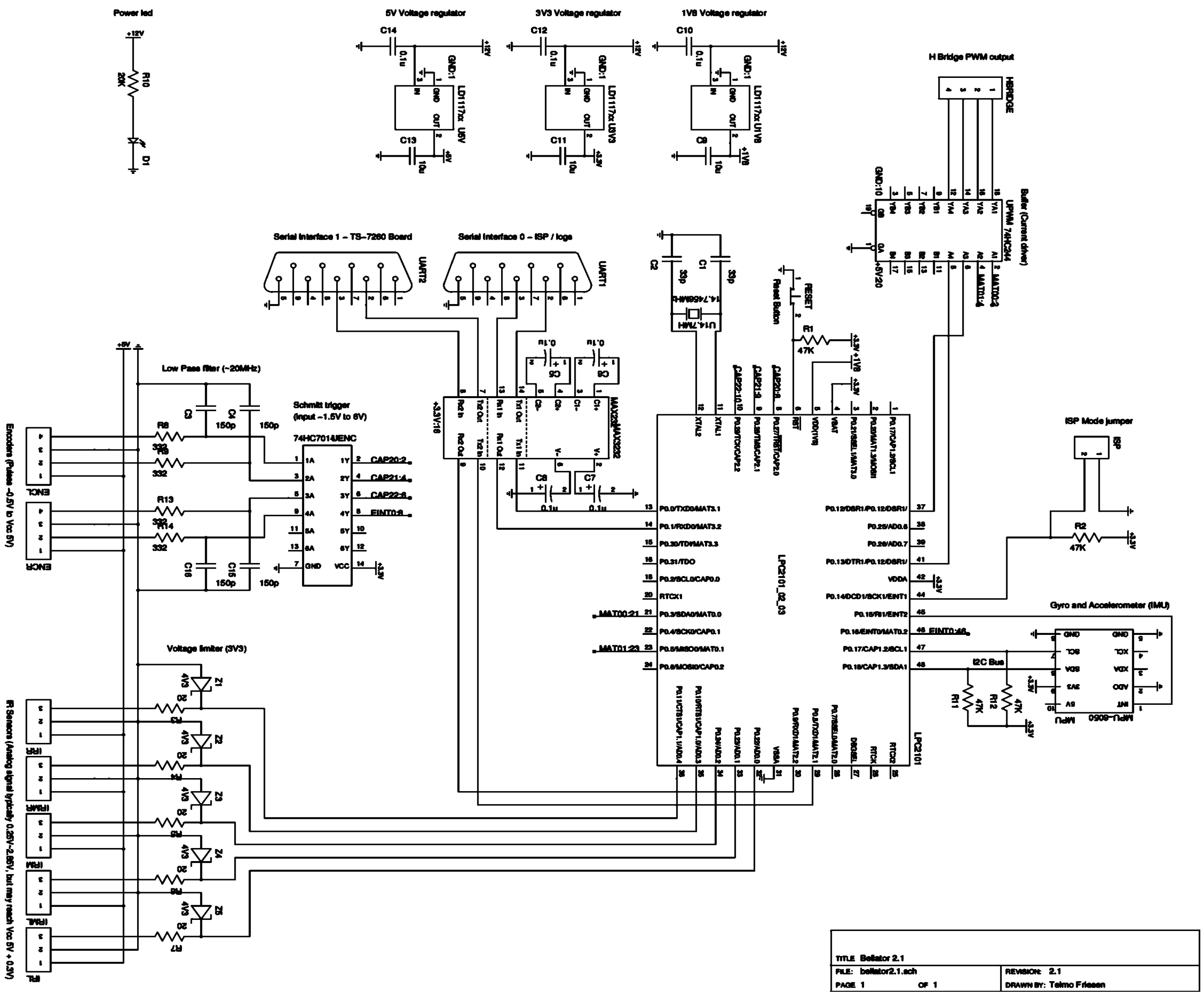
Quarto entregável

LUIS GUILHERME MACHADO CAMARGO
PEDRO ALBERTO DE BORBA
RICARDO FARAH
STEFAN CAMPANA FUCHS
TELMO FRIESEN

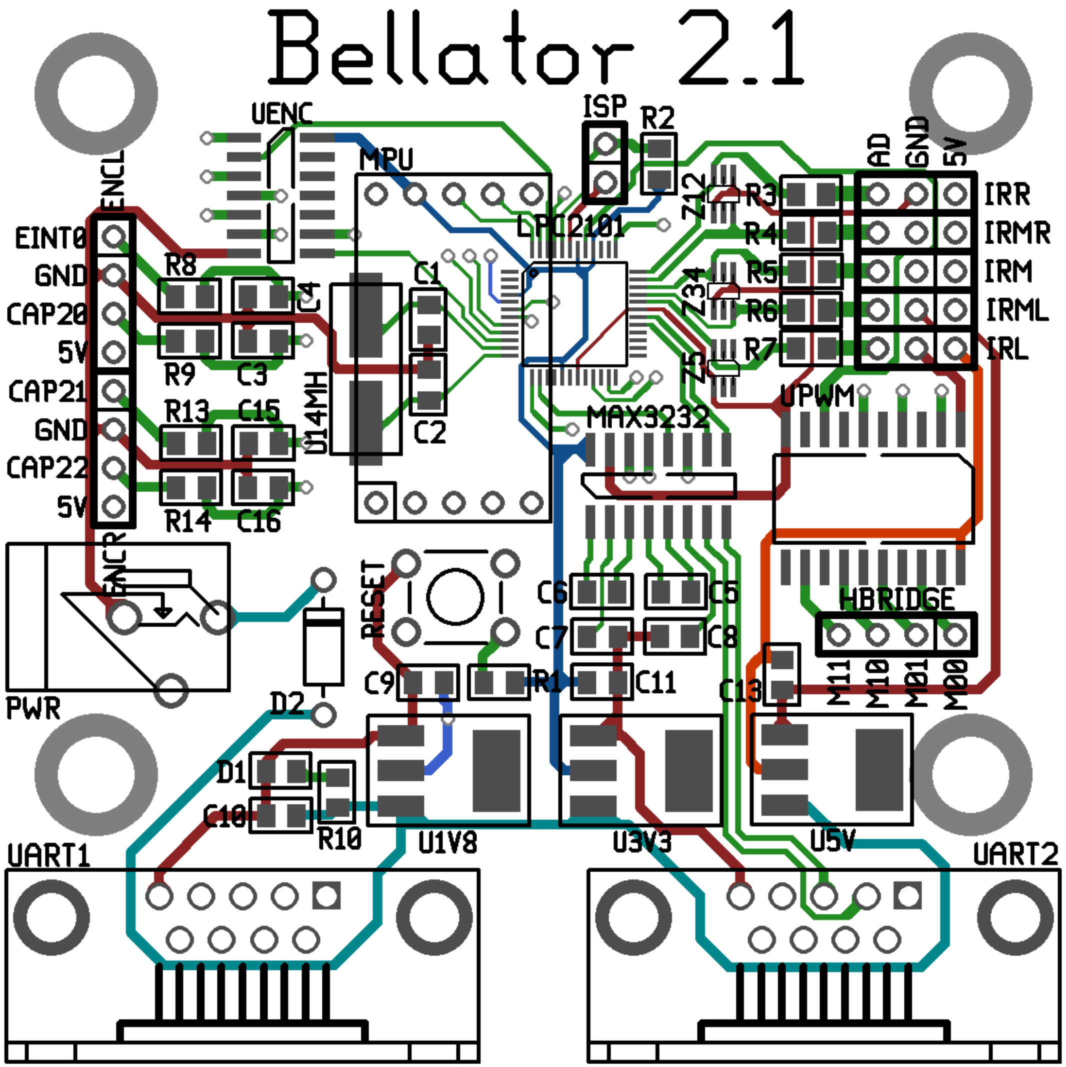
Itens

- Projeto da PCB (Printed Circuit Board) (hardware).
- Lista de componentes para confecção da PCB completa (hardware).
- Diagramas de estados (sistema de comunicação).
- Descrição das mensagens e codificações dos comandos (sistema de comunicação).
- Descrição do uso do Software (Manual do Usuário)
- Mapa de conexão da PCB com a alimentação e outros elementos (hardware).
- Guia de montagem (hardware).

