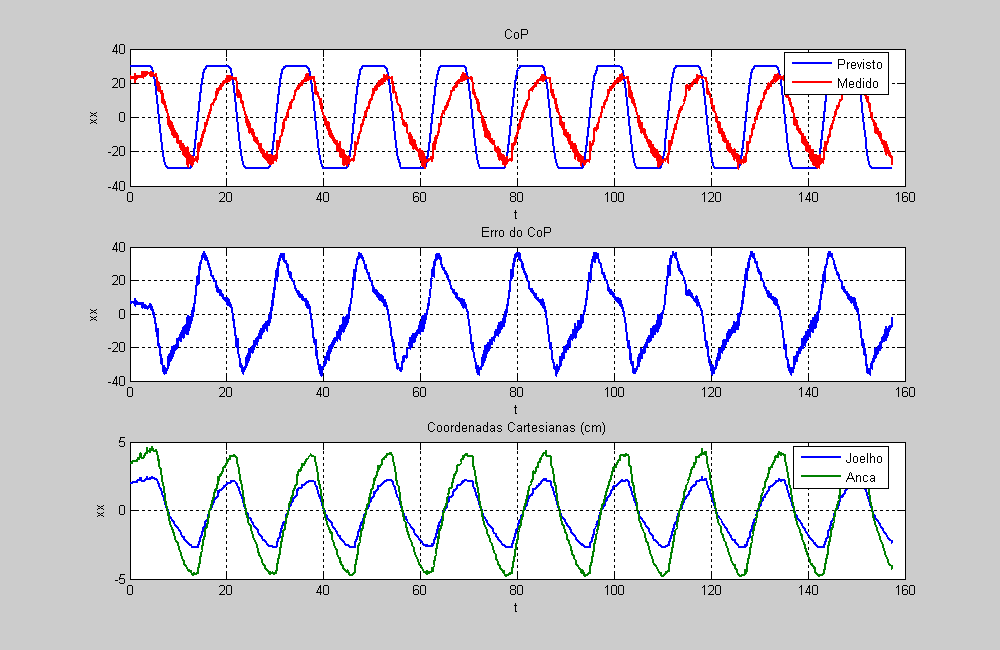
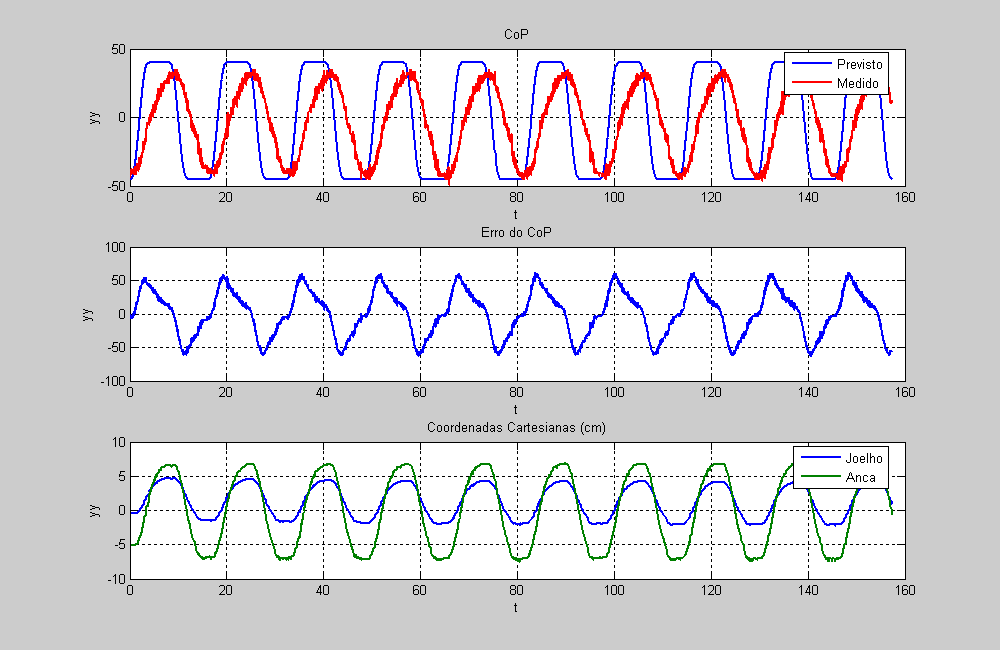
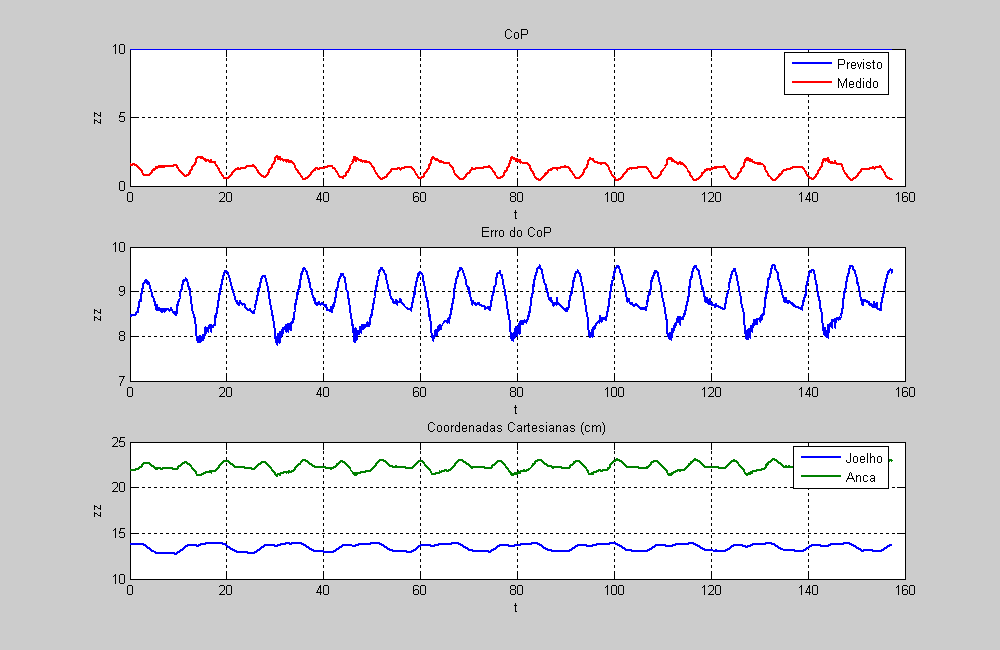
***Estudo da Resposta do Controlador face à variação do seu Ganho***

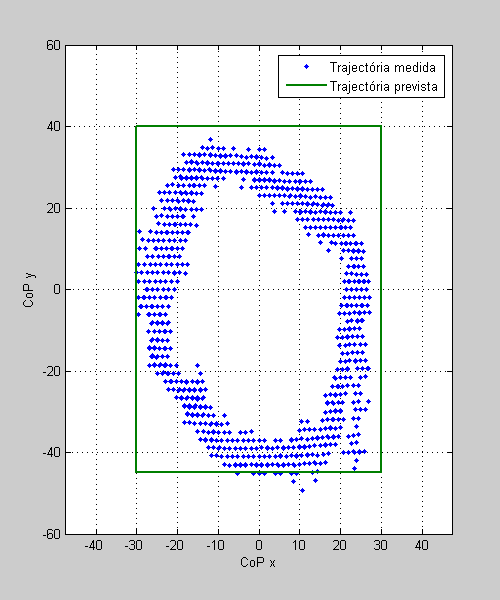
**Trajectória Rectangular**: CoPref=(-30,-45,10)⇒(-30,40,10)⇒(30,40,10)⇒(30,-45,10)

Período das trajectórias polinomiais=4s, #voltas=10, Kjacobiano=(10,10,10)



