

## 6 Resultados Experimentais

Neste capítulo são apresentados os resultados dos testes das estratégias de controle implementados sobre o TPRE. 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.

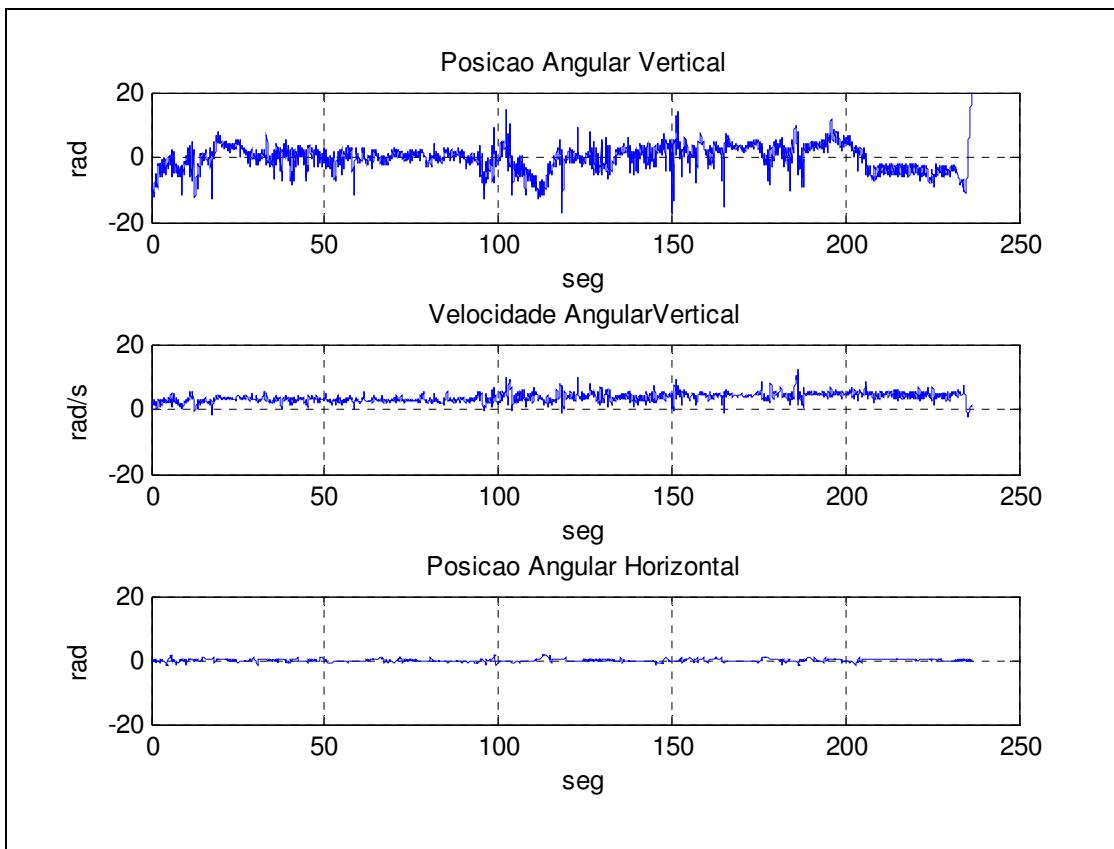
### 6.1 Testes com o PID

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