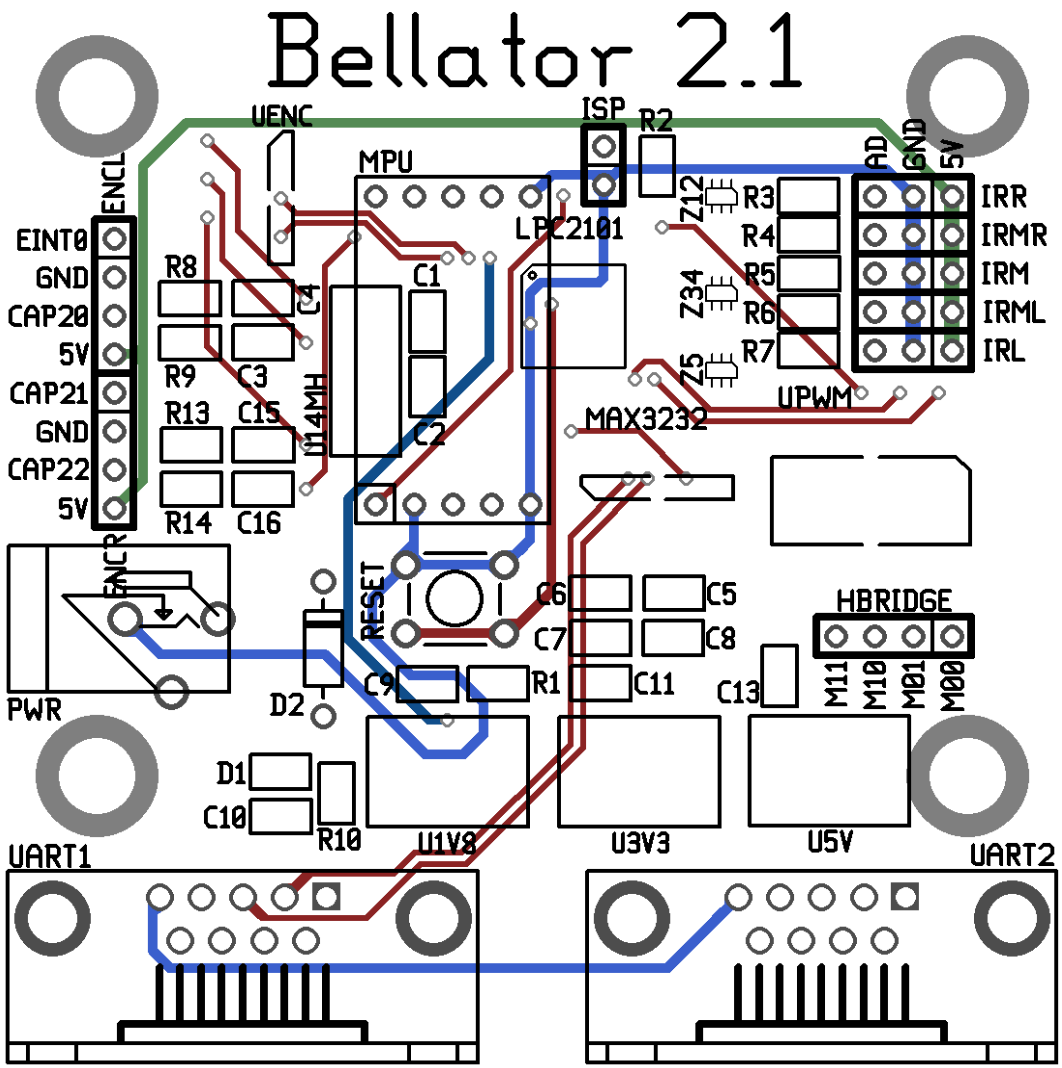
Diagrama elétrico/eletrônico da PCB



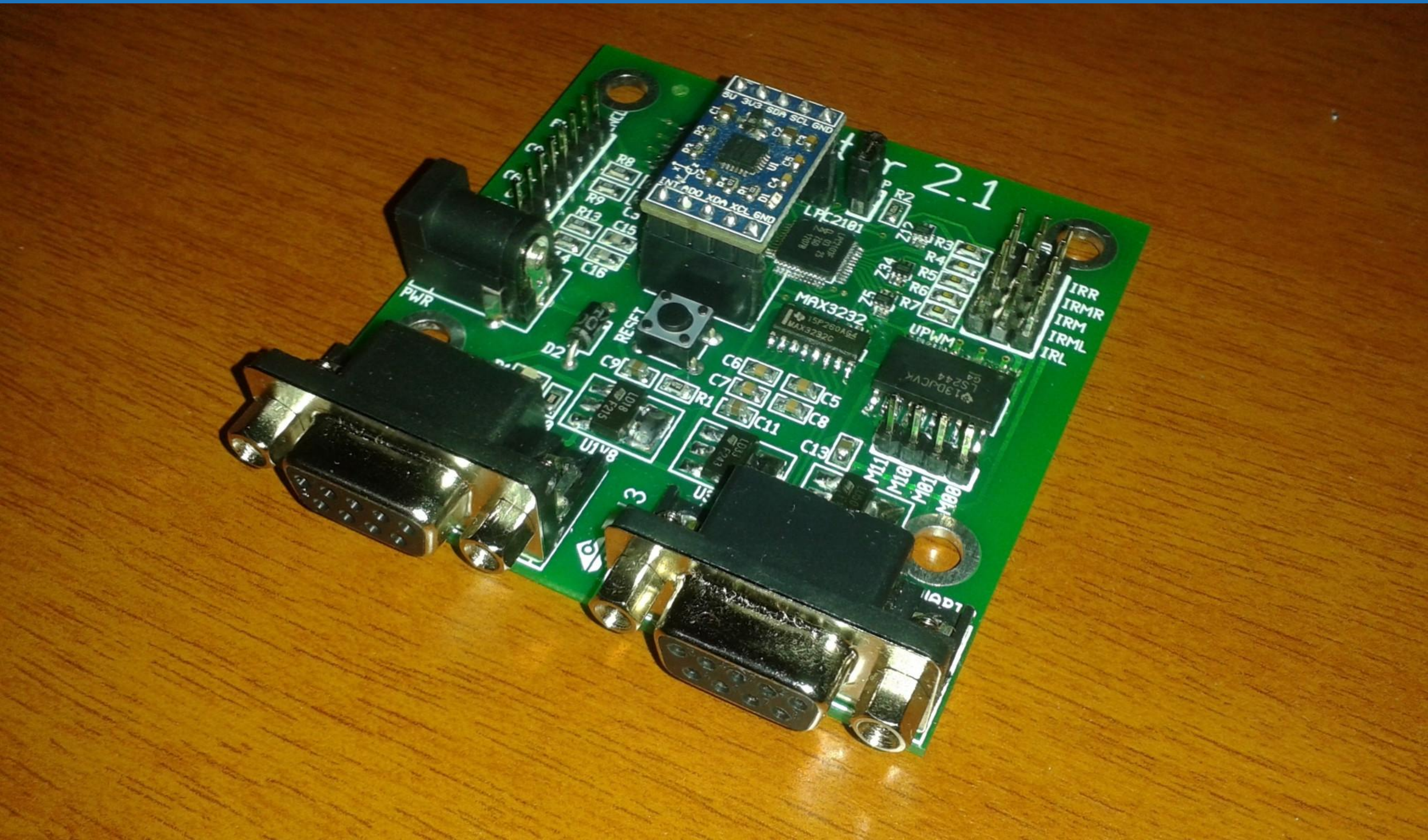
Projeto da PCB - Cima



Projeto da PCB - Baixo



Placa de Circuito Impresso

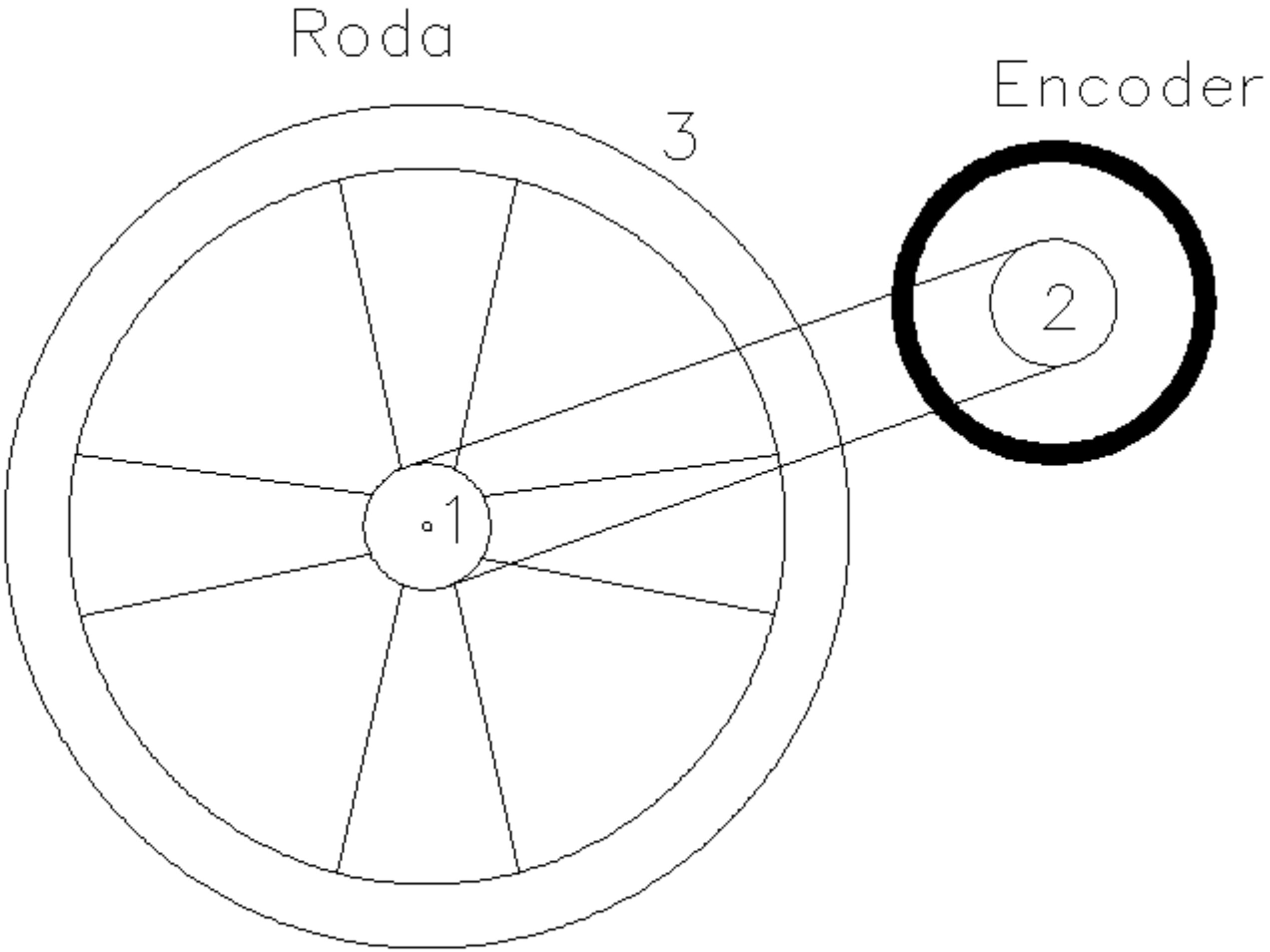


Determinação da posição do robô

Tópicos:

- Pulsos dos encoders -> Deslocamentos das rodas
- Deslocamento do centro do robô
- Acelerômetro e giroscópio
- Determinação de posição (encoders + acelerômetro e giroscópio)
- Sensores Infra-vermelhos

Cálculos teóricos: Encoders



Cálculos teóricos: Encoders

Razão entre deslocamento e variação de ângulo em uma circunferência:

$$\Delta x = R \cdot \Delta\theta$$

Cálculos teóricos: Encoders

Razão entre variações do ângulo do eixo da roda e ângulo do eixo do encoder:

$$\Delta x_1 = \Delta x_2 \rightarrow \Delta\theta_1 R_1 = \Delta\theta_2 R_2 \rightarrow \Delta\theta_1 \frac{C_1}{2\pi} = \Delta\theta_2 \frac{C_2}{2\pi}$$

$$\Delta\theta_1 = \frac{C_2}{C_1} \cdot \Delta\theta_2$$

Cálculos teóricos: Encoders

Razão entre a contagem 'E' de pulsos e variação do ângulo do eixo do encoder:

$$\Delta\theta_2 = \frac{2\pi}{1800} \cdot E \ \ [\mathrm{rad}]$$

Cálculos teóricos: Encoders

Razão entre variação do ângulo do eixo da roda e deslocamento na superfície da roda:

$$\Delta\theta_1 = \Delta\theta_3 \rightarrow \Delta\theta_1 = \frac{\Delta x_3}{R_3} \rightarrow \Delta\theta_1 = \Delta x_3 \frac{2\pi}{C_3} \rightarrow \Delta x_3 = \Delta\theta_1 \frac{C_3}{2\pi}$$

Substituindo o valor de $\Delta\theta_1$ anteriormente obtido:

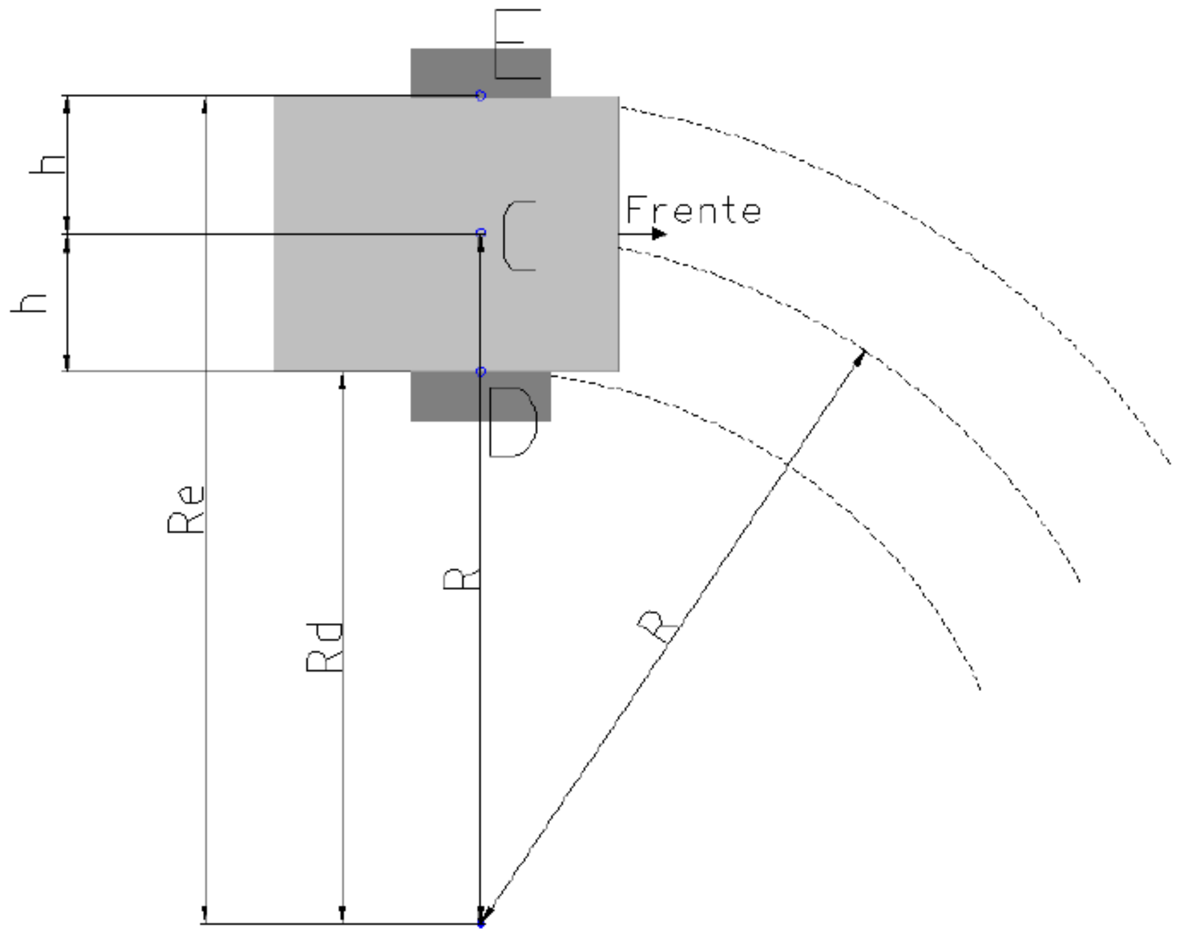
$$\Delta x_3 = \frac{C_2}{C_1}\frac{2\pi}{1800} \cdot E \cdot \frac{C_3}{2\pi} \longrightarrow \boxed{\Delta x_3 = \frac{C_2 C_3}{1800 \cdot C_1} \cdot E}$$