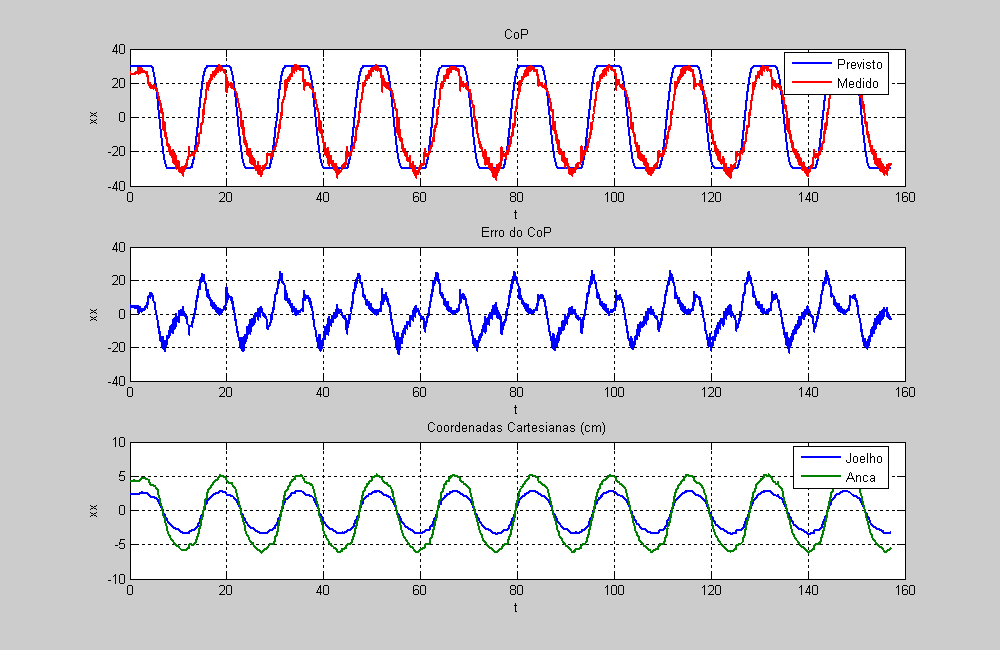


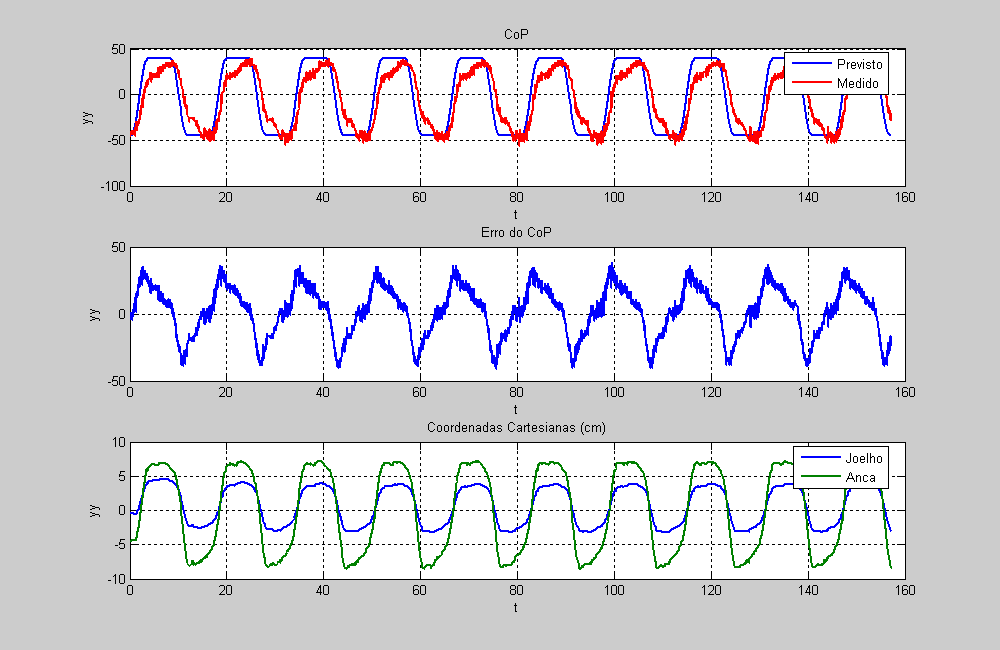


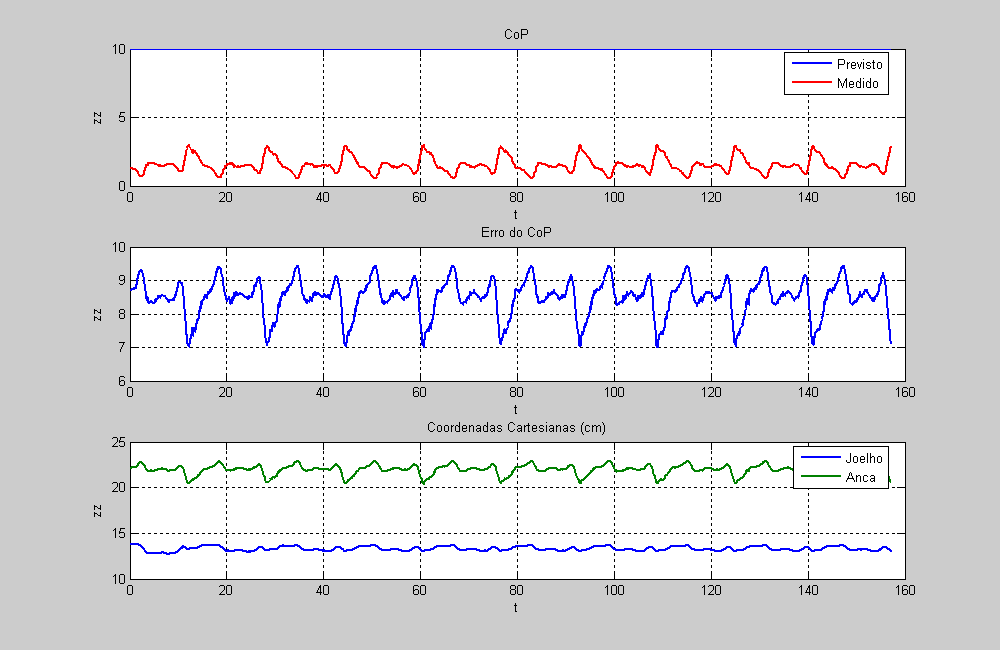


**Trajectória Rectangular**: CoPref=(-30,-45,10)⇒(-30,40,10)⇒(30,40,10)⇒(30,-45,10)

Período das trajectórias polinomiais=4s, #voltas=10, Kjacobiano=(30,30,30)

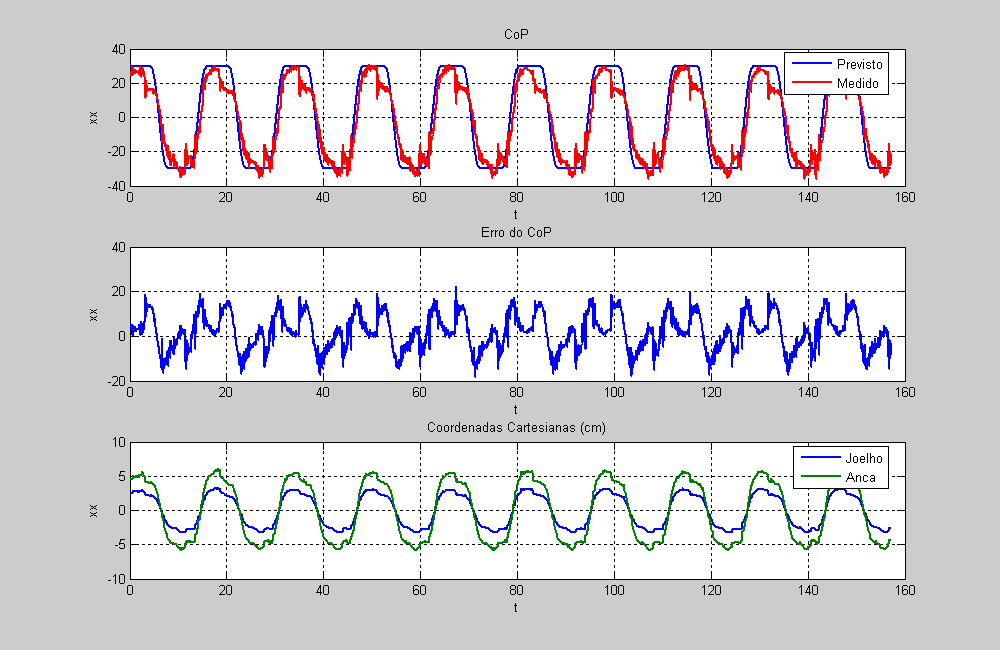


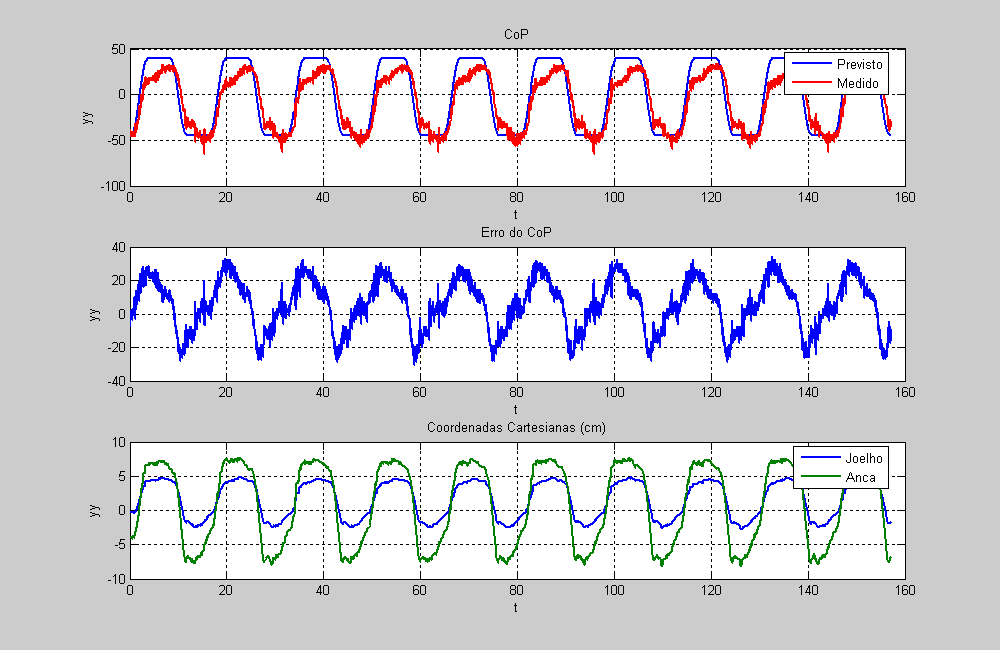


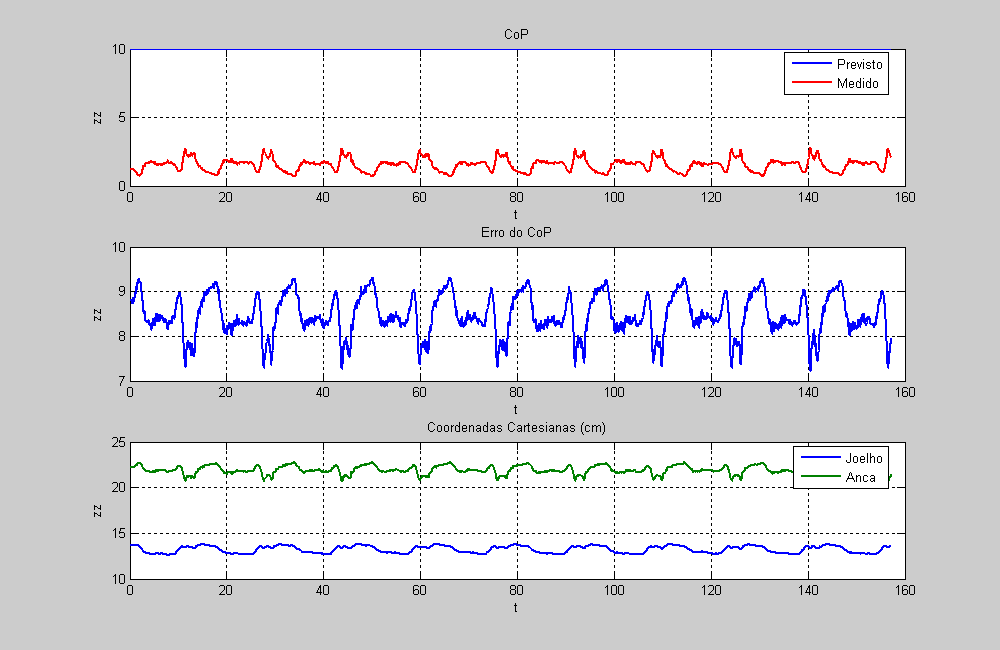


**Trajectória Rectangular**: CoPref=(-30,-45,10)⇒(-30,40,10)⇒(30,40,10)⇒(30,-45,10)

Período das trajectórias polinomiais=4s, #voltas=10, Kjacobiano=(50,50,50)

