

PME 3380 – Modelagem de Sistemas Dinâmicos

Modelagem de um veículo submarino operado
remotamente – ROV

Evandro Uehara Viaro - 4364056
Gabriel Apicella Giannoni - 9348290
José Felipe Félix Rafael - 10333139





Introdução e Objetivos

Modelagem

Análises

Referências Bibliográficas

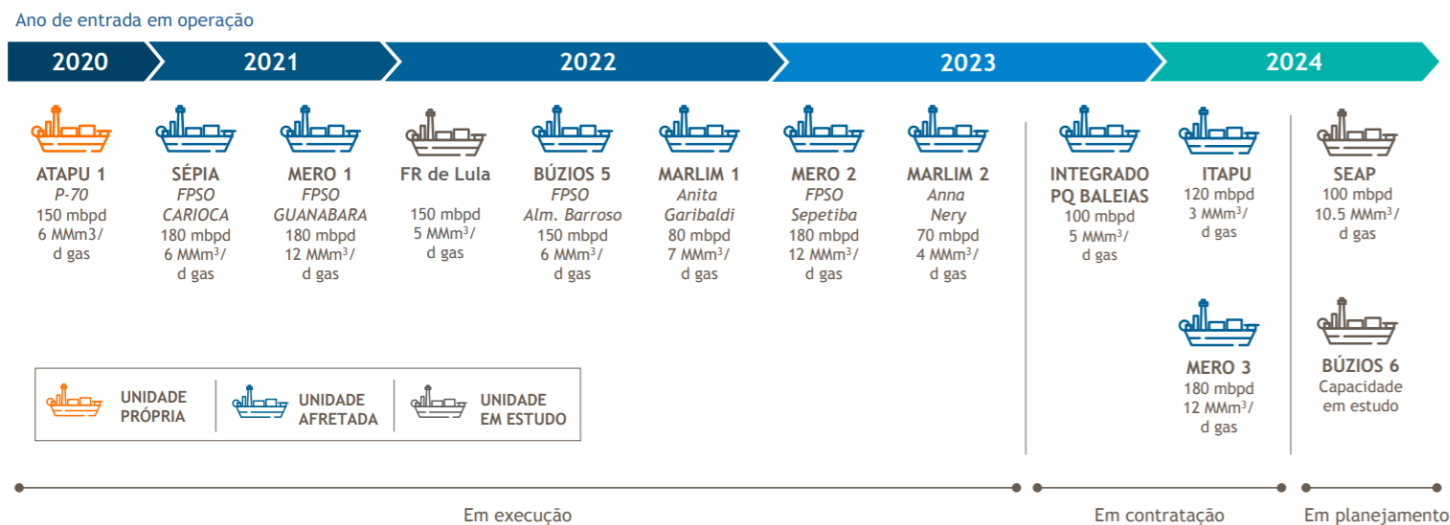
ROVs são equipamentos com sistemas sensoriais usados para a coleta de informações, ampliando o conhecimento de ambientes aquáticos, marítimos ou fluviais, desempenhando diversas funções sem a necessidade de exposição de humanos à risco.

O Brasil utiliza ROV sofisticados há algum tempo, em especial no estudo, transporte, instalação e recuperação de equipamentos de poços petrolíferos. Apesar de existir demanda, há carência desse produto no país devido à inexistência de produtores domésticos comerciais.

ROV



Petrobras: cronograma de entrada de novas plataformas





Introdução e Objetivos

Modelagem

Análises

Referências Bibliográficas

Hipóteses

- Corpo infinitamente rígido, com massa uniformemente distribuída e constante;
- Centro de gravidade coincidente com o centro geométrico;
- Origem do sistema móvel coincide com o centro de gravidade;
- Corpo modelado realiza trajetória exclusivamente em um plano fixo horizontal;
- Forças provenientes do umbilical são desprezíveis;
- Empuxo com módulo igual ao peso;
- Possíveis forças decorrentes da rotação terrestre tratadas como desprezíveis;
- O fluido (água) é estático, portanto possui velocidade de corrente nula;

O movimento estudado será somente no plano horizontal, resultando em 3 graus de liberdade e 6 variáveis de estado de interesse. Dessa forma, o sistema a ser trabalhado é de sexta ordem.

