

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AERONÁUTICA
SAA0168 - Sistemas de Controle de Aeronaves I

Projeto de Controlador - Drone 2D

Breno Valença - 13730916

João Emílio Bozzi - 13673534

Renan Giovani Farneda - 13673472

Vinicius Formigone dos Santos - 13673576

Professor Glaucio Augusto de Paula Caurin
Monitor Saulo Paz Almeida

São Carlos
9 de julho de 2024

Sumário

1	Introdução	2
2	Objetivos	2
3	Resultados, Discussões e Conclusões	3
3.1	Aplicação de Entrada Padrão para o Modelo Simplificado	3
3.2	Descrição e Caracterização do Modelo	4
3.3	Controlador de altitude	4
3.4	Perda de massa repentina	6
3.5	Controlador de posição	7
4	Anexos	8

Lista de Figuras

1	Diagrama de blocos para o sistema simplificado apenas com entradas degrau	3
2	Valores utilizados na entrada degrau	3
3	Saídas dadas as entradas padrões	3
4	PID para controle de altitude - Representação em blocos	5
5	Saídas para um PID com 1200 de ganho proporcional	5
6	Saídas para um PID com 1320 de ganho proporcional	6
7	Saídas para o drone controlado após sofrer perda de massa no percurso . .	6
8	Saídas depois da calibração do PID	7

1 Introdução

Este projeto reflete os conceitos adquiridos na disciplina de Sistemas de Controle de Aeronaves I em um contexto prático. Isto é, sob posse da planta de uma planta simplificada de um quadricóptero, ou seja, a sua simplificação para o contexto bidimensional, será trabalhado o comportamento do corpo em função da implementação de controladores.

Portanto, este trabalho será estruturado com base na busca estipulada para as perguntas de projeto, as quais serão detalhadas em seus devidos contextos, de maneira que serão tratados resultados práticos e análises teóricas do tema.

2 Objetivos

De forma clara, o objetivo geral deste trabalho é implementar um controlador para controle de altura de um Drone 2D, entender como a perda de massa afeta o sistema e, além disso, esclarecer conceitos teóricos sobre o tema.

3 Resultados, Discussões e Conclusões

3.1 Aplicação de Entrada Padrão para o Modelo Simplificado

Em primeiro lugar, aplicou-se uma entrada degrau igual para ambos os rotores com o intuito de movimentar verticalmente o drone.

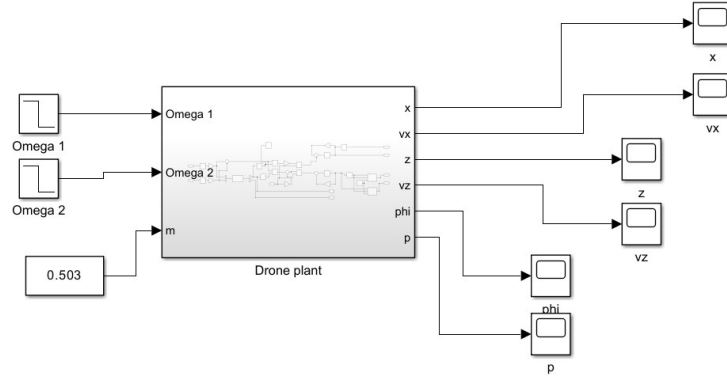


Figura 1: Diagrama de blocos para o sistema simplificado apenas com entradas degrau

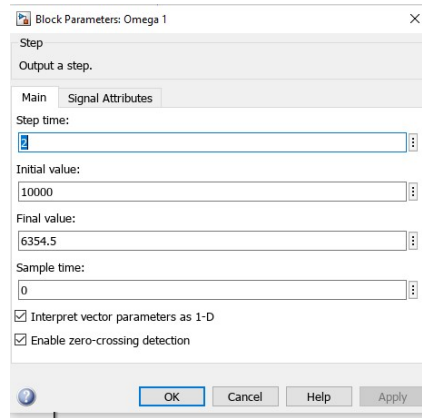


Figura 2: Valores utilizados na entrada degrau



(a) Posição em z



(b) Velocidade em z

Figura 3: Saídas dadas as entradas padrões

Sobre a simulação feita afirma-se, primeiramente, que a altura que o drone se estabiliza, mostrada pela figura 3a, encontra-se quase em 6m, passando da altura que se busca (5m),

neste ponto, destaca-se este resultado como uma consequência das entradas serem um "chute" para a frequência de rotação das hélices, o que repercute em uma dificuldade clara de concretizar a entrada necessária a atingir uma altura específica, por isso, nota-se a necessidade da utilização de um controlador para conclusão do objetivo.