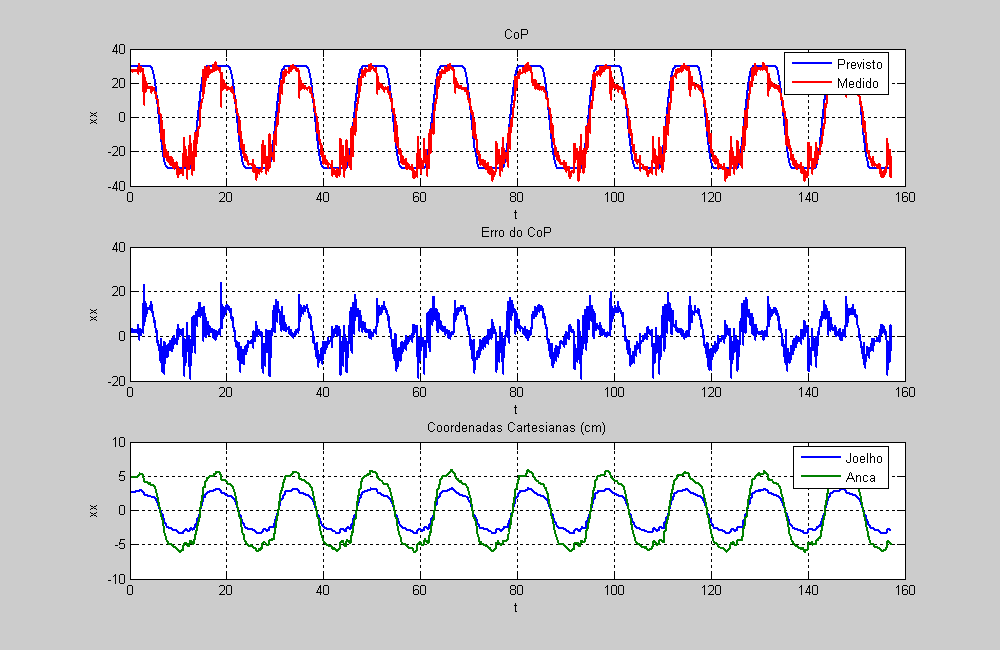


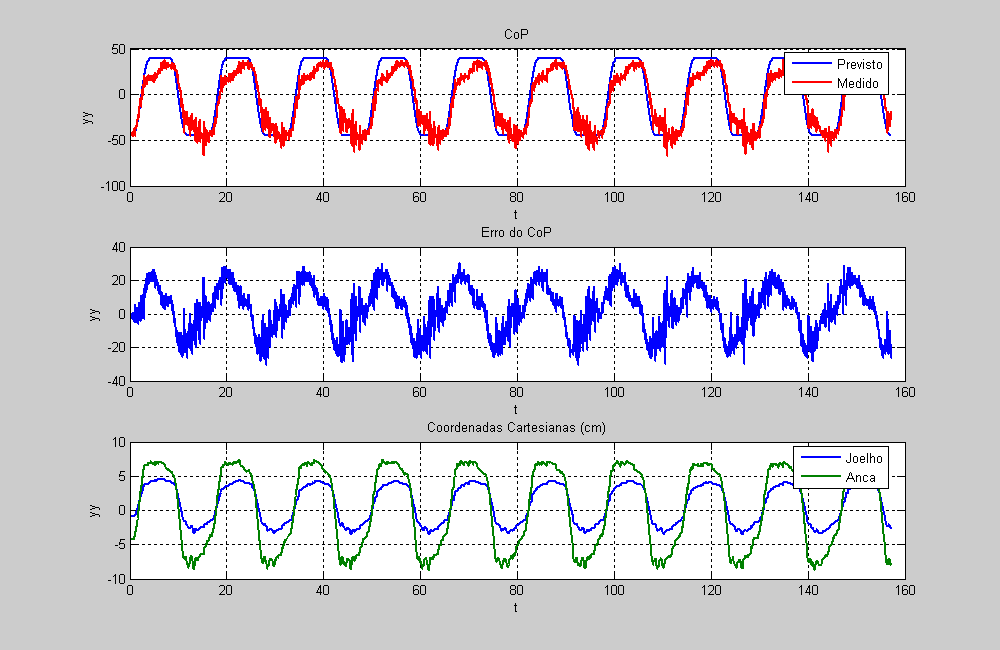


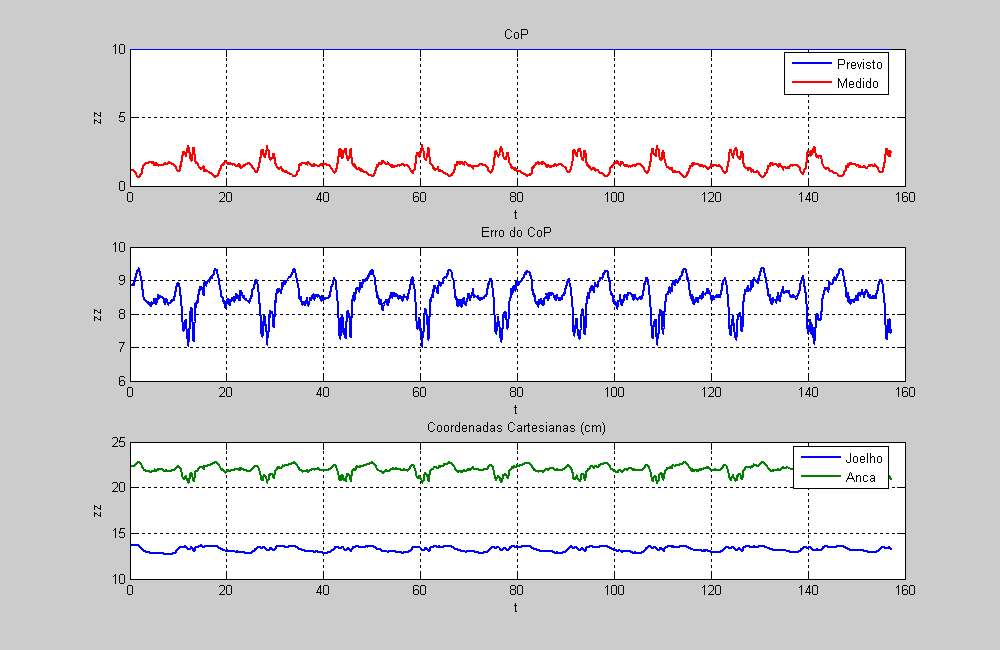


**Trajectória Rectangular**: CoPref=(-30,-45,10)⇒(-30,40,10)⇒(30,40,10)⇒(30,-45,10)

Período das trajectórias polinomiais=4s, #voltas=10, Kjacobiano=(70,70,70)







***Conclusões:***

Quanto maior é o ganho de compensação mais facilmente a trajectória imposta é seguida, tal como pode ser evidenciado pelo sinal de erro. Contudo para ganhos relativamente elevados, a diferença é insignificante, com a desvantagem de começar a surgir instabilidade na execução das trajectórias (veja-se para o caso de K=70).

A escolha de K=50, aparenta ser uma boa opção.

Outra conclusão que pode ser extraída destes gráficos é a aparente independência do controlo sobre o eixo *xx* e o eixo *yy*. Apenas no eixo *zz* nunca chega a ocorrer convergência dada a natureza da matriz Jacobiano utilizada para o efeito.

As constantes K correspondem a parâmetros físicos do sistema (não variáveis) e os ângulos θ correspondem aos ângulos reais das juntas de acordo com a seguinte convenção:

Frente

Atrás

y

x

z

y

θ3

θ2

θ1

Atrás

Frente

(Vista de Lado)

(Vista de Frente)

x

z

(Vista de Cima do Pé)

z

x

y

Analisando a Matriz JT, quando aplicada no seguinte controlador:

Podemos observar que para cada componente do erro, ocorre singularidade quando:

Para as componentes de erro do centro de pressão (*e*CoPx e *e*CoPy), estas equações correspondem a ter θ1=±90° ou θ2=±90° com θ3=0°, o que é fisicamente impossível dadas as limitações dos servomotores e da própria estrutura.

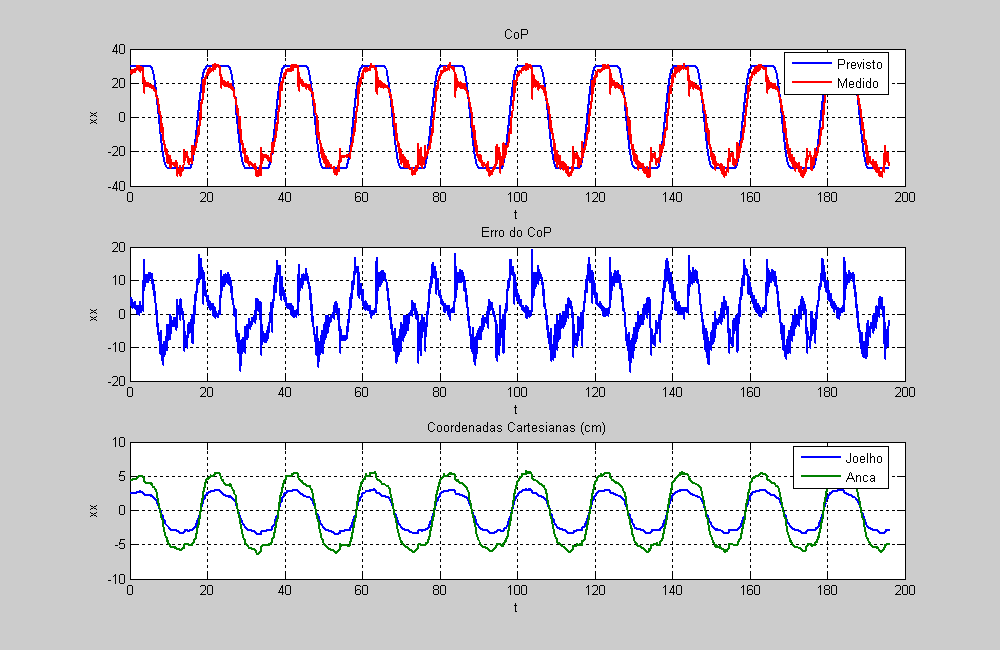
Contudo para a componente de altura (*e*altura), excluindo a situação de θ1=±90°, ocorre uma singularidade para quando θ2 e θ3=0°, o que corresponde à configuração de perna vertical. Nesta situação o controlo de altura deixa de se verificar, observando-se apenas o controlo do centro de pressão. Quanto mais longe desta posição limite, mais importância terá a componente do controlo de altura sobre o resultado global do controlador.