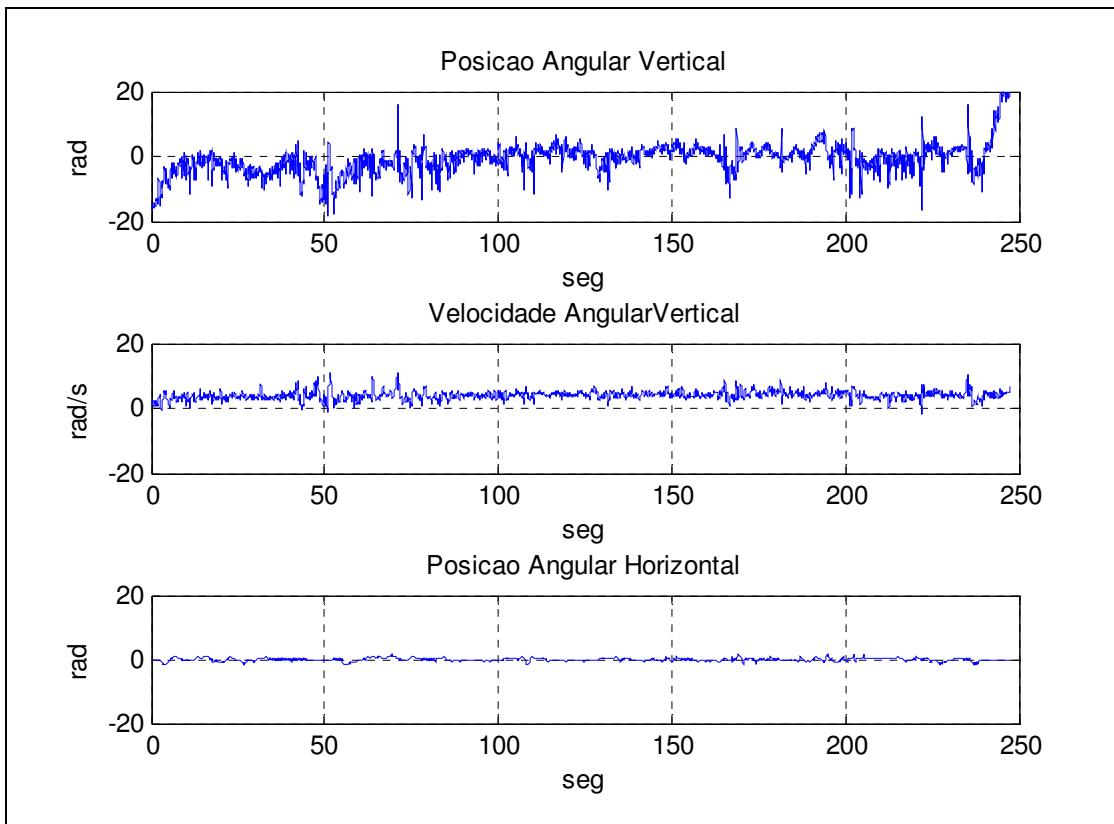
Tabela VII: Valores dos parâmetros utilizadas no teste de controle PID

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

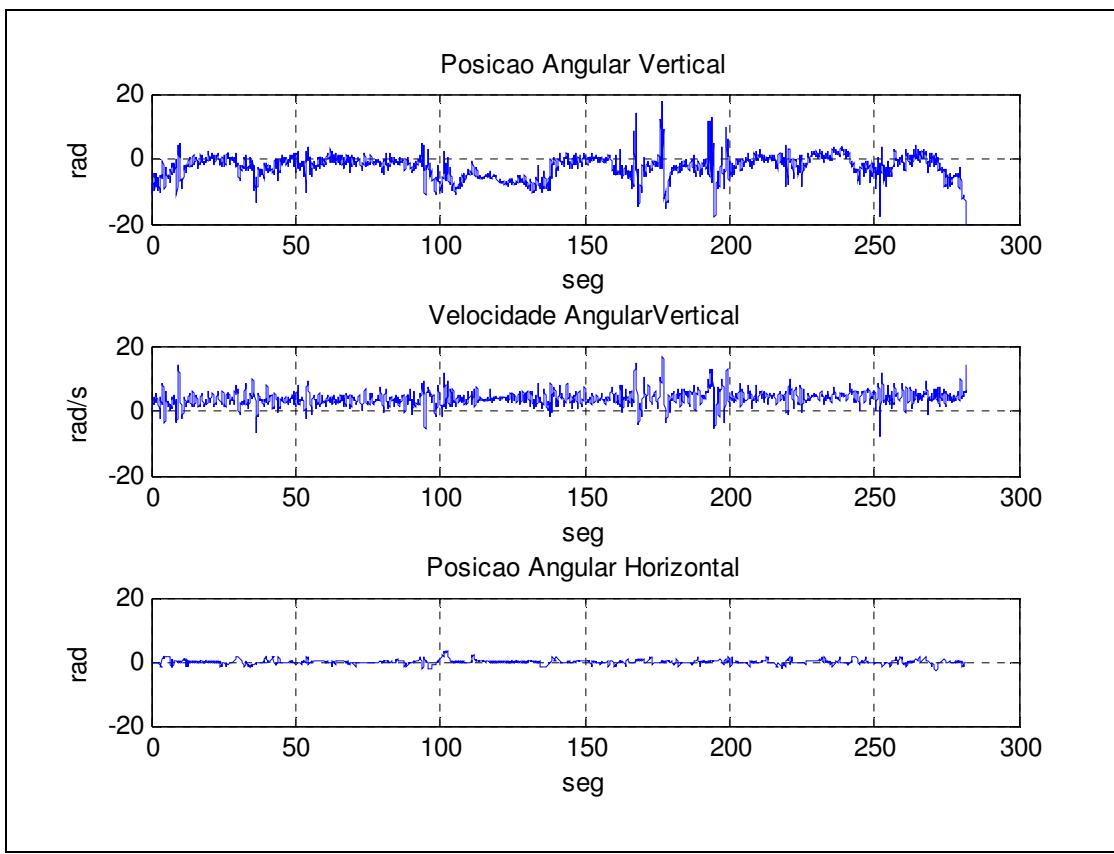
Os resultados dos testes são mostrados a seguir.