Ademais, é notório que a mudança de posição vertical demora entre 2 e 3 segundos, o que é insatisfatório no contexto em que os drones se inserem, por isso, é válida a preocupação em reduzir o tempo de subida do sistema para aumento de eficiência.

Por fim, quanto o gráfico dado pela figura 3b, ressalta-se que a a posição é a integral da velocidade, nesse contexto, a área abaixo da curva deste parâmetro infere sobre o comportamento de movimentação do corpo, sendo assim, nos próximos passos serão buscadas curvas de velocidade com menor área abaixo delas, visto que este acontecimento repercute na otimização de mudança de posição do drone.

3.2 Descrição e Caracterização do Modelo

Inicialmente, como mostrado na figura 2, o modelo possui duas entradas, dadas pelas frequências impostas aos rotores, e três saídas principais, sendo elas, posição em z, posição em x e rolagem.

Nesse contexto, destaca-se que, em um contexto de movimentos totalmente desacoplados, o drone só é capaz de se movimentar em z ou rotacionar. O primeiro movimento é dado ao gerar mesma frequência de rotação para as hélices, proporcionando empuxo igualitário nas duas extremidades e momento nulo sobre o centro de gravidade, levando a subida ou descida do drone, já o segundo ocorre pelo fornecimento desigual de empuxo entre os rotores, dado por diferentes frequências, que acarreta na rotação.

Assim, percebe-se a incapacidade de controlar o movimento em x para movimentos desacoplados, o que caracteriza o drone como um corpo sub-atuado, isto é, possui mais graus de liberdade do que entradas efetivas ao movimento desacoplado. Entretanto, é válido pontuar que a movimentação em x é possivelmente controlada ao considerar o acoplamento da rotação do corpo com o fornecimento de empuxo paralelo ao eixo z do corpo.

3.3 Controlador de altitude

Com o objetivo de decolar o drone e mante-lo em over a 5m de altura, desenvolveu-se o controle com a utilização de um PID.

Controlador de posição vertical - sem perda de massa

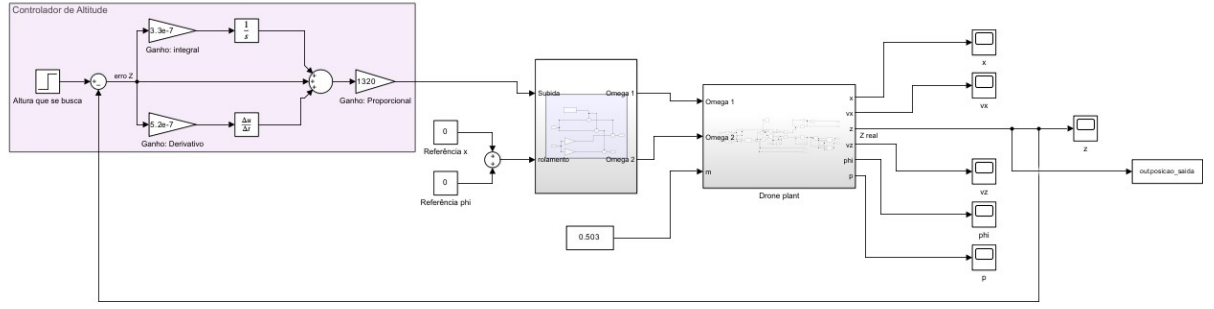


Figura 4: PID para controle de altitude - Representação em blocos

Inicialmente, considerou-se um ganho proporcional de 1200 no PID, alcançando-se os seguintes resultados:

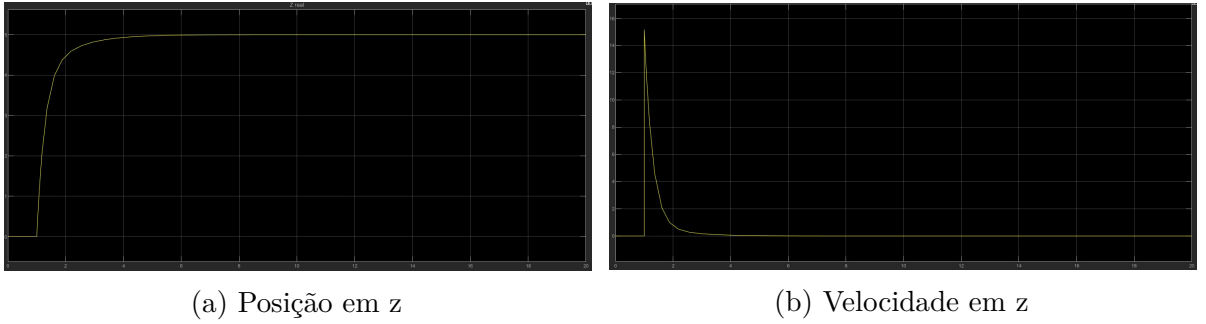


Figura 5: Saídas para um PID com 1200 de ganho proporcional

Neste contexto, são válidas algumas análises. Primeiro, quanto ao objetivo, nota-se que o mesmo foi alcançado pois, como ilustrado em 6a, o drone atinge os 5m e mantém-se em hover na determinada altura, além disso, quando comparamos os gráficos dados pelas figuras 3b e 6b notamos uma redução da área abaixo do gráfico de velocidade, o que repercute na otimização do deslocamento do drone com a implementação do controlador.