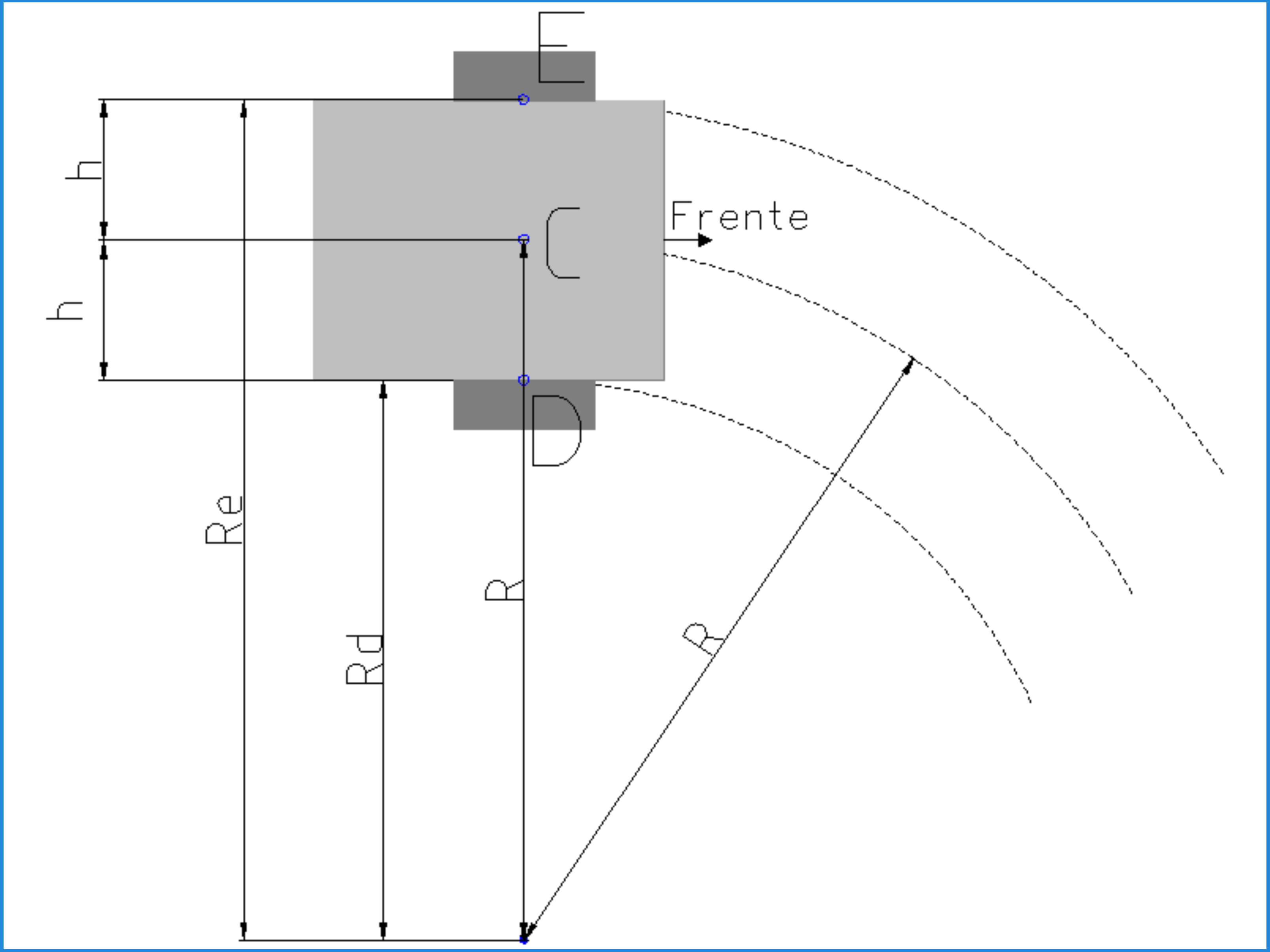
Cálculos teóricos: Encoders

$$\boxed{\Delta x_3 = \frac{C_2 C_3}{1800 \cdot C_1} \cdot E}$$

Δx_3: Deslocamento da roda
C1: Circunferência do eixo da roda
C2: Circunferência do eixo do encoder
C3: Circunferência da roda
E: contagem de pulsos no encoder

Cálculos teóricos: Deslocamento do robô





E
h
h
C
Frente
D
Re
Rd
R
R

Cálculos teóricos
Deslocamento do robô

Visto que E, C e D estão fixos com relação à carcaça do robô, tem-se a seguinte relação fundamental:

$$\Delta\theta_E = \Delta\theta_D = \Delta\theta_C$$

$\Delta\theta_E$: deslocamento angular no ponto E

$\Delta\theta_D$: deslocamento angular no ponto D

$\Delta\theta_C$: deslocamento angular no ponto C

Cálculos teóricos
Raio do movimento circular

A partir dos 2 primeiros termos da igualdade:

$$\Delta\theta_E = \Delta\theta_D \rightarrow \frac{\Delta x_E}{R_E} = \frac{\Delta x_D}{R_D}$$

Sabe-se pela figura que:

$$R_E = R + h, \;\; R_D = R - h$$

Portanto:

$$\frac{\Delta x_E}{R + h} = \frac{\Delta x_D}{R - h}$$

Cálculos teóricos
Raio do movimento circular

Desenvolvendo...

$$\frac{\Delta x_E}{R+h} = \frac{\Delta x_D}{R-h} \rightarrow \frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} = \frac{R+h}{R-h} \rightarrow \frac{\Delta x_E (R-h)}{\Delta x_D} = R+h$$

$$\frac{\Delta x_E \cdot R - \Delta x_E \cdot h}{\Delta x_D} = R+h \rightarrow \frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} \cdot R - \frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} \cdot h = R+h \rightarrow \frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} \cdot R - R = \frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} \cdot h + h$$

$$R\left(\frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} - 1\right) = h\left(\frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} + 1\right) \rightarrow R = h \cdot \frac{\left(\frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} + 1\right)}{\left(\frac{\Delta x_E}{\Delta x_D} - 1\right)} \rightarrow R = h \cdot \frac{\frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{x_D}}{\frac{\Delta x_E - \Delta x_D}{\Delta x_D}}$$