**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 quebramolas, onde o TPRE se desligou automaticamente por passar o limite (definido no controlador) da diferença entre o ângulo de referencia e ângulo medido.

## 6.2

### Testes com controle inteligente Fuzzy

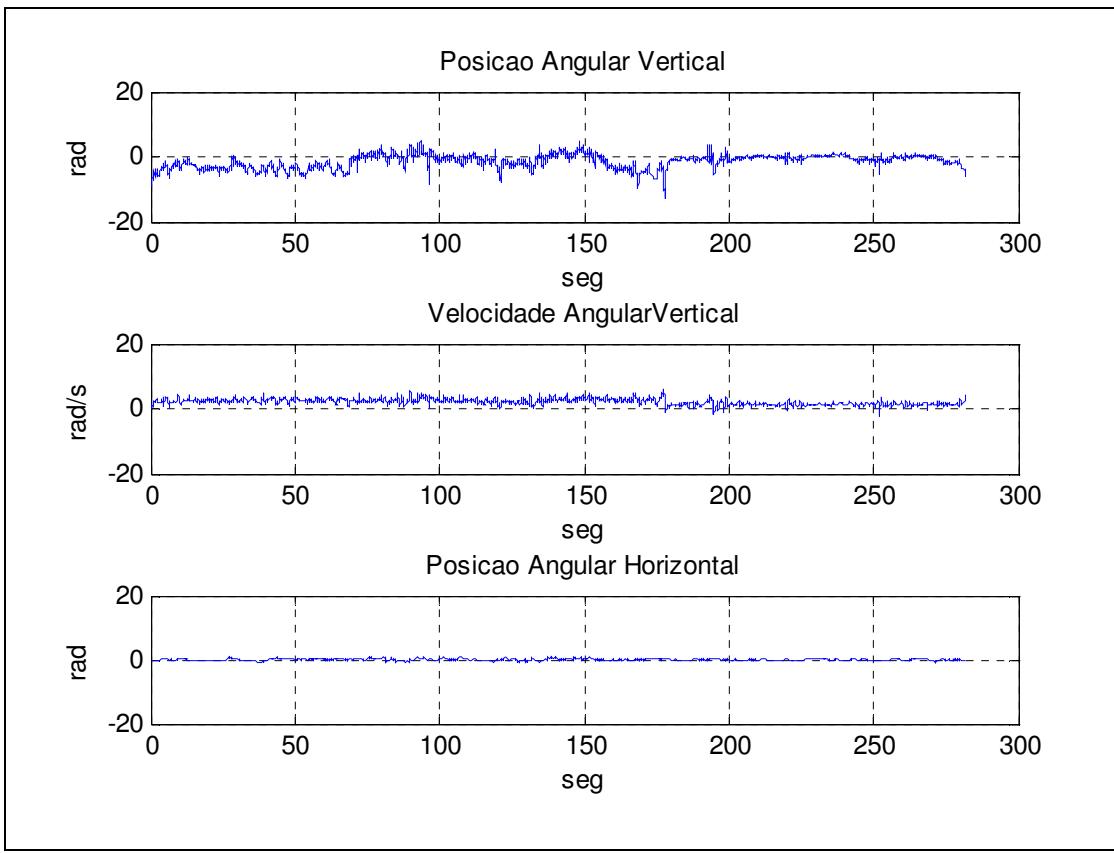
Dos múltiplos testes realizados, foram salvos três, nos quais os parâmetros de controle estão de acordo com a Tabela VIII.