Sobre a pauta do erro em regime, é possível notar que ele é nulo em regime estacionário (resultado confirmado pela leitura do arquivo de saídas), tal resultado é uma consequência da desconsideração de outros parâmetros no modelo simplificado, como fenômenos naturais.

Em pontuação negativa, destaca-se o tempo de subida obtido, o qual mostrou-se em torno de 3 segundos, o que vai em desacordo ao esperado para o tempo de resposta para um drone. Sob essa ótica, estudou-se a variação dos parâmetros do PID, chegando-se a uma configuração mais condizente ao contexto ao passar o ganho proporcional para 1320, alcançando os resultados dados na figura 6.

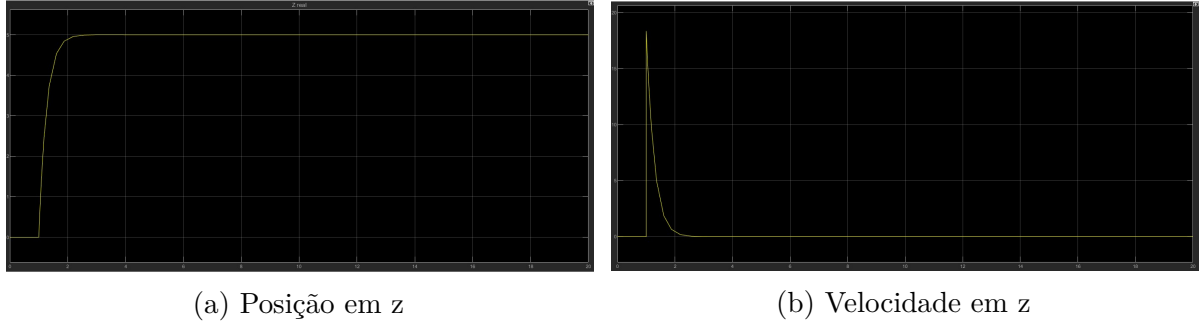


Figura 6: Saídas para um PID com 1320 de ganho proporcional

Portanto, conclui-se que na disposição final o tempo de subida dura pouco mais de um segundo, de forma que o resultado agora mostre maior eficiência para o controle da subida do drone, sendo esta afirmação também confirmada por uma leve redução da área abaixo do gráfico de velocidade, quando comparada à curva de velocidade do caso com PID com ganho proporcional de 1200.

3.4 Perda de massa repentina

Foi projetada uma entrada degrau que passa a massa de 503g para 430g no instante de tempo igual a 5s. Obtendo-se os novos resultados de posição e velocidade em z ilustrados abaixo.

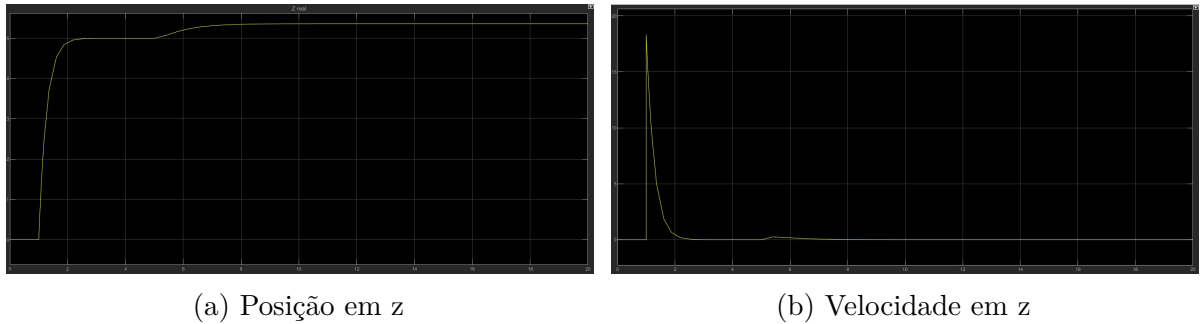


Figura 7: Saídas para o drone controlado após sofrer perda de massa no percurso

Sob posse dos gráficos acima, percebe-se que ao sofrer uma perda de massa no instante de 5 segundos o drone estabelece-se em uma nova altura de hover.

