

6 Resultados Experimentais

Neste capítulo são apresentados os resultados dos testes das estratégias de controle implementados sobre o TPPE. As estratégias de controle testadas foram o Controle PID, Controle Fuzzy e Controle Robusto. As condições para todos os testes foram numa área plana, com um mínimo possível de irregularidades no solo, e com baterias totalmente carregadas para cada teste. Assim, se propiciou uma inicialização de teste com condições iguais para cada um destes. Quando necessário, se utilizou um mesmo “quebra-molas” como elemento de perturbação.

Os dados a partir do acelerômetro, girômetro e potenciômetro deslizante foram capturados e salvos em tempo real em uma memória microSD, em um arquivo texto com extensão .txt. A capacidade da memória utilizada foi de 2GB, para ter-se assim capacidade suficiente de armazenamento. Pode-se mencionar que os dados salvos foram processados na eletrônica embarcada, ou seja, foram filtrados e tiveram sua escala modificada pelo controlador.

6.1 Testes com o PID

Dos múltiplos testes realizados, foram salvos três, nos quais os parâmetros de controle encontram-se de acordo com a Tabela VII.

Tabela VII: Valores dos parâmetros utilizadas no teste de controle PID

Teste\Parâmetros	K_p (V/rad)	K_d (V/rad/seg)	K_i (V/rad.seg)
I	15	7	0.3
II	10	5	0.3
III	5	4	0.3

Os resultados dos testes são mostrados a seguir.

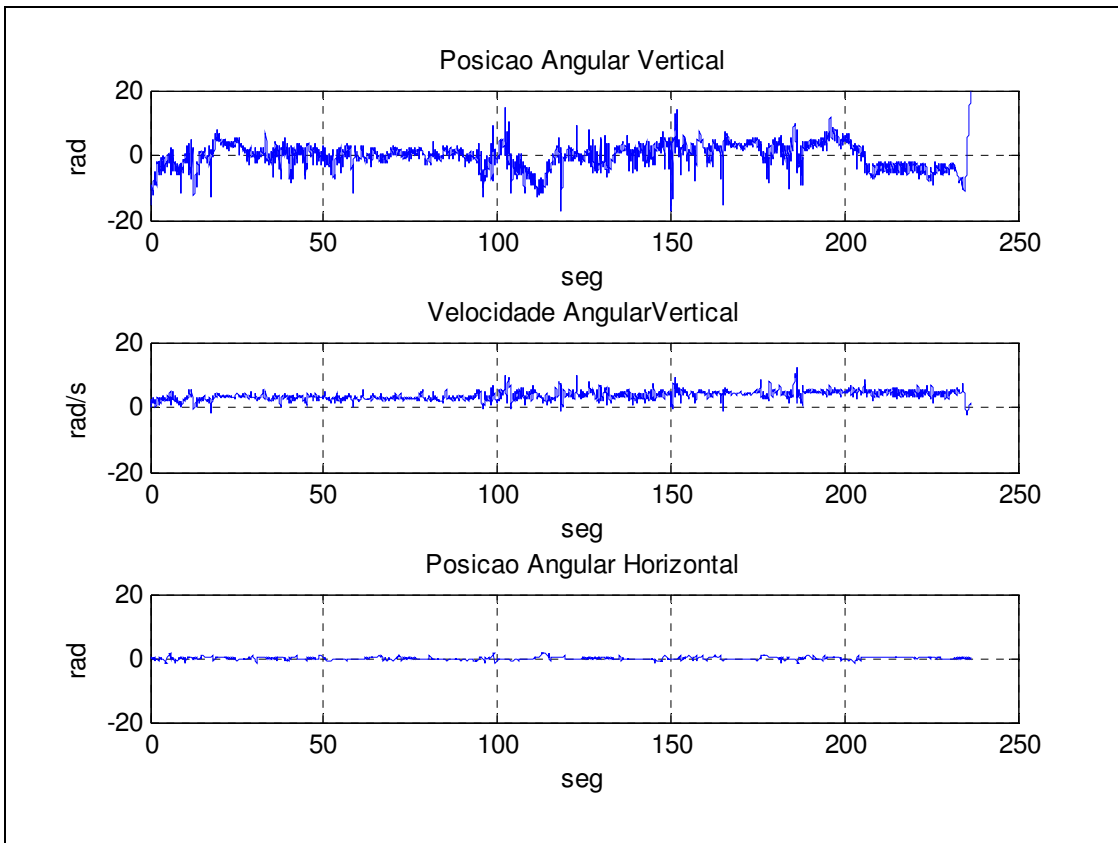


Figura 50: Teste com estratégia de controle PID com parâmetros de controle $K_p=15$, $K_d=7$, $K_i=0.3$.