Cálculos teóricos
Raio do movimento circular

$$\boxed{R = h \cdot \frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{\Delta x_E - \Delta x_D}}$$

R: raio do movimento circular

h: distância entre cada roda e o centro do robô

Δx_E: deslocamento da roda esquerda

Δx_D: deslocamento da roda direita

Cálculos teóricos
Deslocamento linear

A partir dos segundo e terceiro termos da igualdade:

$$\Delta\theta_D = \Delta\theta_C \rightarrow \frac{\Delta x_D}{R_D} = \frac{\Delta x_C}{R}$$

Da figura sabe-se que:

$$R_D = R - h$$

Portanto:

$$\frac{\Delta x_D}{R - h} = \frac{\Delta x_C}{R}$$

Cálculos teóricos
Deslocamento linear

Desenvolvendo...

$$\frac{\Delta x_D}{R-h} = \frac{\Delta x_C}{R} \rightarrow x_D = x_C \cdot \frac{R-h}{R}$$

$$\Delta x_D = \Delta x_C \left[\frac{h \cdot \frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{\Delta x_E - \Delta x_D} - h}{h \cdot \frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{\Delta x_E - \Delta x_D}} \right]$$

$$\Delta x_D = \Delta x_C \left[\frac{\frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{\Delta x_E - \Delta x_D} - 1}{\frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{\Delta x_E - \Delta x_D}} \right]$$

Cálculos teóricos Deslocamento linear

Desenvolvendo...

$$\Delta x_D = \Delta x_C \left[1 - \frac{\Delta x_E - \Delta x_D}{\Delta x_E + \Delta x_D} \right] \rightarrow \Delta x_D = \Delta x_C \left[\frac{(\Delta x_E + \Delta x_D) - (\Delta x_E - \Delta x_D)}{\Delta x_E + \Delta x_D} \right]$$

$$\Delta x_D = \Delta x_C \cdot \left[\frac{2\Delta x_D}{\Delta x_E + \Delta x_D} \right] \rightarrow \Delta x_C = \frac{\Delta x_D}{\left(\frac{2\Delta x_D}{\Delta x_E + \Delta x_D} \right)}$$

Cálculos teóricos Deslocamento linear

$$\boxed{\Delta x_C = \frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{2}}$$