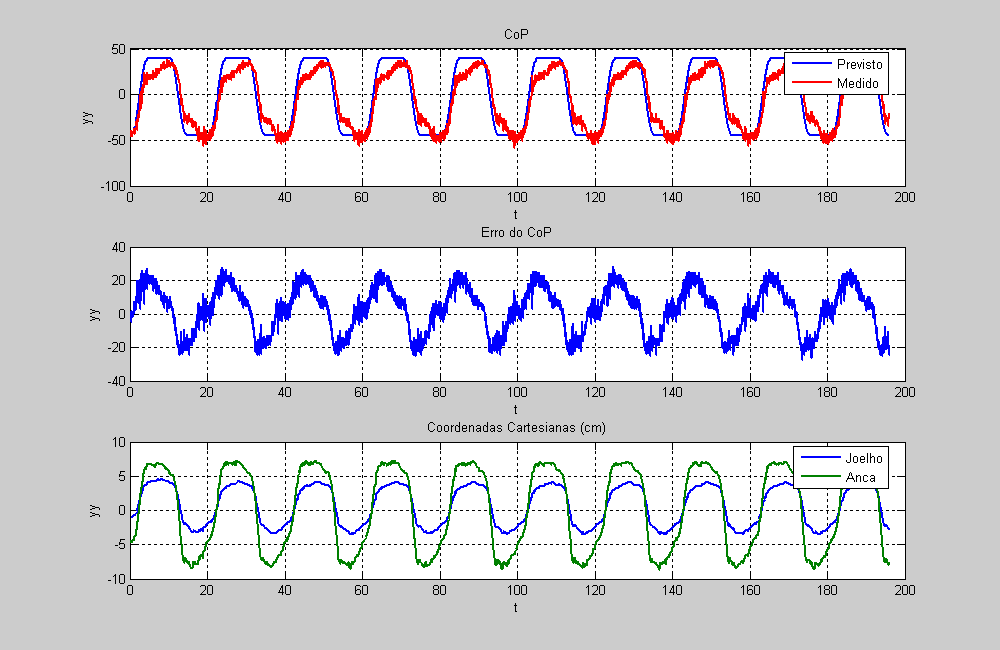
Esta conclusão justifica, o facto de praticamente não ter sido feito o ajuste de altura, uma vez que a perna se encontrava quase na vertical, o que resultava numa compensação muito lenta relativamente à da do centro de pressão. Para evitar esta situação no futuro, está-se a estudar numa forma de evitar que a perna atinja a configuração vertical ou posições muito próximas desta.

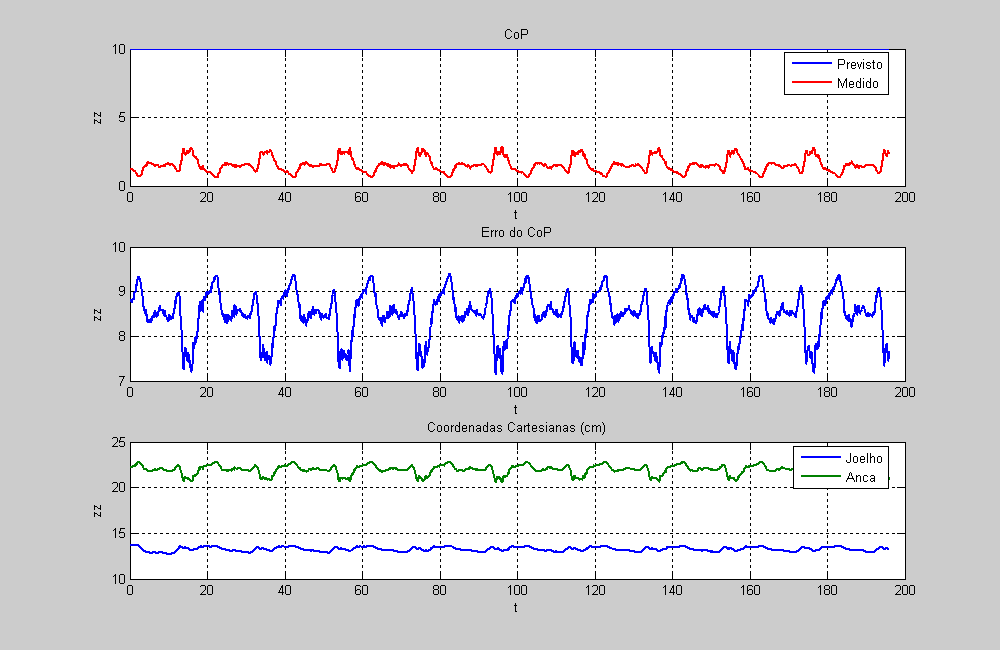
***Estudo da Resposta do Controlador face à variação da Velocidade***

**Trajectória Rectangular**: CoPref=(-30,-45,10)⇒(-30,40,10)⇒(30,40,10)⇒(30,-45,10)

Período das trajectórias polinomiais=5s, #voltas=10, Kjacobiano=(50,50,50)

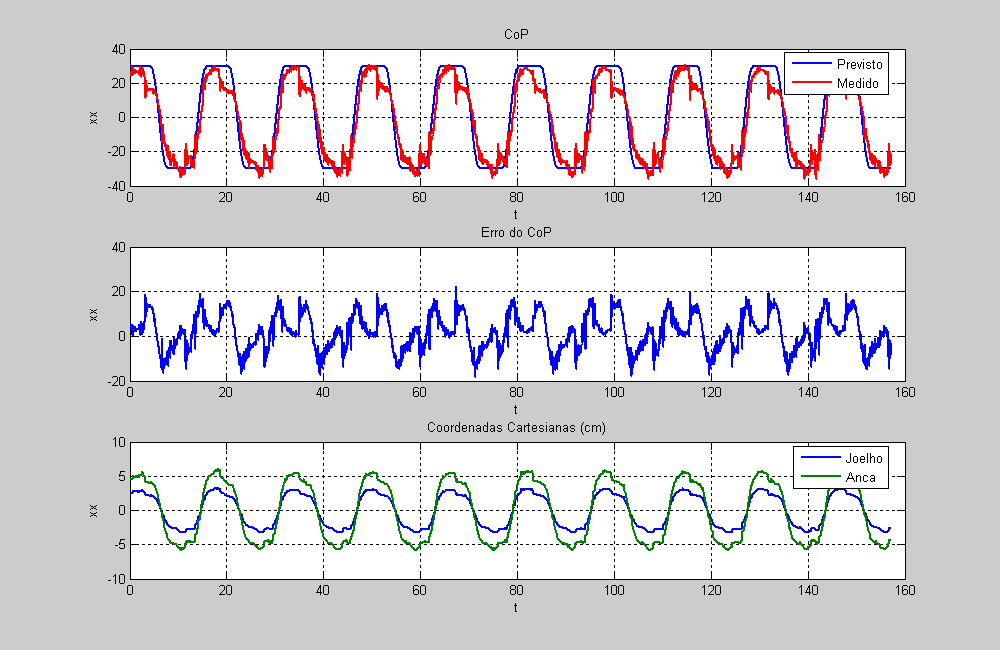


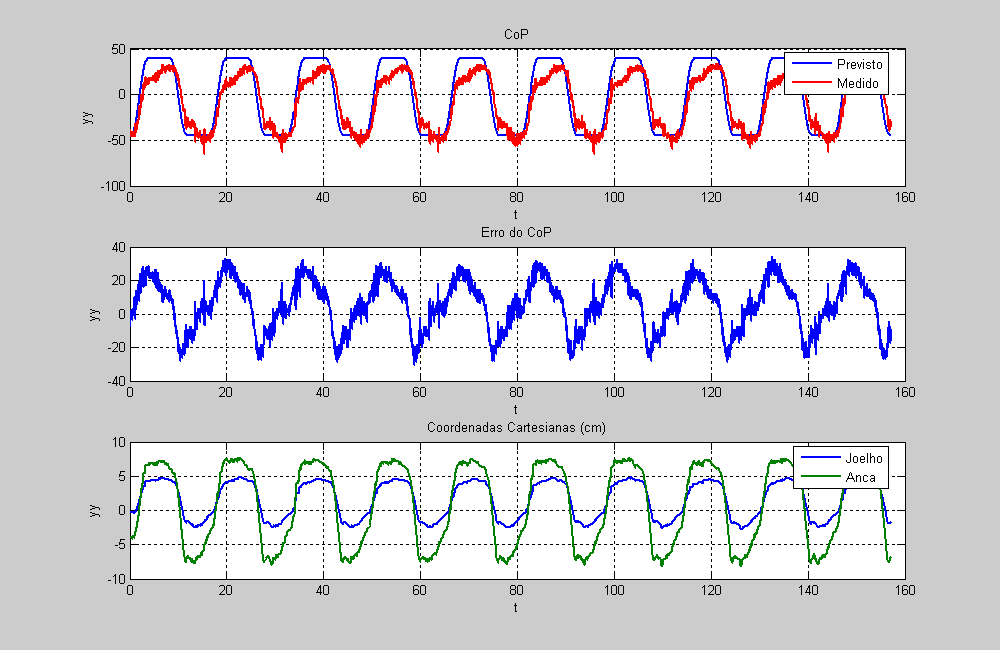


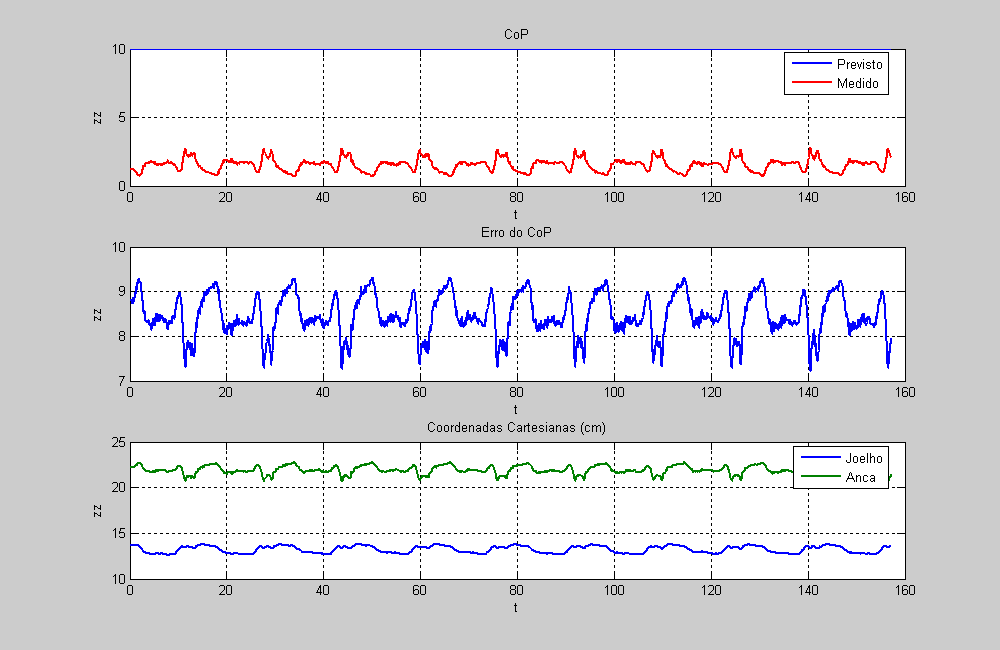


**Trajectória Rectangular**: CoPref=(-30,-45,10)⇒(-30,40,10)⇒(30,40,10)⇒(30,-45,10)

Período das trajectórias polinomiais=4s, #voltas=10, Kjacobiano=(50,50,50)