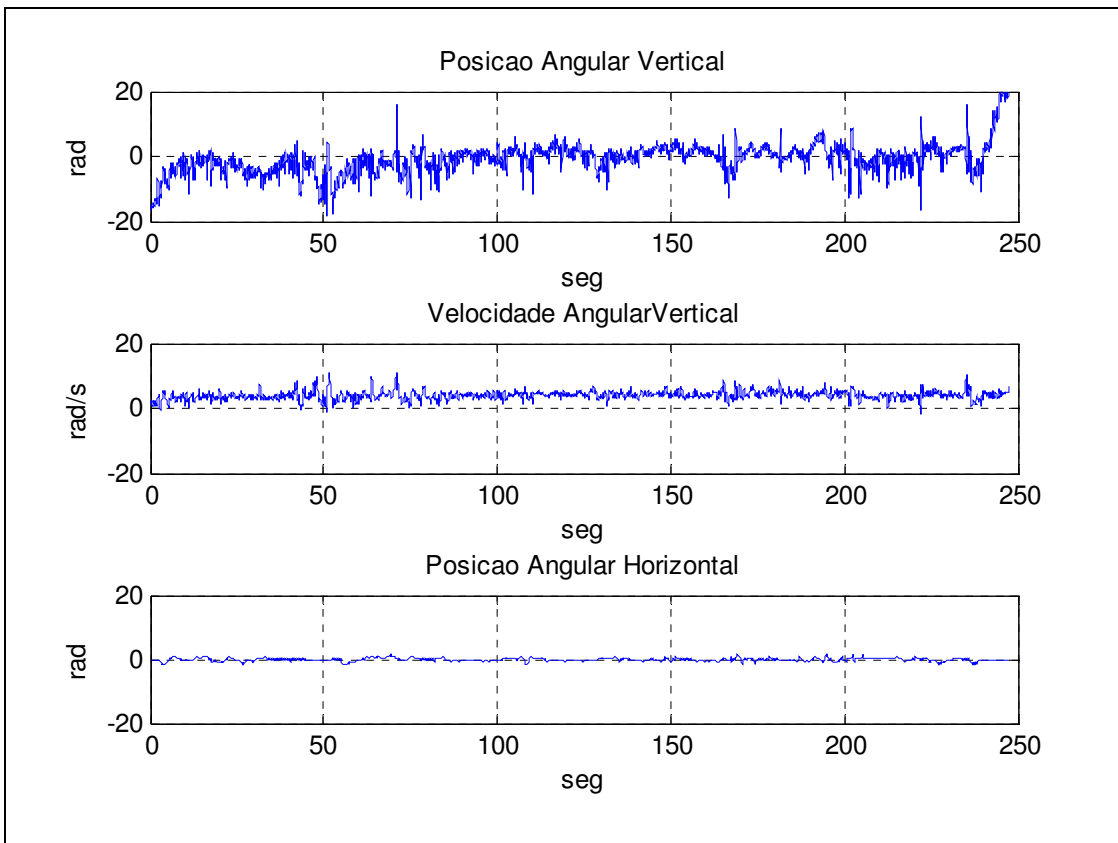


Figura 51: Teste com estratégia de controle PID com parâmetros de controle $K_p=10$, $K_d=5$, $K_i=0.3$.