Variáveis de interesse

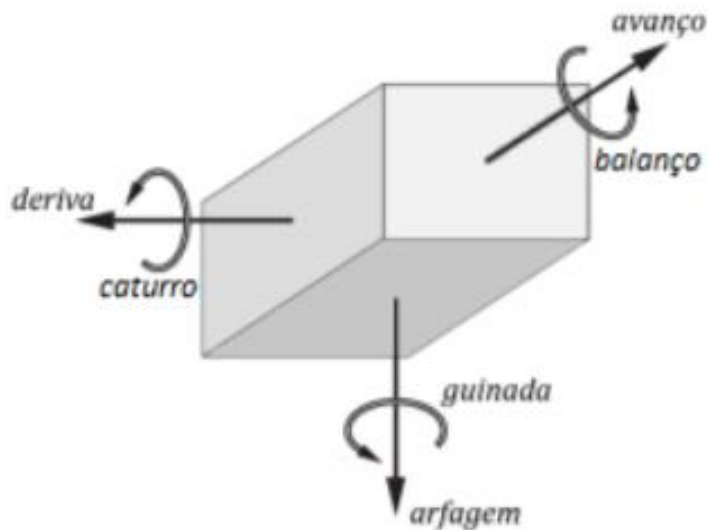
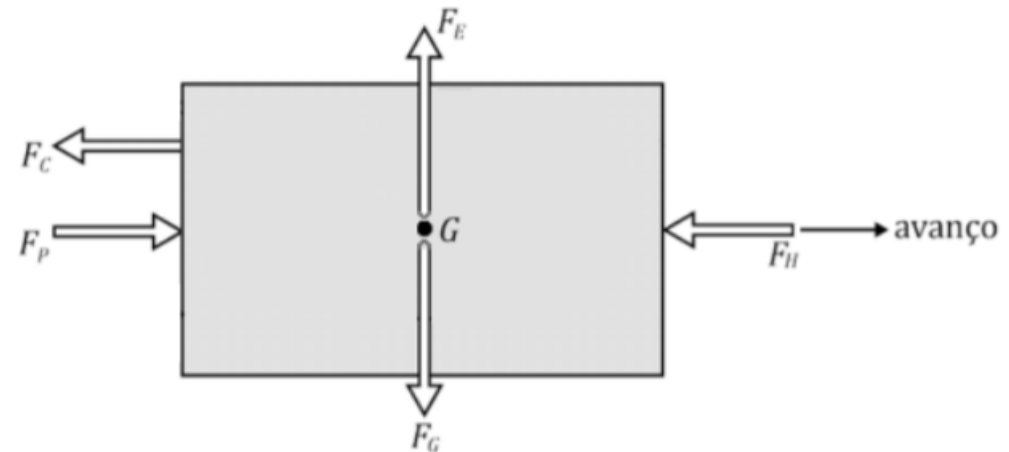


Diagrama de Corpo Livre



- F_g : força peso;
- F_e : força de empuxo;
- F_h : força de arrasto hidrodinâmico;
- F_p : força dos propulsores;
- F_c : força do cabo umbilical.

Definição das equações dinâmicas do R.O.V

Avanço e Deriva

- Desenvolvimento inicial da Segunda Lei de Newton,
- Aplicando hipóteses simplificadoras.

$$\mathbf{F} = m \frac{d\mathbf{U}_G}{dt} = m \frac{d\mathbf{U}_O}{dt} = m \frac{d(u\hat{\mathbf{i}} + v\hat{\mathbf{j}})}{dt} = m \left(\frac{d(u)}{dt} \hat{\mathbf{i}} + \frac{d(\hat{\mathbf{i}})}{dt} u + \frac{d(v)}{dt} \hat{\mathbf{j}} + \frac{d(\hat{\mathbf{j}})}{dt} v \right)$$



$$\begin{aligned} X &= m[\dot{u} - vr] \\ Y &= m[\dot{v} + ur] \\ Z &= 0 \end{aligned}$$

Guinada

- De forma semelhante, para o movimento de rotação, utiliza-se o TQMA;
- Aplicando as hipóteses simplificadoras

$$\mathbf{H}_G = [\hat{\mathbf{i}} \hat{\mathbf{j}} \hat{\mathbf{k}}] \begin{bmatrix} I_x & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{yx} & I_y & -I_{yz} \\ -I_{zx} & -I_{zy} & I_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = [\hat{\mathbf{i}} \hat{\mathbf{j}} \hat{\mathbf{k}}] \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ r \end{bmatrix} = I_z r \hat{\mathbf{k}}$$



$$\begin{aligned} K &= 0 \\ M &= 0 \\ N &= I_z \dot{r} \end{aligned}$$

Definição das equações dinâmicas do R.O.V

Equação da Resultante

- A partir das equações dinâmicas é necessário determinar as forças e momentos atuantes no R.O.V.
- Fluido estático, não há ondas, são identificadas três forças: proveniente da inércia do fluido, viscosidade, ao peso e empuxo.