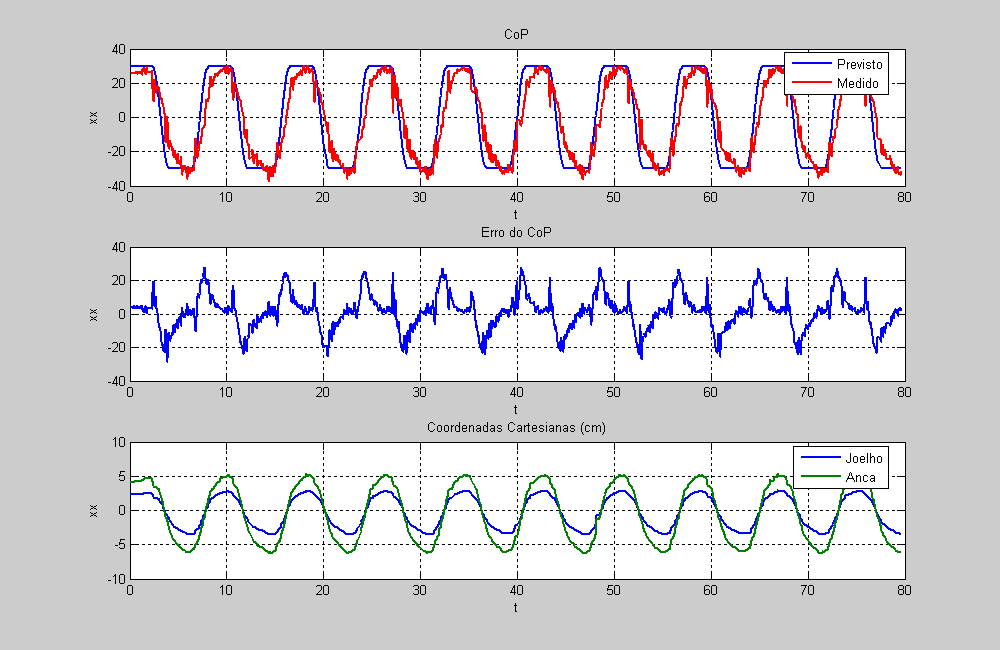


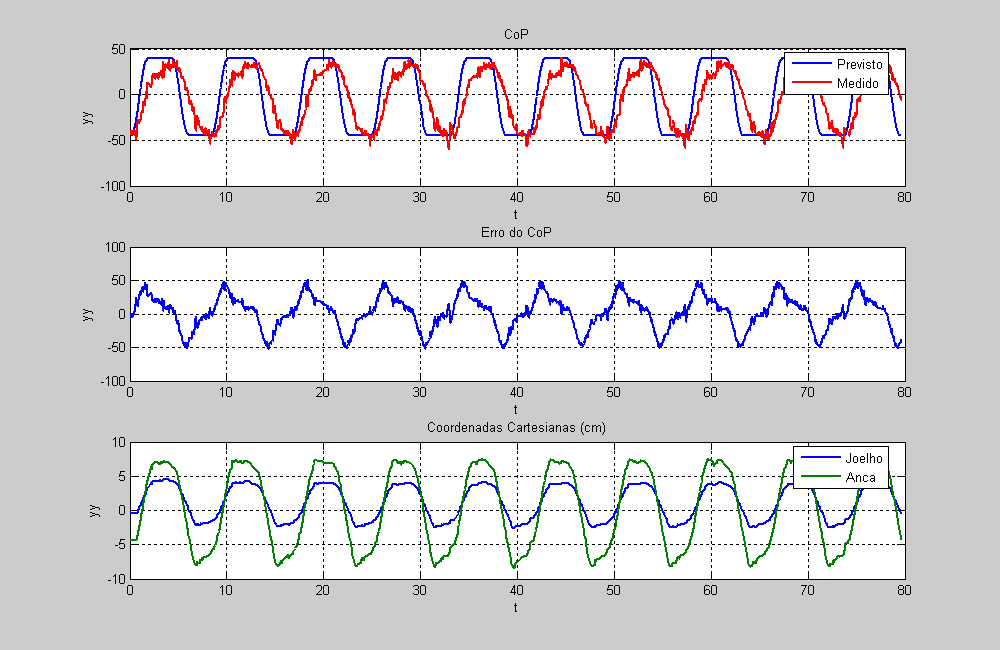


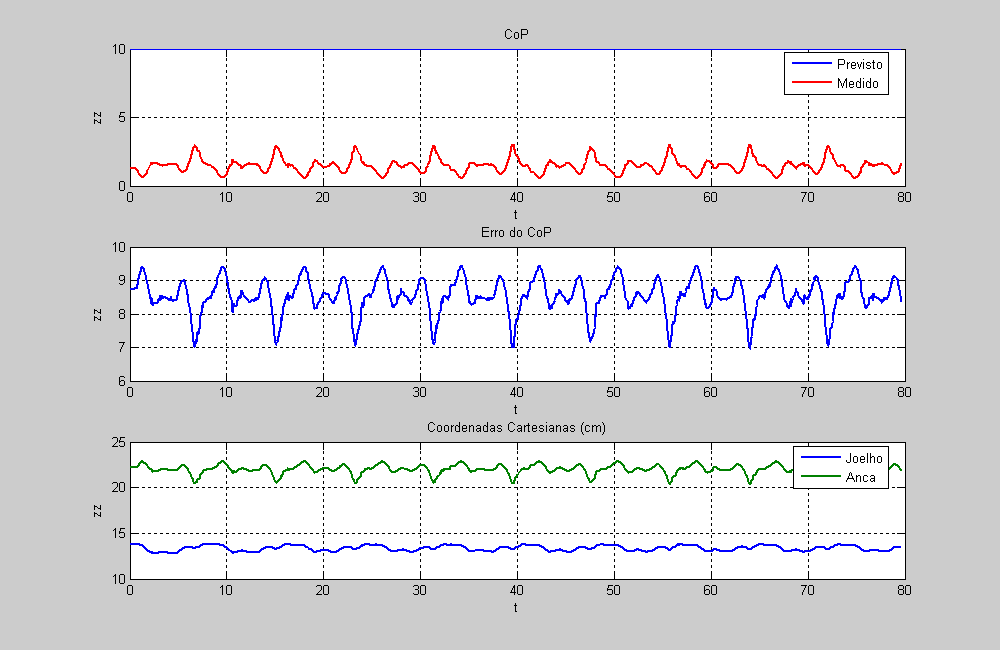


**Trajectória Rectangular**: CoPref=(-30,-45,10)⇒(-30,40,10)⇒(30,40,10)⇒(30,-45,10)

Período das trajectórias polinomiais=2s, #voltas=10, Kjacobiano=(50,50,50)