Δx_C: deslocamento do centro de movimento do robô

Δx_E: deslocamento da roda esquerda

Δx_D: deslocamento da roda direita

Cálculos teóricos
Deslocamento angular

Da relação entre o deslocamento e variação do ângulo em uma circunferência, tem-se que:

$$\boxed{\Delta\theta_c = \frac{\Delta x_C}{R}}$$

$\Delta\theta_C$: deslocamento angular do centro do robô

Δx_C: deslocamento linear do centro do robô

R: raio do movimento circular

Cálculos teóricos
Movimento retilíneo

Quando o robô efetua um movimento retilíneo:

$$\Delta x_E = \Delta x_D$$

$$R = h \cdot \frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{\Delta x_E - \Delta x_D} = h \cdot \frac{2 \cdot \Delta x_E}{0} \rightarrow \infty$$

$$\Delta \theta_c = \frac{\Delta x_C}{R} = \frac{\Delta x_C}{\infty} \rightarrow 0$$

$$\Delta x_C = \frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{2} = \frac{2\Delta x_E}{2} = \Delta x_E$$

Cálculos teóricos
Movimento em torno do próprio centro

Quando o robô se movimenta em torno de seu próprio centro:

$$\Delta x_E = -\Delta x_D$$

$$R = h \cdot \frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{\Delta x_E - \Delta x_D} = h \cdot \frac{\Delta x_E - \Delta x_E}{\Delta x_E + \Delta x_E} = 0$$

$$\Delta x_C = \frac{\Delta x_E + \Delta x_D}{2} = \frac{\Delta x_E - \Delta x_E}{2} = 0$$

Cálculos teóricos
Movimento em torno do próprio centro

O deslocamento angular:

$$\Delta\theta_c = \frac{\Delta x_C}{R} = \frac{0}{0}$$

É indeterminado usando-se a equação geral.

Cálculos teóricos
Movimento em torno do próprio centro

Porém, analisando o movimento circular realizado, vê-se que o R = h e que o deslocamento ao longo da circunferência é o deslocamento de qualquer uma das rodas. Portanto:

$$\Delta\theta_c = \frac{\Delta x_E}{h}$$

Cálculos teóricos
Velocidade e aceleração lineares

Para determinar velocidade e aceleração lineares, deriva-se numericamente o deslocamento linear:

$$v_{c(n)} = \frac{\Delta x_{c(n)}}{t_{(n)} - t_{(n-1)}}$$

$$a_{c(n)} = \frac{v_{c(n)} - v_{c(n-1)}}{t_{(n)} - t_{(n-1)}}$$

Cálculos teóricos
Velocidade e aceleração angulares

Para determinar velocidade e aceleração angulares, deriva-se numericamente o deslocamento angular:

$$\omega_{c(n)} = \frac{\Delta\theta_{c(n)}}{t_{(n)} - t_{(n-1)}}$$

$$\alpha_{c(n)} = \frac{\omega_{c(n)} - \omega_{c(n-1)}}{t_{(n)} - t_{(n-1)}}$$

Acelerômetro

Aceleração em cada eixo:

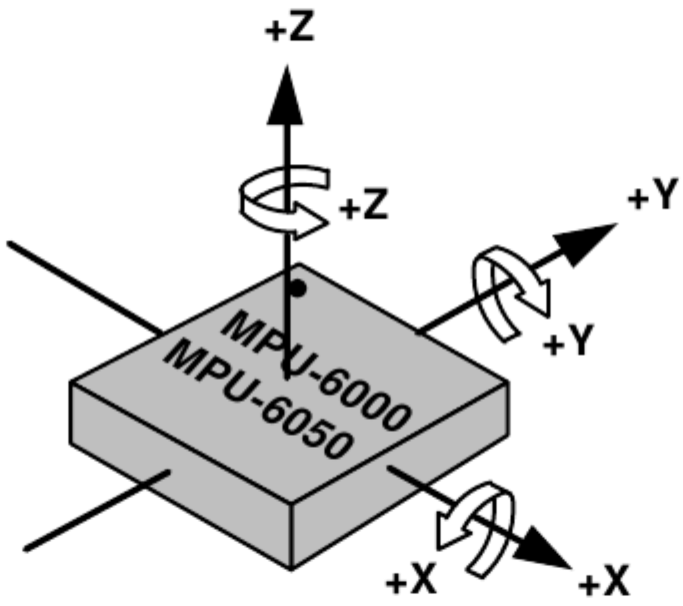
$$a = \frac{valorMedido}{16384} \cdot g \;\; [\mathrm{m/s^2}]$$

Giroscópio

Velocidade angular em cada eixo:

$$\omega = \frac{valorMedido}{131}\ [\mathrm{graus/s}] = \frac{\pi}{180} \cdot \frac{valorMedido}{131}\ [\mathrm{rad/s}]$$

Eixos do acelerômetro e giroscópio



Algoritmo de posicionamento

1) A partir dos dados dos **encoders**, calcular deslocamento (linear e angular) do centro do robô.

2) Obter a aceleração linear e velocidade angular por derivação numérica.