Nesse contexto, o que acontece é uma consequência do projeto estruturado até aqui, isto é, o desenvolvimento visa controlar o empuxo gerado pelos rotores para alcançar a altura estipulada com base em uma massa fixa do corpo. Então, pode-se dizer que o projeto de controlador estruturado não conta com a possibilidade de perda de massa para retornar o drone à posição requerida de 5m pois, caso estivesse, ocorreria uma variação de altitude em decorrência da perda de massa e, posteriormente, a tendência a retornar a posição esperada. Entretanto, o controlador não foi otimizado para este fim por não

tratar-se do objeto de estudo, sendo visado aqui apenas o entendimento do comportamento ocasionado por tal perturbação.

3.5 Controlador de posição

Para o controlador de posição, foi utilizados dois controladores PID, um para posição x e outra para a rolagem ϕ , já que os dois parâmetros estão diretamente relacionados pois o movimento em x é causado pelo ângulo dos motores. Dessa forma, o projeto é muito semelhante ao projeto de controle de altura, mudando apenas o raciocínio devido a dependência de dois parâmetros.

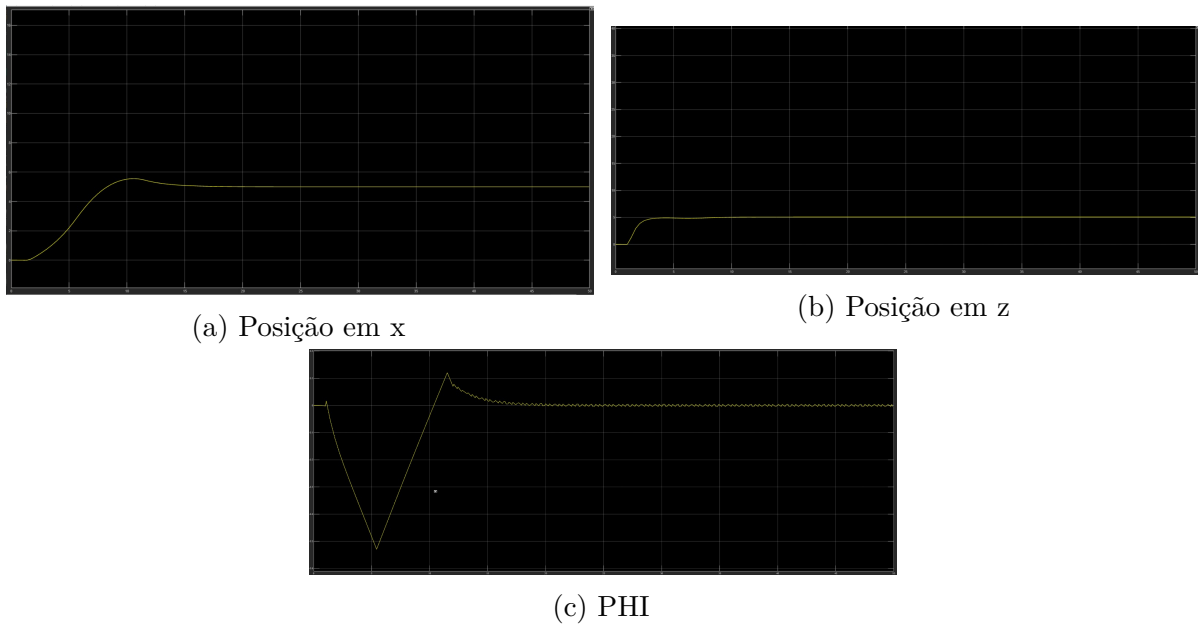


Figura 8: Saídas depois da calibração do PID

Com os parâmetros de desempenho na Tabela 1, foi necessário uma acomodação mais lenta até a posição de 5m. Caso contrário, uma acomodação mais rápida causaria uma rotação excessiva do drone, podendo até rotacionar > 180 deg.

Etapa	P	I	D
Erro X	70	0	5
Erro ϕ	30	0	65

Tabela 1: Tabela de Erros

Além disto, utilizou-se uma saturação na saída do PID, limitando a diferença de potência nos pares de motores, evitando também uma rotação excessiva. A pequena oscilação em ϕ pode ser solucionada incrementando o termo D ou I , mas infelizmente o sistema não converge com valores acima dos escolhidos.

4 Anexos

Todos o desenvolvimento programacional utilizado nas análises está presente em: <https://drive.google.com/file/d/1mxlc-IzsPlXVr92vujXvYv4K-Bf00QoY/view?usp=sharing>.