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

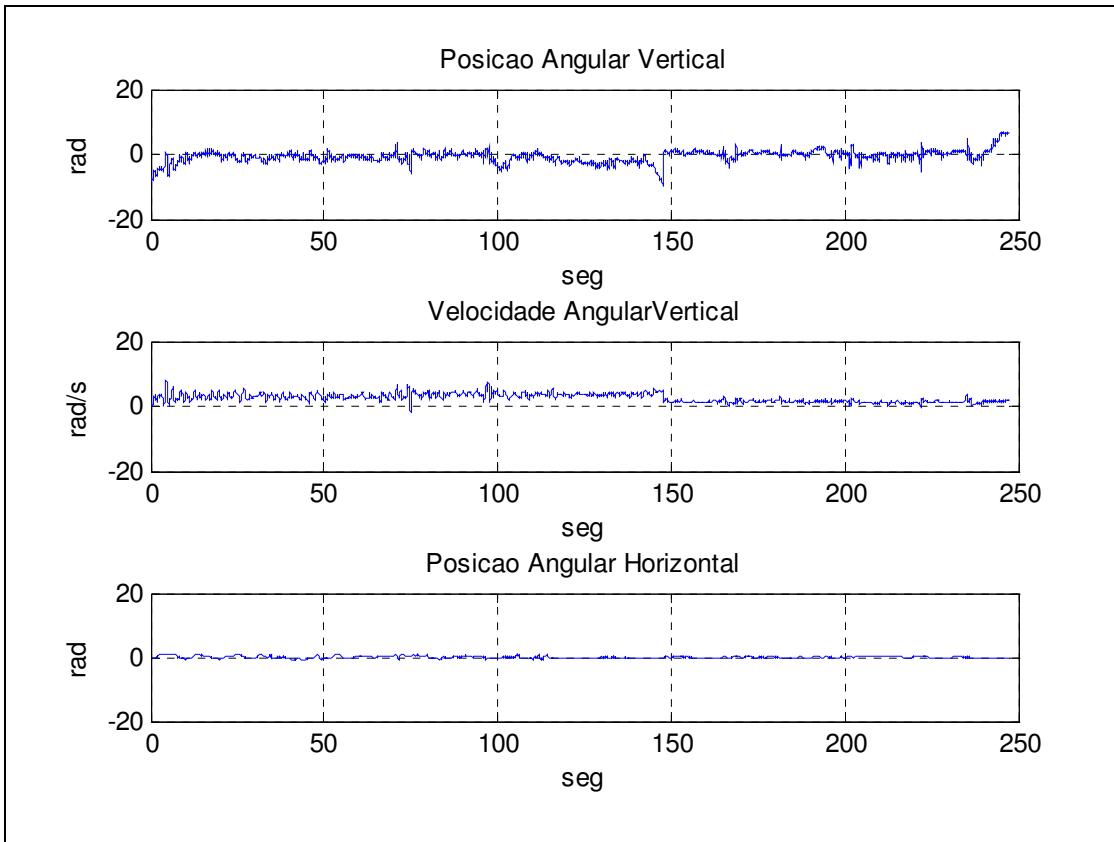
Teste\Parâmetros	$u\_erro(\text{seg})$	$u\_derro(\text{seg/s})$	$u\_out(\text{V})$
I	25	15	100
II	22	13	100
III	20	10	100

onde:

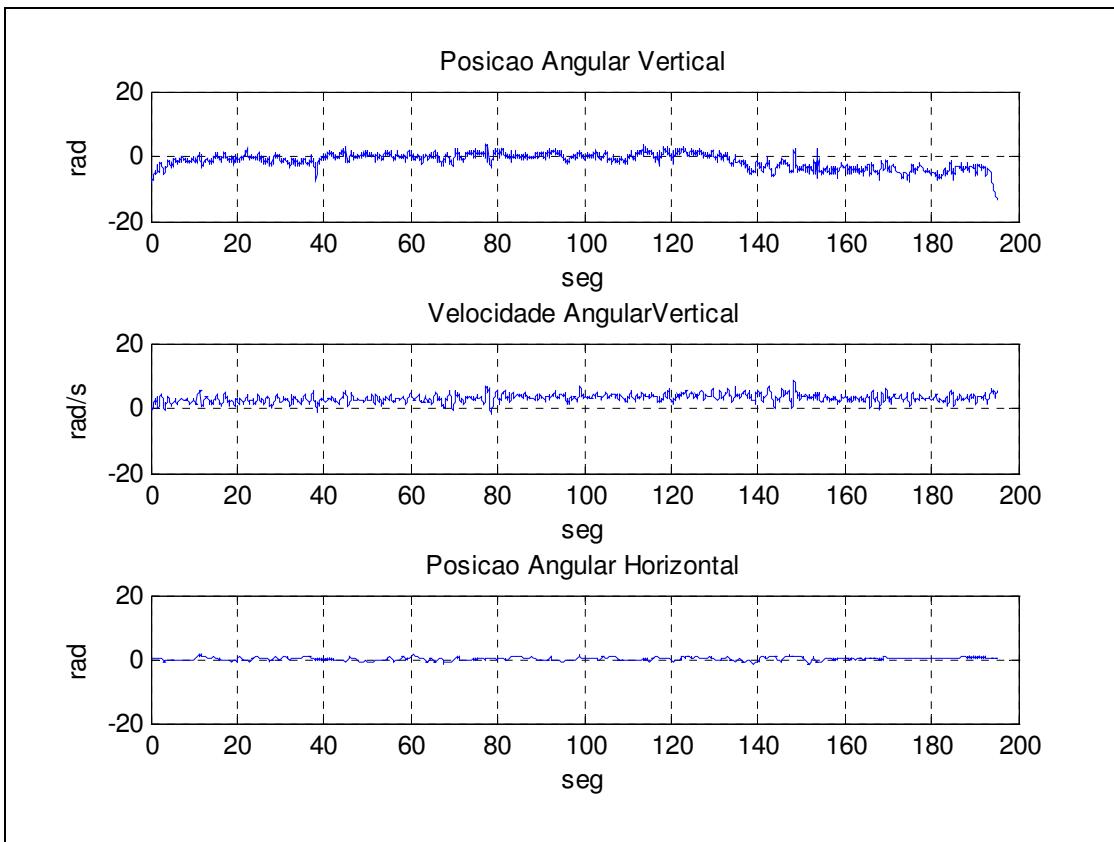
- $u_{erro}$  : limite de universo de discurso para erro da posição angular
- $u_{derro}$  : limite de universo de discurso para a velocidade angular
- $u_{out}$  : limite de universo de discurso para a saída do controlador