$$\underbrace{\tau_R}_{\text{Resultante}} = - \underbrace{(M_A \dot{\mathbf{v}} + C_A(\mathbf{v})\mathbf{v})}_{\text{Massa adicionada}} - \underbrace{D(\mathbf{v})\mathbf{v}}_{\text{Amortecimento hidrodinâmico}} - \underbrace{\tau_P}_{\text{Propulsores}}$$

Resultado Final

- As matrizes de massa adicionada e amortecimento hidrodinâmico são definidas pelo Fossen (1994).
- A matriz referente as forças de propulsores se limitará as forças de avanço, deriva e ao momento de guinada.
- O resultado será uma equação para os eixos X, Y e N.

$$\begin{cases} X = -X_{\dot{u}}\dot{u} + Y_{\dot{v}}vr - (X_u + X_{u|u}|u|)u + F_{pu} \\ Y = -Y_{\dot{v}}\dot{v} - X_{\dot{u}}ur - (Y_v + Y_{v|v}|v|)v + F_{pv} \\ N = -N_{\dot{r}}\dot{r} + (X_{\dot{u}} - Y_{\dot{v}})uv - (N_r + N_{r|r}|r|)r + T_{pr} \end{cases}$$

Definição das equações dinâmicas do R.O.V

Equacionamento

Resultado Final

Uma vez que já possuímos as equações de força para cada eixo de interesse, basta voltar no equacionamento anterior.

Após algumas manipulações matemáticas, chega-se a equação final do ROV.

$$\begin{aligned} X &= m[\dot{u} - vr] & K &= 0 \\ Y &= m[\dot{v} + ur] & M &= 0 \\ Z &= 0 & N &= I_z \dot{r} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_u \dot{u} - m_v vr + X_u u + X_{u|u}|u| - F_{pu} &= 0 \\ m_v \dot{v} + m_u ur + Y_v v + Y_{v|v}|v| - F_{pv} &= 0 \end{aligned}$$

$$I_r \dot{r} - (m_u - m_v)uv + N_r r + N_{r|r}|r| - T_{pr} = 0$$

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - vr) &= -X_u \dot{u} + Y_v vr - (X_u + X_{u|u}|u|)u + F_{pu} \\ m(ur + \dot{v}) &= -Y_v \dot{v} - X_u ur - (Y_v + Y_{v|v}|v|)v + F_{pv} \\ I_z \dot{r} &= -N_r \dot{r} + (X_u - Y_v)uv - (N_r + N_{r|r}|r|)r + T_{pr} \end{aligned}$$

Linearização das Equações

Conceito

- A linearização do sistema é uma ferramenta prática para o estudo em questão, pois por meio da mesma é possível utilizar técnicas de resolução simplificadas, permitindo incorporar então ferramentas tais como funções de transferência, e o uso de diagramas de blocos.
- Definidas as equações isolando os termos da aceleração (correspondente à derivada temporal das velocidades uvw), e feito o desenvolvimento das equações não-lineares obtidas nos itens anteriores por meio de uma expansão em séries de Taylor, obtém-se então os procedimentos dos subitens a seguir

Passo a Passo

- Séries de Taylor.

$$f(x) \approx \sum_{i=0}^n \frac{f^{(i)}(a)}{i!} (x - a)^i \quad (1)$$

$$f(x, y) \approx \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} \frac{\frac{d^{(i+j)} f}{dx^i dy^j}(a, b)}{i! j!} (x - a)^i (y - b)^j \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} \sum_{k=0}^{n-i-j} \sum_{m=0}^{n-i-j-k} \frac{1}{i! j! k! m!} \frac{\partial^{(i+j+k+m)} f(a, b, c, d)}{\partial x^i \partial y^j \partial z^k \partial w^m} (x - a)^i (y - b)^j (z - c)^k (w - d)^m \quad (3)$$

$$f(a, b, c, d) + \frac{\partial f(a, b, c, d)}{\partial x} (x - a) + \frac{\partial f(a, b, c, d)}{\partial y} (y - b) + \frac{\partial f(a, b, c, d)}{\partial z} (z - c) + \frac{\partial f(a, b, c, d)}{\partial w} (w - d) \quad (4)$$

Linearização das Equações

Trajétoria Nominal

Sistema Linearizado

- A trajetória nominal, no contexto deste projeto, se refere ao caminho determinado previamente a ser percorrido pelo veículo operado remotamente. Não possui uma forma que possa ser previamente descrita, uma vez que depende de seu contexto e uso.