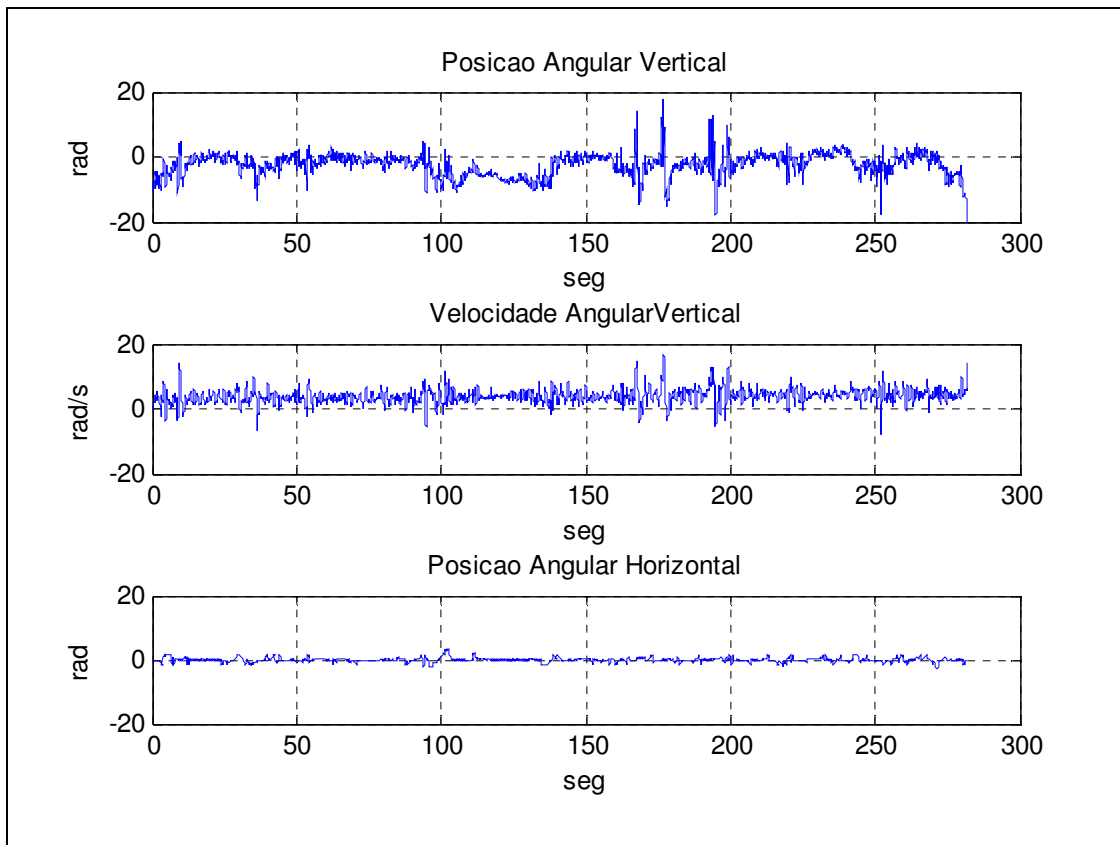


Figura 52: Teste com estratégia de controle PID com parâmetros de controle $K_p=5$, $K_d=4$, $K_i=0.3$.

Observando as Figuras 50-52, se pode notar que o sistema responde satisfatoriamente para solo plano até encontrar uma perturbação, neste caso um quebra-molas, onde o TPPE se desligou automaticamente por passar o limite (definido no controlador) da diferença entre o ângulo de referência e ângulo medido.

6.2 Testes com controle inteligente Fuzzy

Dos múltiplos testes realizados, foram salvos três, nos quais os parâmetros de controle estão de acordo com a Tabela VIII.

Tabela VIII: Valores dos parâmetros utilizadas no teste de controle Fuzzy

Teste\Parâmetros	$u_{erro}(\text{seg})$	$u_{derro}(\text{seg/s})$	$u_{out}(\text{V})$
I	25	15	100
II	22	13	100
III	20	10	100

onde:

u_{erro} : limite de universo de discurso para erro da posição angular

u_{derro} : limite de universo de discurso para a velocidade angular

u_{out} : limite de universo de discurso para a saída do controlador

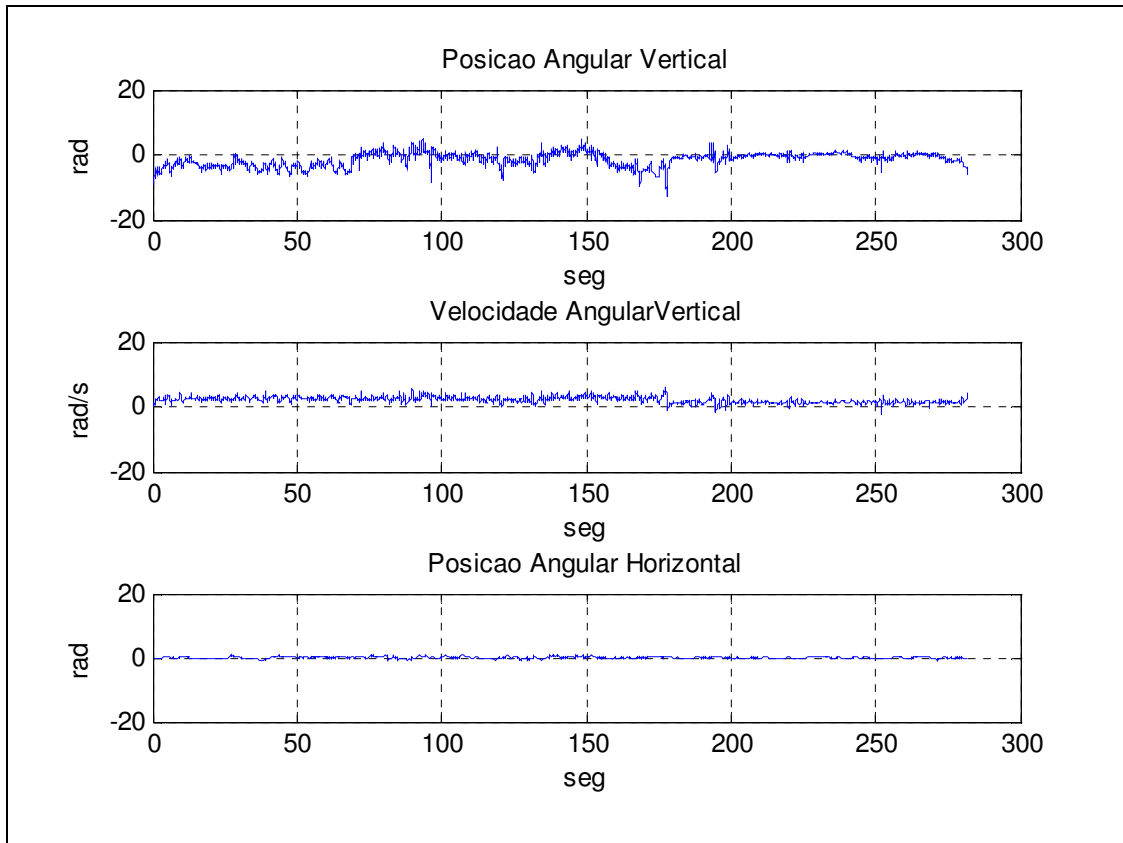


Figura 53: Teste com estratégia de controle Fuzzy com parâmetros de controle $u_{erro}=25$, $u_{derro}=15$ e $u_{out}=100$