**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.

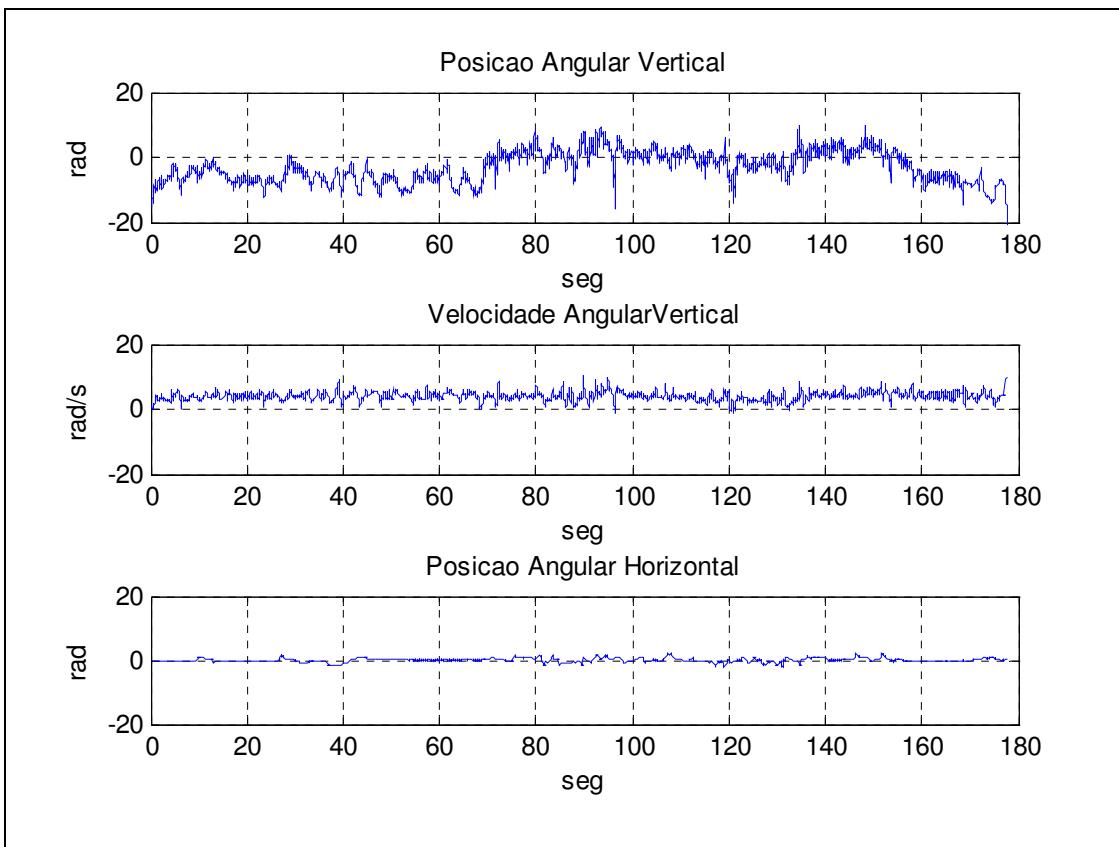
**Tabela IX:** Valores dos parâmetros utilizadas no teste de controle Fuzzy

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

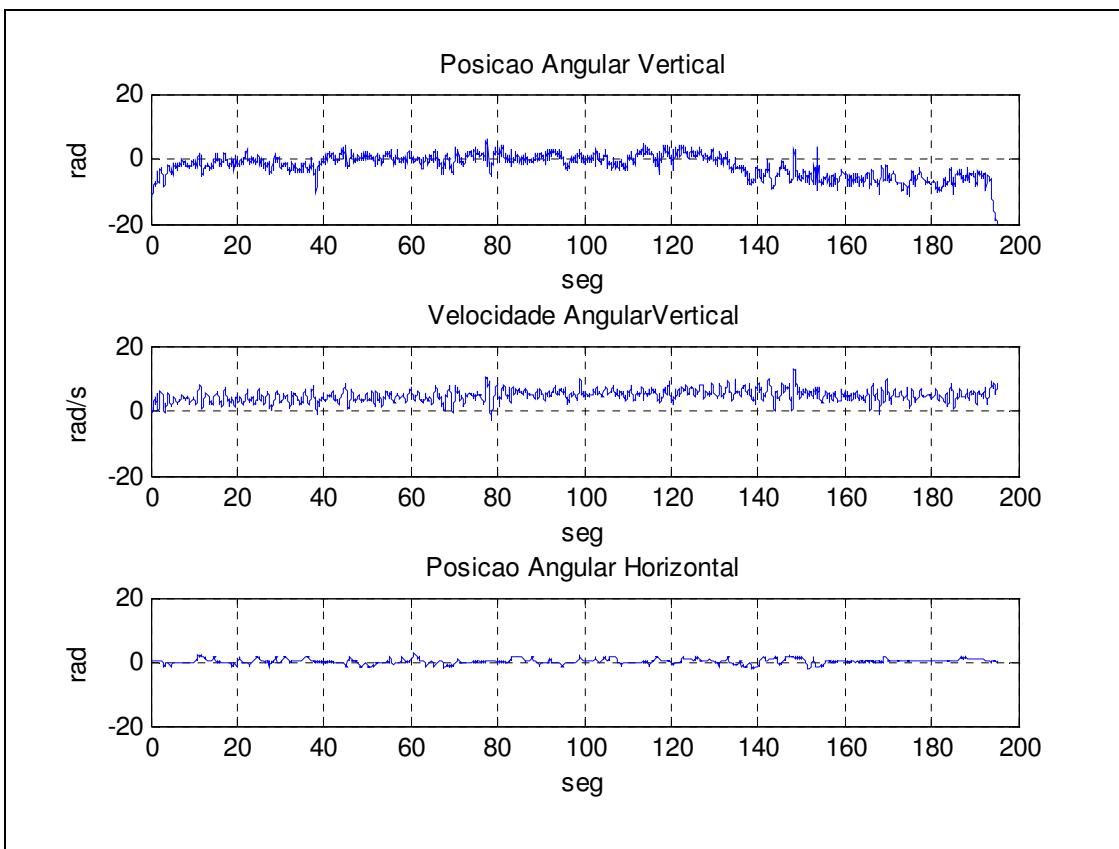
onde:

$\mu$  : parâmetro de saída do controlador

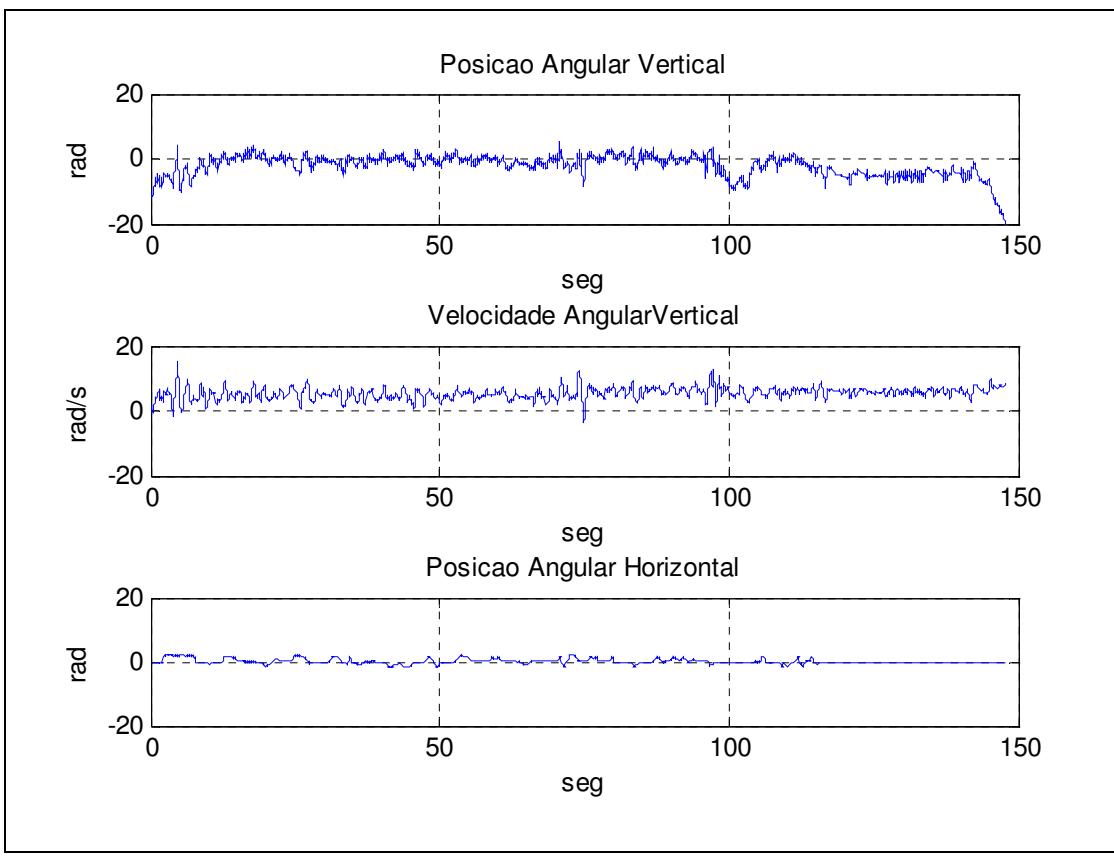
$\lambda$  : parâmetro constante de tempo para atingir a superfície desejada de controle



**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.