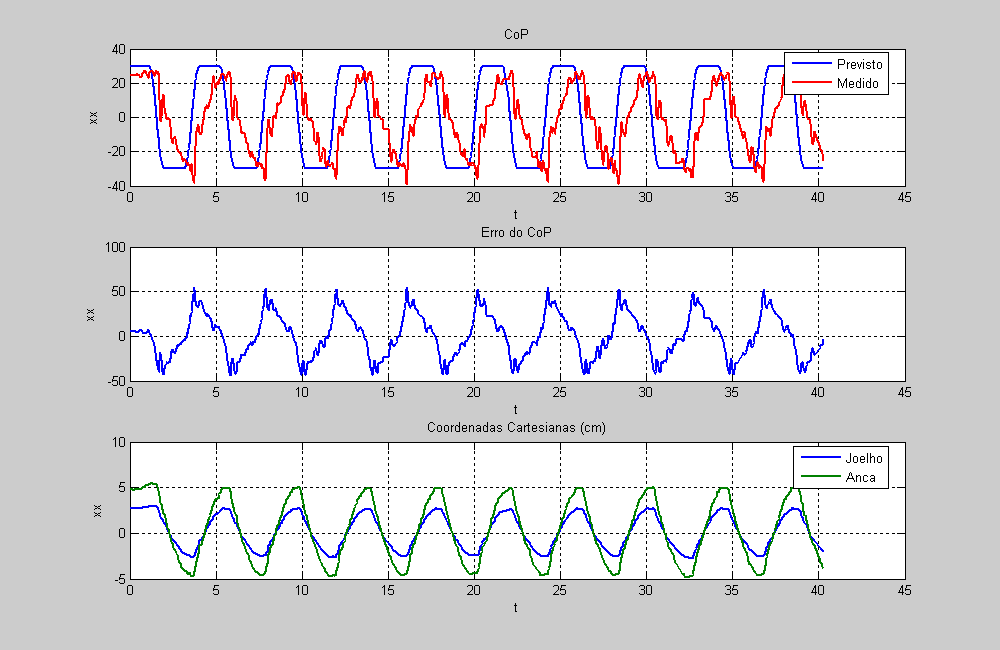


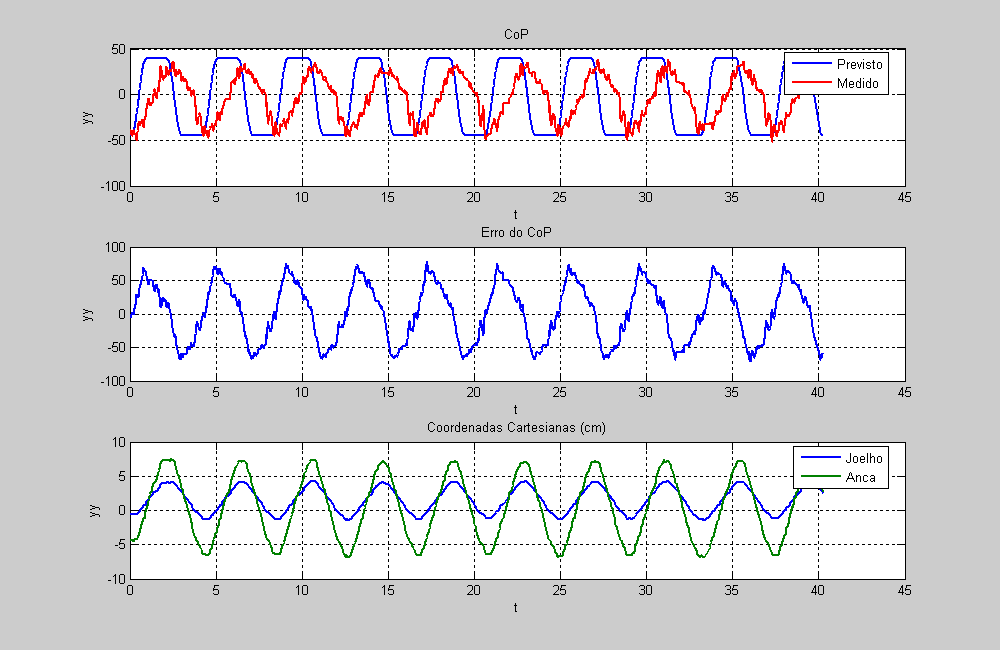


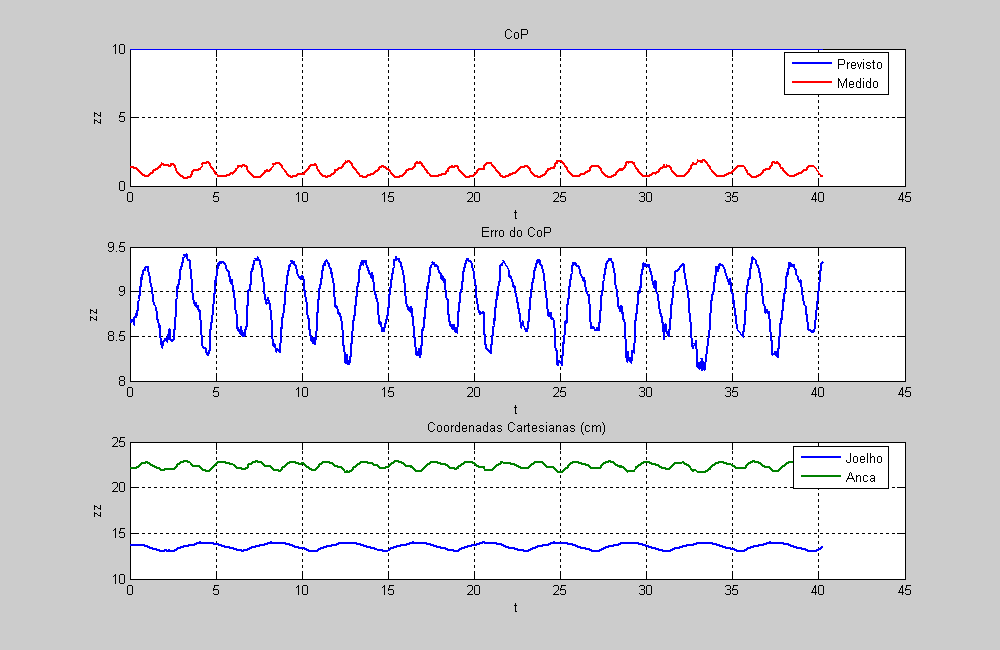


**Trajectória Rectangular**: CoPref=(-30,-45,10)⇒(-30,40,10)⇒(30,40,10)⇒(30,-45,10)

Período das trajectórias polinomiais=1s, #voltas=10, Kjacobiano=(50,50,50)







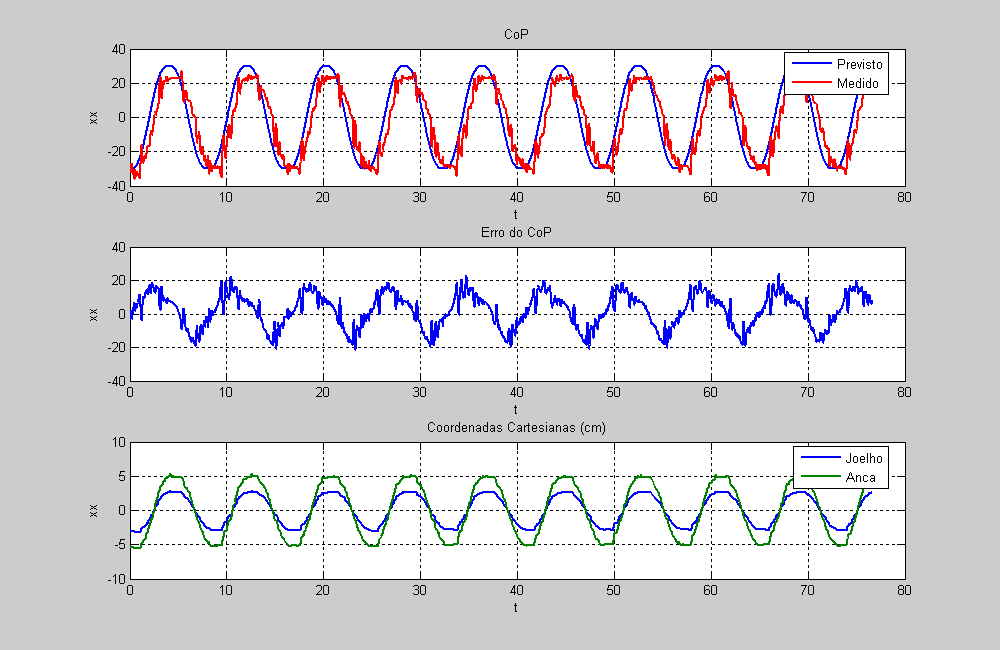
***Conclusões:***

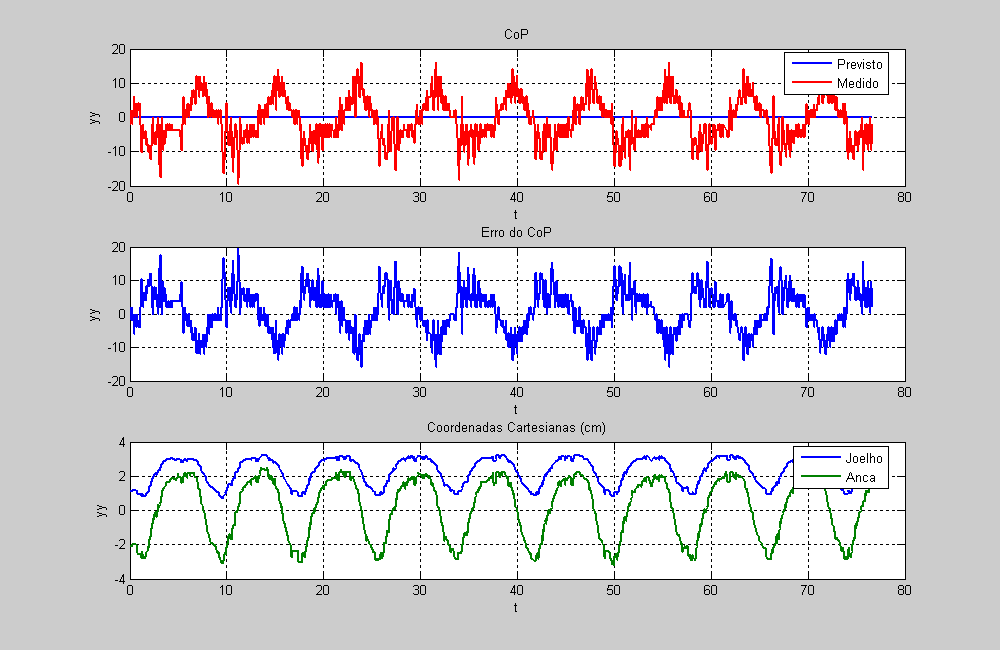
Variando agora a velocidade (duração das trajectórias polinomiais) constata-se que quanto mais lenta é a velocidade mais fácil é o seguimento da trajectória imposta, o que é uma observação muito semelhante ao aumento dos ganhos *K* do controlador, com a excepção da presença de oscilação.

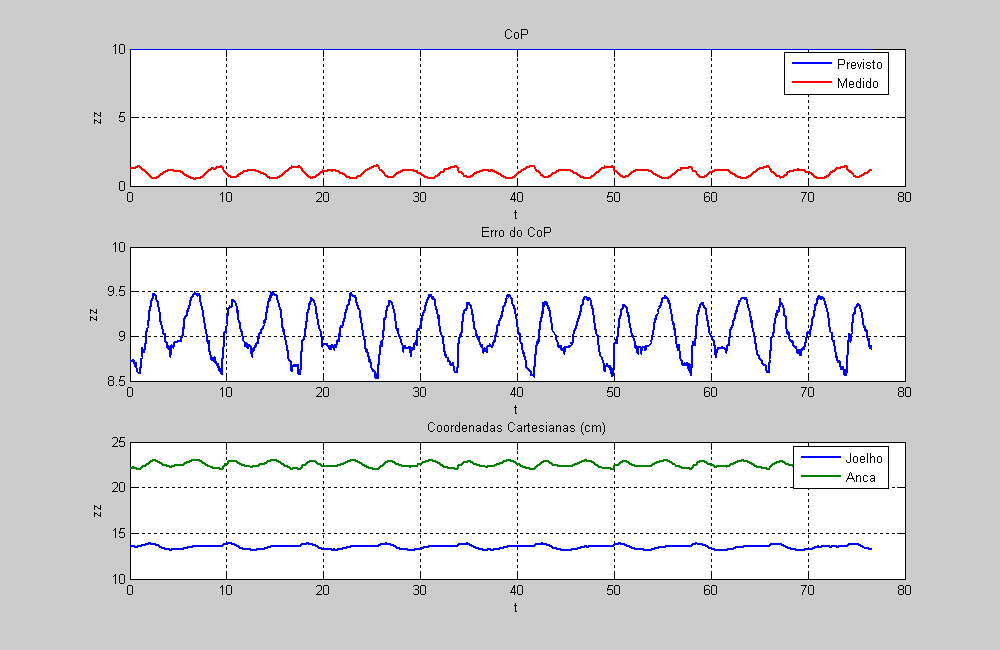
***Estudo da Resposta do Controlador para outras trajectórias***