Algoritmo de posicionamento

3) Comparar e especificar pesos para:
- aceleração linear (encoders vs. acelerômetro)
- velocidade angular (encoders vs. giroscópio)

4) Calcular com base nos pesos (encoders vs. acelerômetro e giroscópio):
- aceleração linear final
- velocidade angular final

Algoritmo de posicionamento

5) Integrar numericamente aceleração linear e velocidade angular:

$$v_{(n)} = v_{(n-1)} + a_{(n)} \cdot (t_{(n)} - t_{(n-1)})$$

$$\Delta x_{(n)} = v_{(n)} \cdot (t_{(n)} - t_{(n-1)})$$

$$\Delta\theta_{(n)} = \Delta\theta_{(n-1)} + \omega_{(n)} \cdot (t_{(n)} - t_{(n-1)})$$

Algoritmo de posicionamento

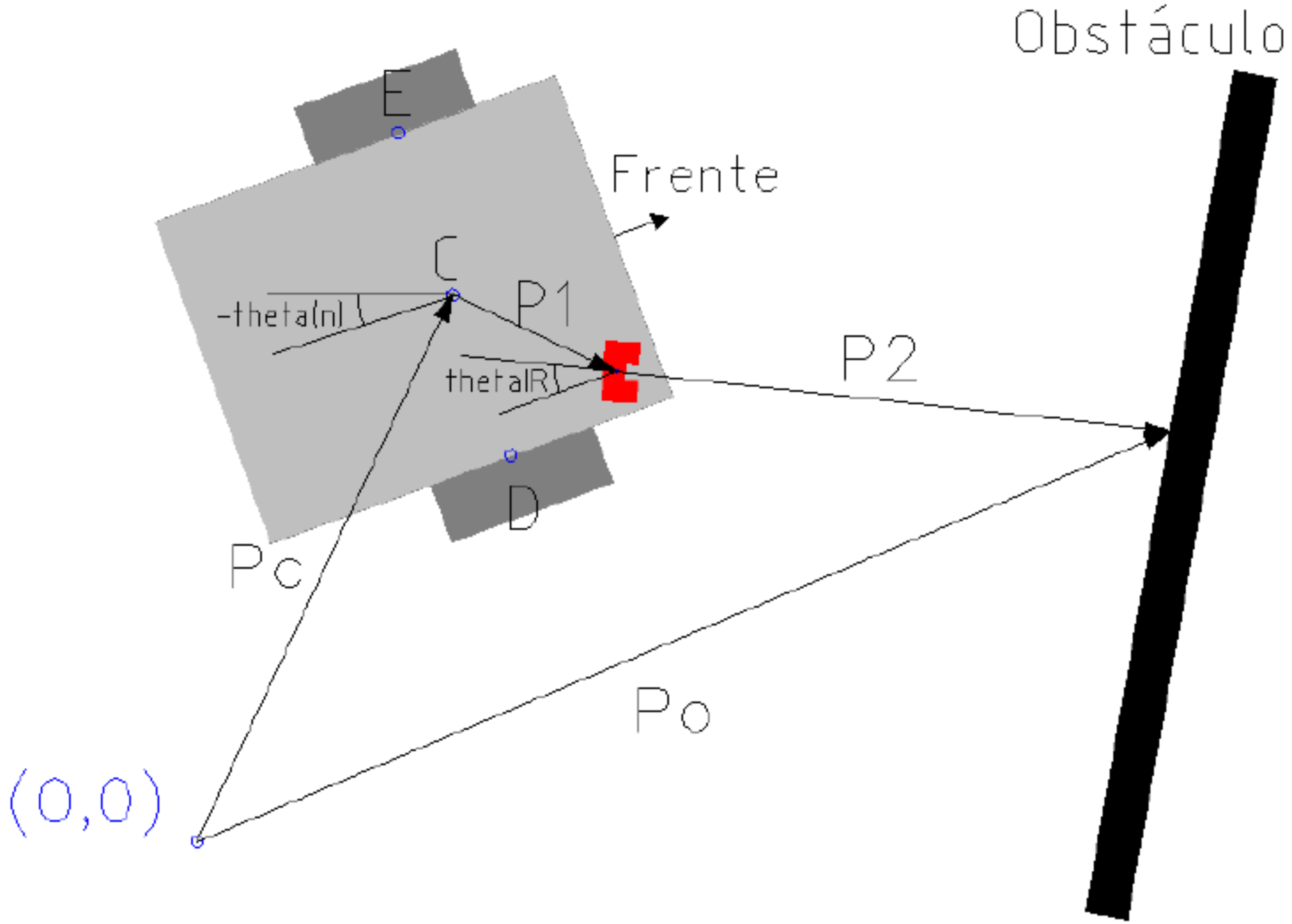
6) Calcular a nova posição $\vec{P}_{(n)}$ e o novo ângulo $\theta_{(n)}$ do robô:

$$P_{x(n)} = P_{x(n-1)} + \Delta x \cdot \cos\left(\theta_{(n-1)}\right)$$

$$P_{y(n)} = P_{y(n-1)} + \Delta x \cdot \sin\left(\theta_{(n-1)}\right)$$

$$\theta_{(n)} = \theta_{(n-1)} + \Delta\theta$$

Sensores infra-vermelhos



Sensores infra-vermelhos

Determinação da posição do obstáculo:

$$\overrightarrow{P_O} = \overrightarrow{P_C} + \overrightarrow{P_1} + \overrightarrow{P_2}$$

Sensores infra-vermelhos

Componentes:

$$\overrightarrow{P_C} = \overrightarrow{P}_{(n)}$$

$$|\overrightarrow{P_1}| = |\overrightarrow{P_{IR}}|$$

$$\phi\left\{\overrightarrow{P_1}\right\} = \phi\left\{\overrightarrow{P_{IR}}\right\} + \theta_{(n)}$$

$$|\overrightarrow{P_2}| = d$$

$$\phi\left\{\overrightarrow{P_2}\right\} = \theta_{IR} + \theta_{(n)}$$

Sensores infra-vermelhos

Distância detectada por cada sensor infra-vermelho em função do valor medido (x):

$$d = 3,6404 \cdot 10^{-7}x^4 - 2,4435 \cdot 10^{-4}x^3 + 6,0732 \cdot 10^{-2}x^2 - 6,8962x + 339,361$$

(MARIN et al., 2012)