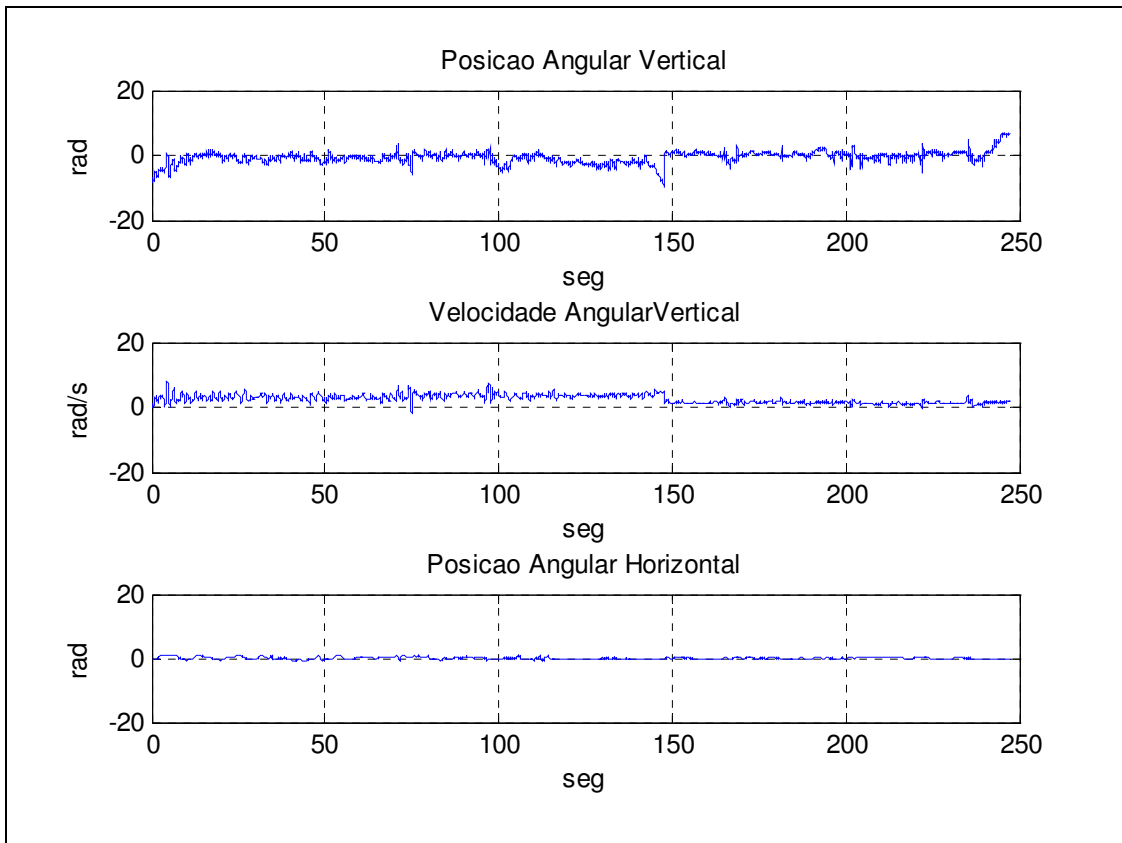


Figura 54: Teste com estratégia de controle Fuzzy, com parâmetros de controle $u_{erro}=22$, $u_{derro}=13$ e $u_{out}=100$.