**Trajectória Rectilínea** sobre o eixo xx: CoPref=(-30,0,10)⇒(30,0,10)

Período das trajectórias polinomiais=4s, #voltas=10, Kjacobiano=(50,50,50)

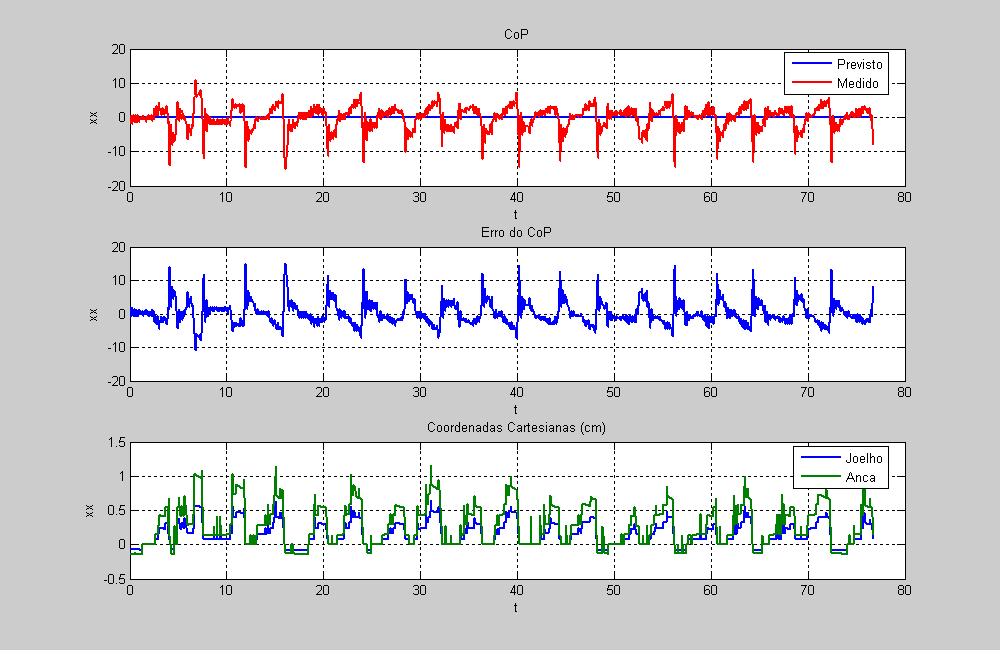


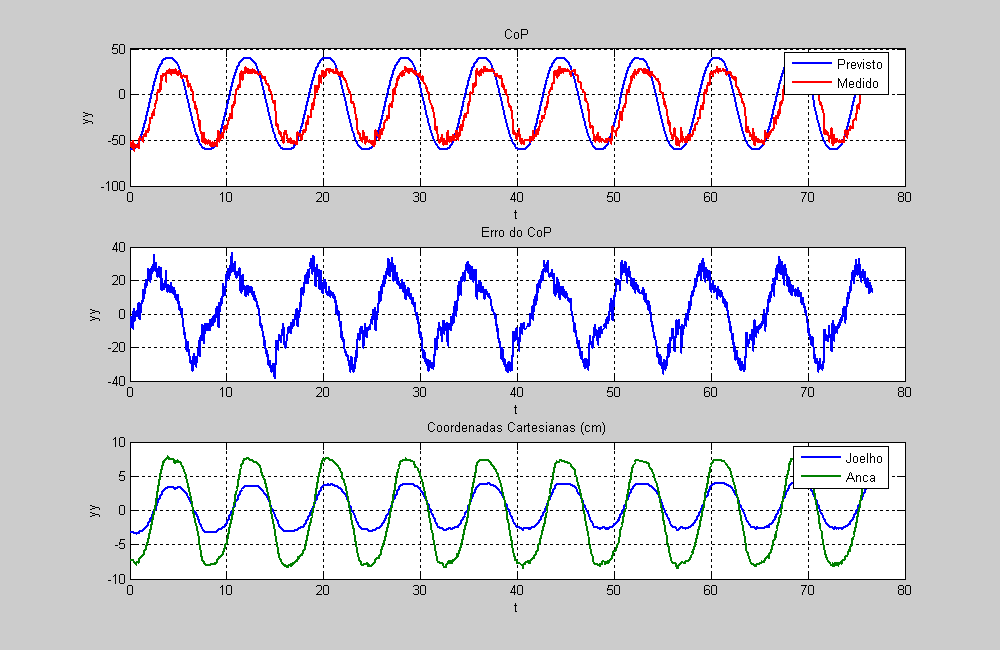


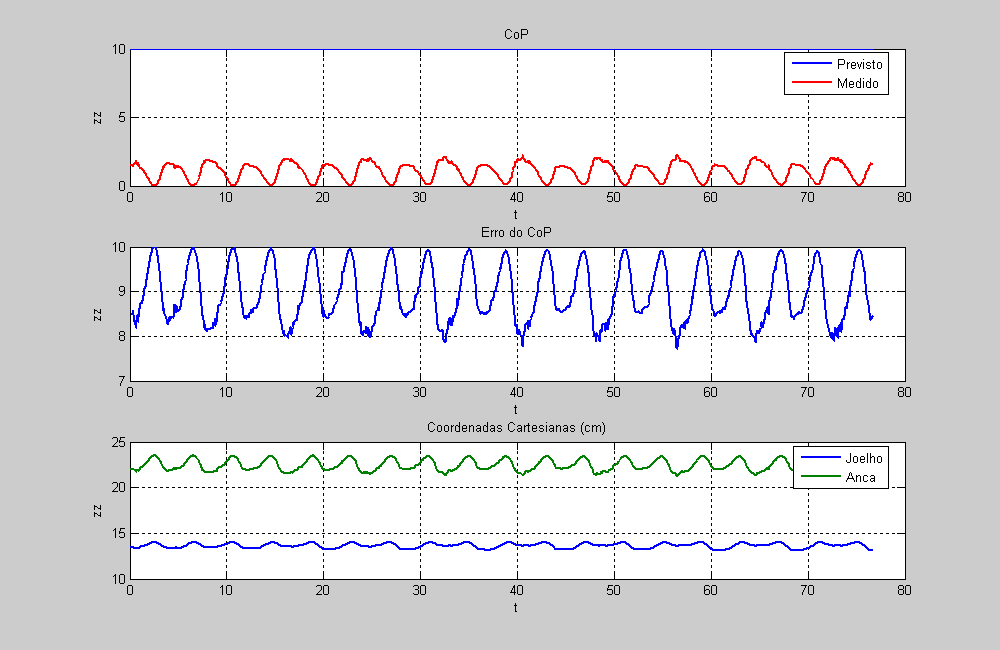


**Trajectória Rectilínea** sobre o eixo yy: CoPref=(0,-60,10)⇒(0,40,10)

Período das trajectórias polinomiais=4s, #voltas=10, Kjacobiano=(50,50,50)