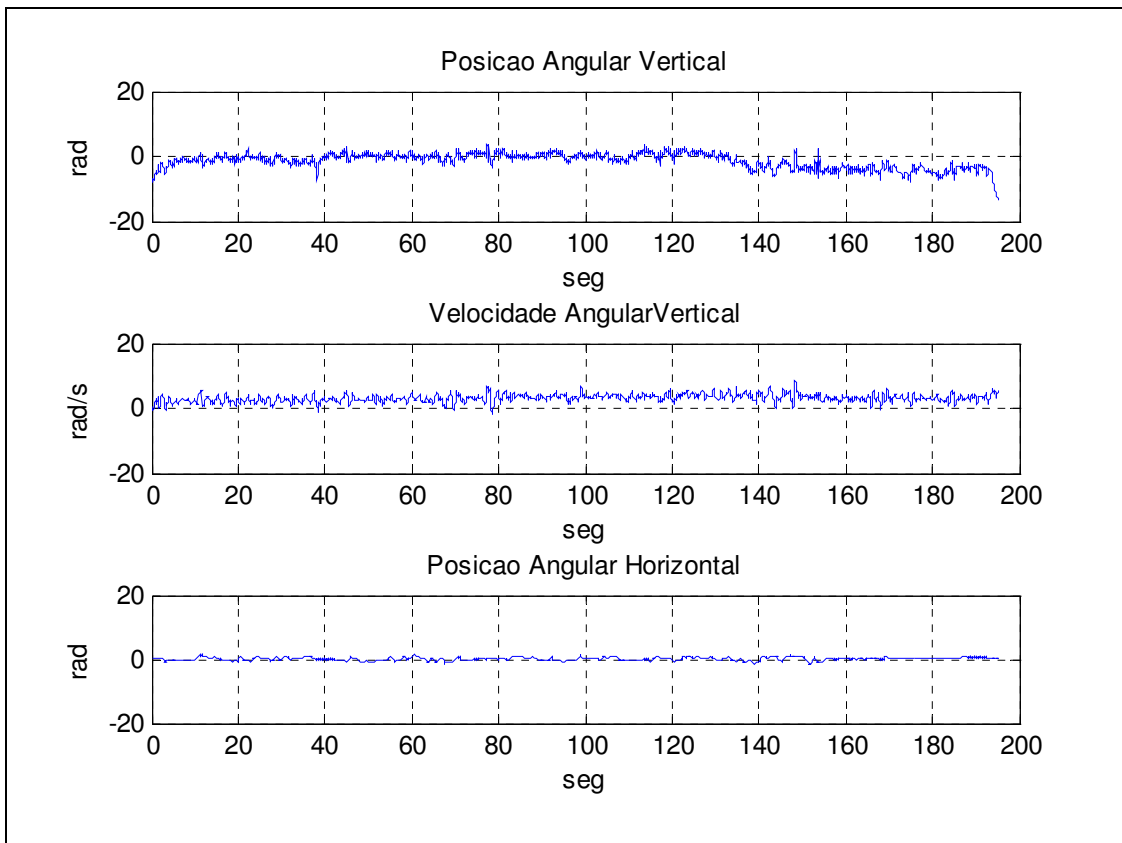


Figura 55: Teste com estratégia de controle Fuzzy com parâmetros de controle $u_{erro}=20$, $u_{derro}=10$ e $u_{out}=100$

Observando as Figuras 53-55, se pode notar que o sistema responde satisfatoriamente, embora tenha perturbações como, por exemplo, numa rampa e mudança de direção. No caso da Figura 53 a perturbação acontece aproximadamente a partir do segundo 70 onde foi feito um cambio de direção, no caso da Figura 54 a perturbação acontece aproximadamente a partir do segundo 140 e no caso da Figura 55 a perturbação acontece aproximadamente a partir do segundo 100. Em todos os casos o sistema ficou estável.

6.3 Teste com o Controle Robusto

Dos múltiplos testes com controle robusto realizados, foram salvos três, nos quais os parâmetros de controle estão de acordo com a Tabela IX.

Tabela IX: Valores dos parâmetros utilizadas no teste de controle Fuzzy

Teste\Parâmetros	$\mu(V)$	λ
I	15	5
II	10	3
III	8	2

onde:

μ : parâmetro de saída do controlador

λ : parâmetro constante de tempo para atingir a superfície desejada de controle

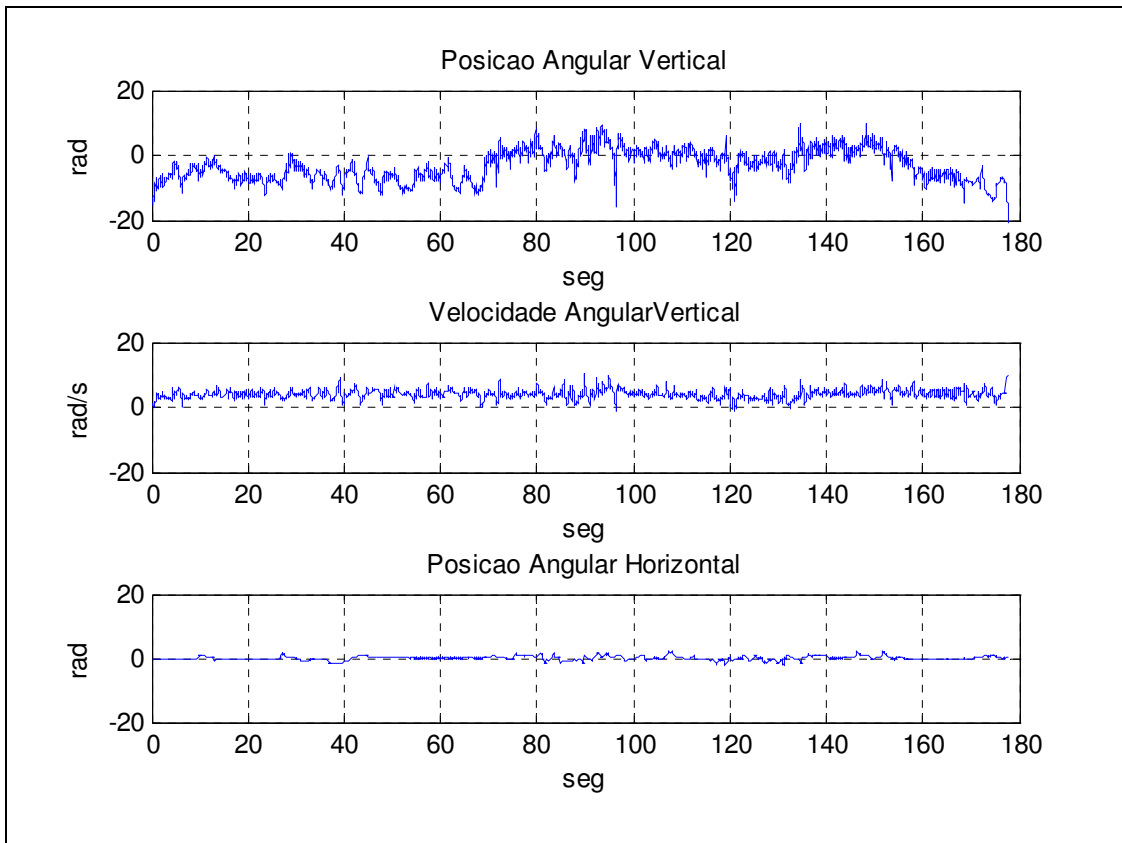


Figura 56: Teste com estratégia de Controle Robusto com parâmetros de controle $\mu=15$ e $\lambda=5$

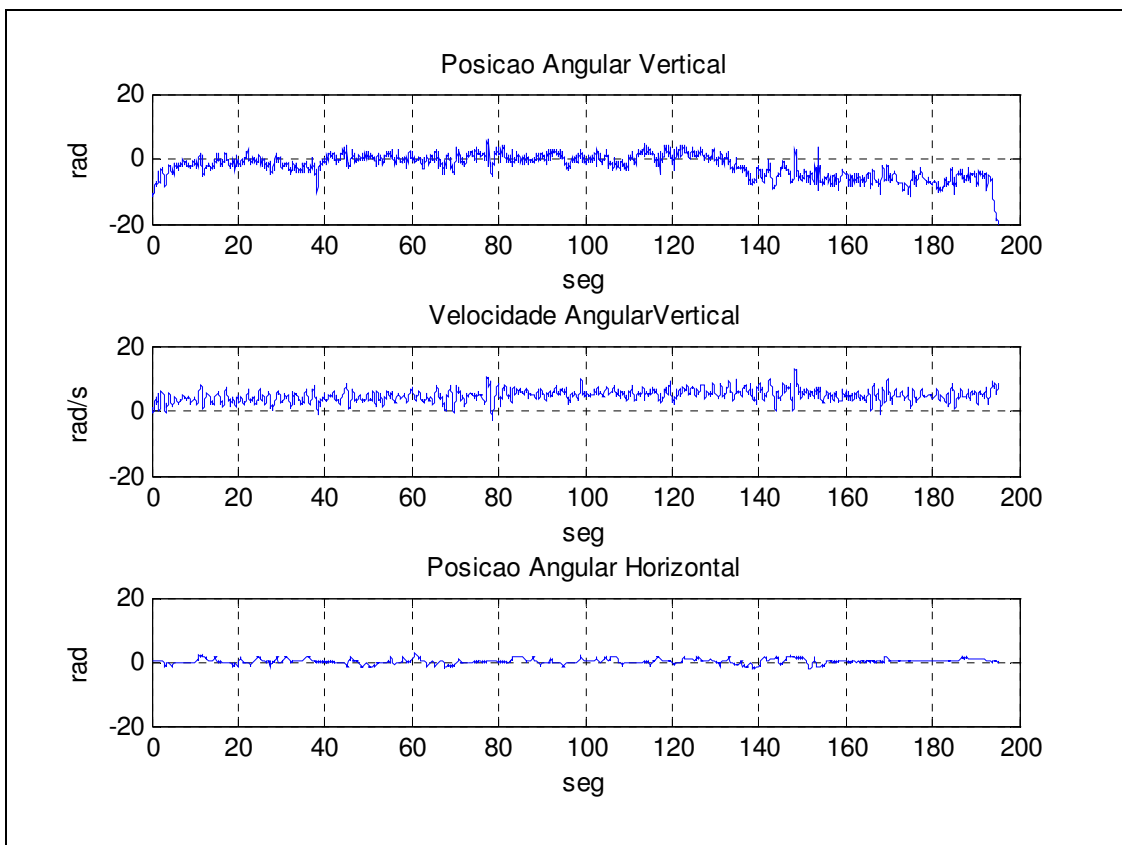


Figura 57: Teste com estratégia de Controle Robusto com parâmetros de controle $\mu=10$ e $\lambda=3$

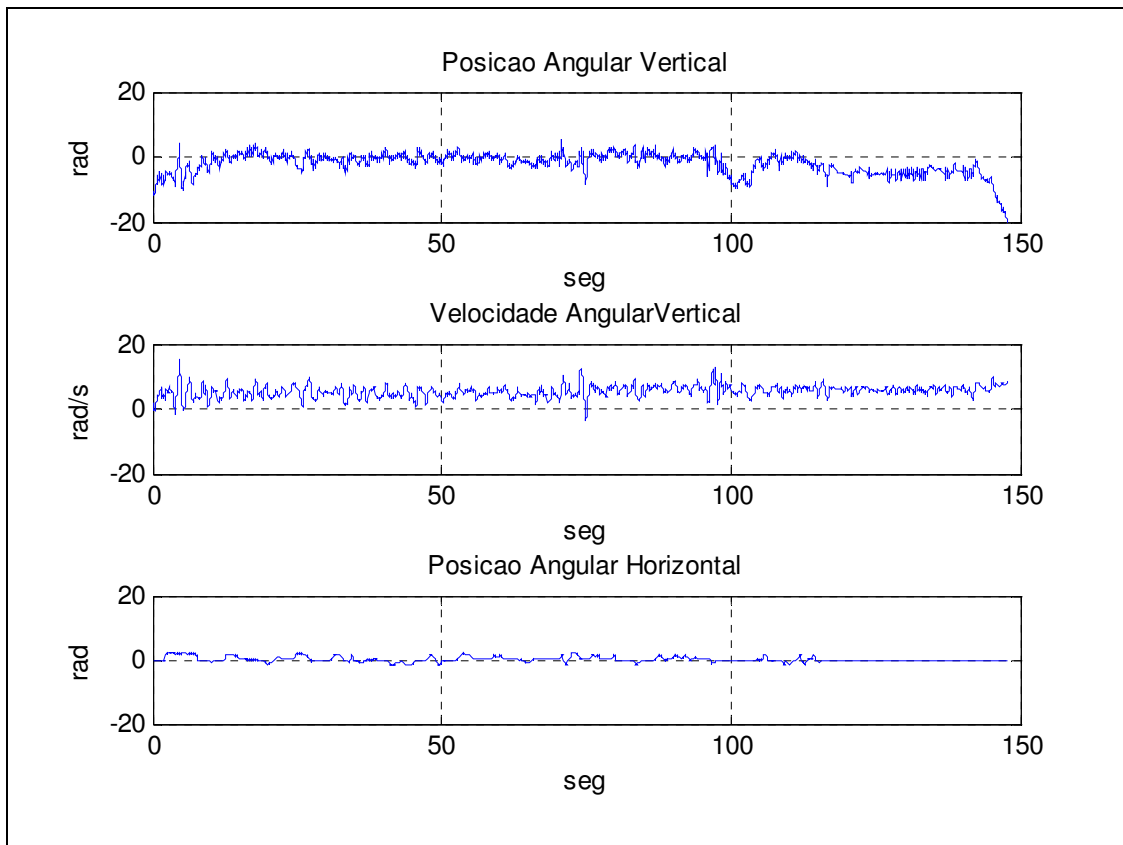


Figura 58: Teste com estratégia de Controle Robusto com parâmetros de controle $\mu=10$ e $\lambda=3$

Observando as Figuras 56 e 57, se pode notar que o sistema responde satisfatoriamente, embora tenha perturbações como, por exemplo, numa rampa o mudança de direção. Todos os casos o sistema ficou estável.

Após apresentar os resultados dos experimentos, podem-se obter conclusões gerais sobre o trabalho, apresentadas no próximo capítulo.