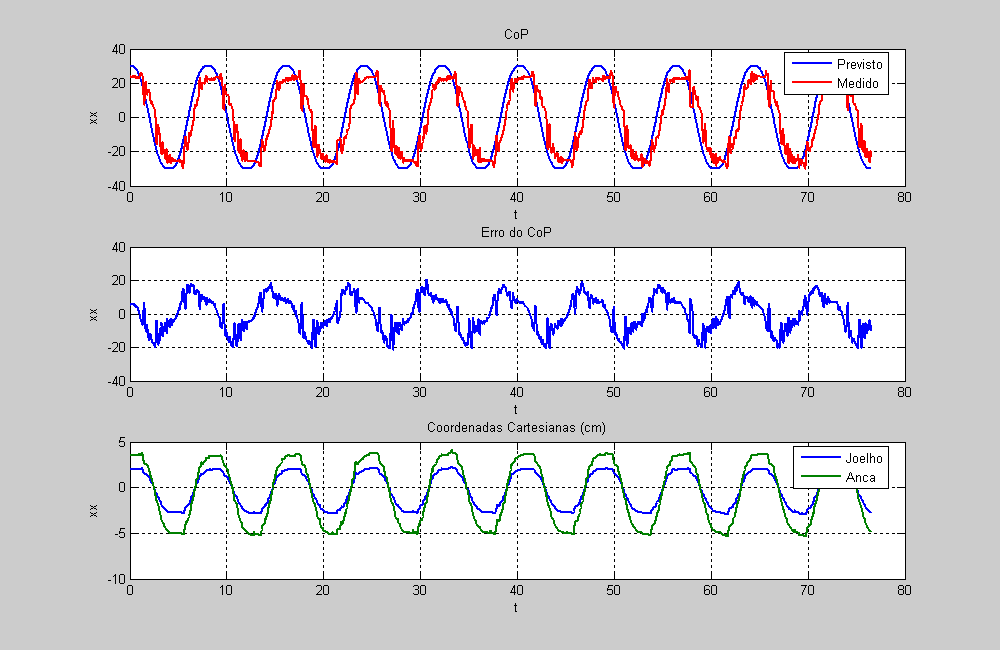


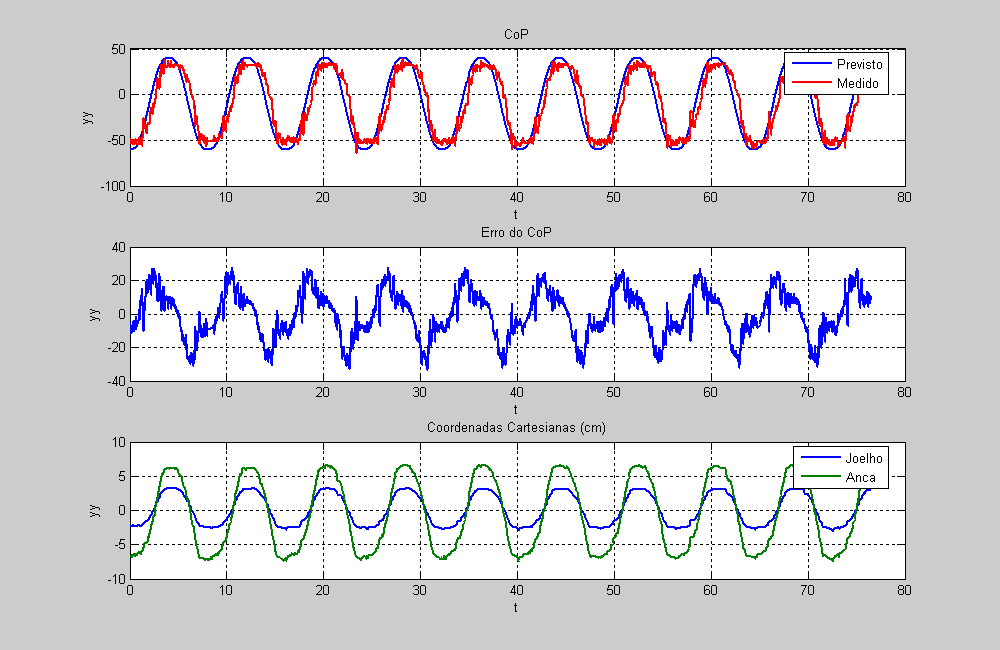


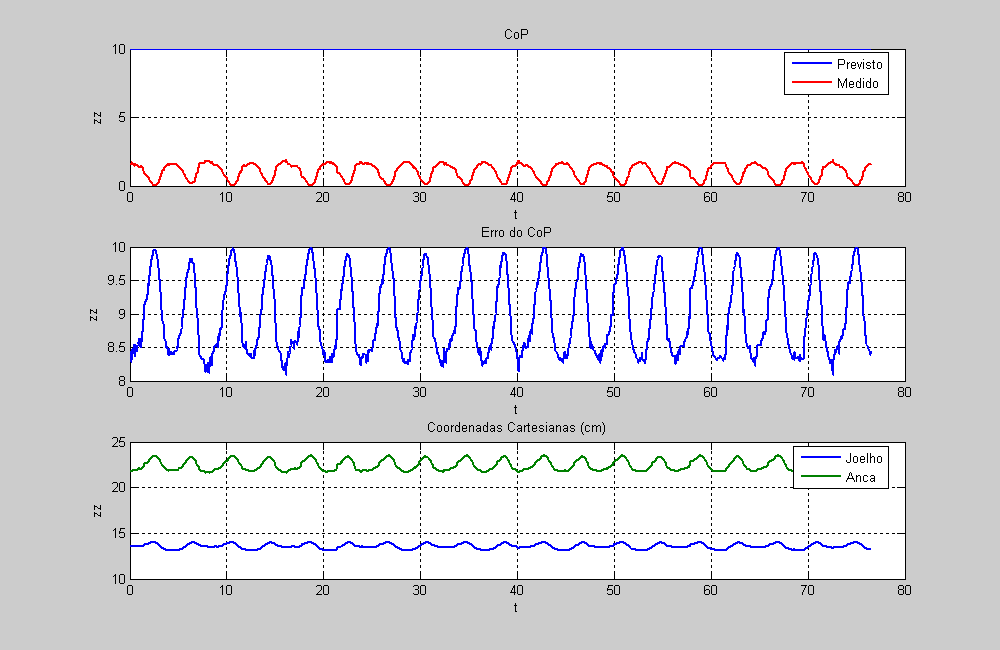


**Trajectória Rectilínea** sobre o eixo xy: CoPref=(30,-60,10)⇒(-30,40,10)

Período das trajectórias polinomiais=4s, #voltas=10, Kjacobiano=(50,50,50)







***Conclusões:***

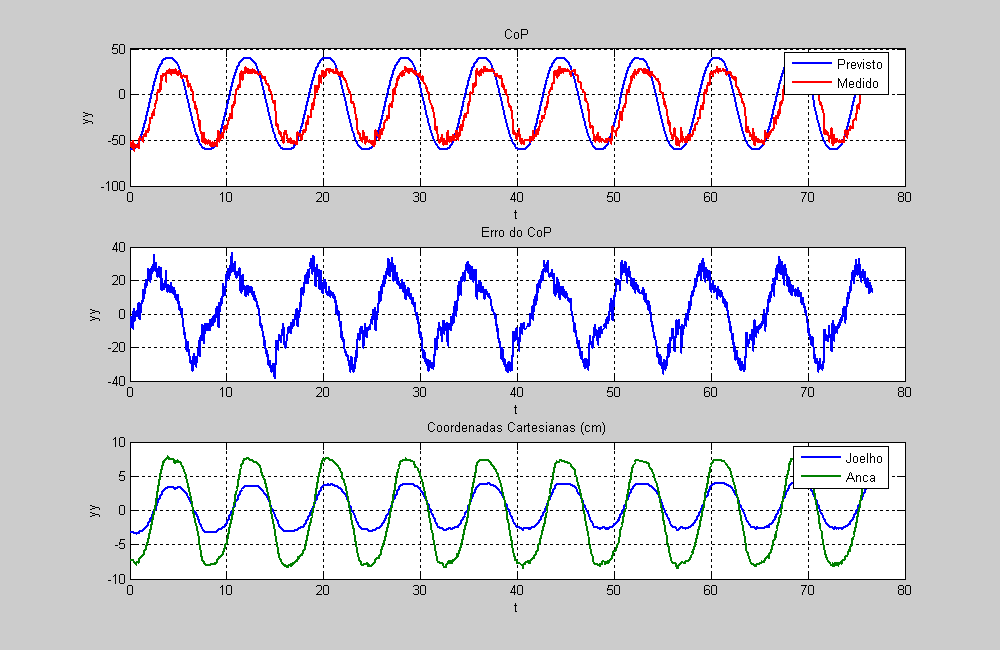
Os gráficos de trajectórias agora seguindo uma recta são bastante semelhantes aos observados com a aplicação de trajectórias seguindo um percurso rectangular. Contudo, uma observação feita, que não está muito patente nas figuras é a dificuldade do alcance das posições limite, dado que a presença de atraso leva à iniciação de novas trajectórias ainda antes da finalização efectiva da anterior.

As figuras seguintes apresentarão este efeito.

***Estudo da Resposta do Controlador para Trajectórias rectilíneas variando a Velocidade***

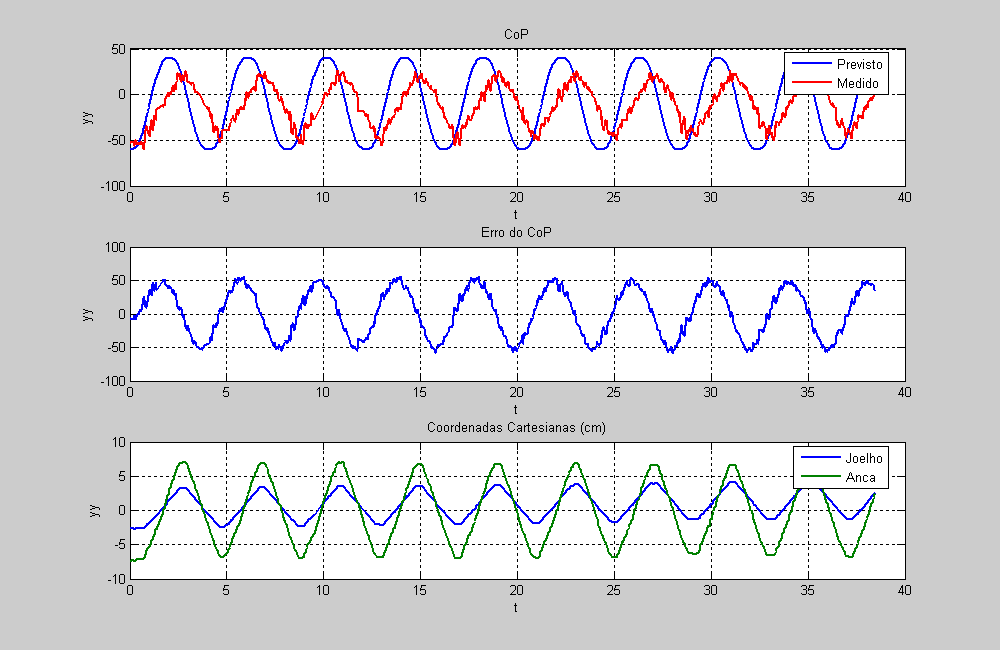
**Trajectória Rectilínea** sobre o eixo yy: CoPref=(0,-60,10)⇒(0,40,10)

Período das trajectórias polinomiais=4s, #voltas=10, Kjacobiano=(50,50,50)



**Trajectória Rectilínea** sobre o eixo yy: CoPref=(0,-60,10)⇒(0,40,10)

Período das trajectórias polinomiais=2s, #voltas=10, Kjacobiano=(50,50,50)



**Trajectória Rectilínea** sobre o eixo yy: CoPref=(0,-60,10)⇒(0,40,10)

Período das trajectórias polinomiais=1s, #voltas=10, Kjacobiano=(50,50,50)



***Conclusões:***

Para o caso em que foi imposto um período de trajectória de 1s, é que se torna notória a impossibilidade de alcançar as posições limite, dado o elevado atraso entre a imposição e a realização do centro de pressão pretendido. Para evitar estas situações é aconselhado a introdução de um tempo *idle* para permitir o estabelecimento da posição pretendida.

***Conclusões Finais:***

Por observação dos gráficos, bem como observação directa das experiências, pode-se concluir com relativa segurança que o controlador de equilíbrio está pronto para a execução de trajectórias com suficiente estabilidade desde que a velocidade imposta e os ganhos do controlador sejam limitados. Apenas será necessário implementar ao nível do firmware um protector de singularidades no que concerne ao controlo de altura, o que se espera estar realizado muito brevemente.

Como valores referência a registar pode-se dizer que se pode garantir uma boa performance para ganhos de compensação *K* à volta de 50, para períodos de trajectória iguais ou superiores a 2 segundos.

Caso se necessite de aplicar velocidades relativamente altas, na execução de várias trajectórias consecutivas, apenas se aconselha a introdução de tempos *idle* entre elas como garantia de como as posições CoP limite são atingidas.

De referir a importância do ajuste dos potenciómetros de calibração dos extensómetros, bem como também o ajuste dos parafusos que assentam directamente sobre os extensómetros: é importante que eles apenas estejam a tocar as placas de acrílico sem deformação significativa, na ausência de força imposta. Deste modo, podemos aproveitar toda a gama de funcionamento que estes extensómetros permitem utilizar.