- Por fim, o sistema linearizado pode ser definido como:

$$\begin{aligned} u_{nom} &= \bar{u} \\ v_{nom} &= \bar{v} \\ r_{nom} &= \bar{r} \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} m_u & 0 & 0 \\ 0 & m_v & 0 \\ 0 & 0 & I_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \dot{u} \\ \delta \dot{v} \\ \delta \dot{r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (X_u + X_{u|u}|2|\bar{u}|) & -m_v \bar{r} & -m_v \bar{u} \\ m_u \bar{r} & (Y_v + Y_{v|v}|2|\bar{v}|) & m_u \bar{u} \\ (m_v - m_u) \bar{v} & (m_u - m_v) \bar{u} & N_r + N_{r|r}|2|\bar{r}| \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta u \\ \delta v \\ \delta r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta F_{pu} \\ \delta F_{pv} \\ \delta T_{pr} \end{bmatrix}$$

- Com os valores nominais, é possível utilizar as séries de Taylor

$$\dot{u} = \dot{u}(u, v, r, F_{pu}) = \frac{1}{m_u} (m_v v r - X_u u - X_{u|u}|u| + F_{pu})$$

$$\dot{v} = \dot{v}(u, v, r, F_{pv}) = \frac{1}{m_v} (-m_u u r - Y_v v - X_{v|v}|v| + F_{pv})$$

$$\dot{r} = \dot{r}(u, v, r, T_{pr}) = \frac{1}{I_r} [(m_u - m_v) u v - N_r r - N_{r|r}|r| + T_{pr}]$$

Linearização das Equações

Trajétoria Nominal

Sistema Linearizado

A trajetória nominal, no contexto deste projeto, se refere ao caminho determinado previamente a ser percorrido pelo veículo operado remotamente. Não possui uma forma que

possa ser
seu conteúdo

$$\begin{bmatrix} m_u & 0 & 0 \\ 0 & m_v & 0 \\ 0 & 0 & I_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \dot{u} \\ \delta \dot{v} \\ \delta \dot{r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (X_u + X_{u|u}|2|\bar{u}|) & -m_v \bar{r} & -m_v \bar{u} \\ m_u \bar{r} & (Y_v + Y_{v|v}|2|\bar{v}|) & m_u \bar{u} \\ (m_v - m_u) \bar{v} & (m_u - m_v) \bar{u} & N_r + N_{r|r}|2|\bar{r}| \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta u \\ \delta v \\ \delta r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta F_{pu} \\ \delta F_{pv} \\ \delta T_{pr} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} u_{nom} &= \bar{u} \\ v_{nom} &= \bar{v} \\ r_{nom} &= \bar{r} \end{aligned}$$

Por fim, o sistema linearizado pode ser definido como:

$$\begin{bmatrix} m_u & 0 & 0 \\ 0 & m_v & 0 \\ 0 & 0 & I_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \dot{u} \\ \delta \dot{v} \\ \delta \dot{r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (X_u + X_{u|u}|2|\bar{u}|) & -m_v \bar{r} & -m_v \bar{u} \\ m_u \bar{r} & (Y_v + Y_{v|v}|2|\bar{v}|) & m_u \bar{u} \\ (m_v - m_u) \bar{v} & (m_u - m_v) \bar{u} & N_r + N_{r|r}|2|\bar{r}| \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta u \\ \delta v \\ \delta r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta F_{pu} \\ \delta F_{pv} \\ \delta T_{pr} \end{bmatrix}$$

Com os valores nominais, é possível utilizar as séries de Taylor

$$\dot{u} = \dot{u}(u, v, r, F_{pu}) = \frac{1}{m_u} (m_v v r - X_u u - X_{u|u}|u| + F_{pu})$$

$$\dot{v} = \dot{v}(u, v, r, F_{pv}) = \frac{1}{m_v} (-m_u u r - Y_v v - X_{v|v}|v| + F_{pv})$$

$$\dot{r} = \dot{r}(u, v, r, T_{pr}) = \frac{1}{I_r} [(m_u - m_v) u v - N_r r - N_{r|r}|r| + T_{pr}]$$

Espaços de Estados

Conceito

Passo a Passo

- A representação de um sistema linearizado no espaço de estados, necessita de alguns termos para ser adequada. A mesma pode, portanto, ser representada pelo sistema de equações abaixo, cujos termos são matrizes

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx + Du$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \\ \dot{x}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{X_u + 2X_{u|u}|\bar{u}|}{m_u} & 0 & \frac{m_v \bar{r}}{m_u} & 0 & \frac{m_u \bar{v}}{m_u} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{m_u \bar{r}}{m_v} & 0 & -\frac{Y_v + 2Y_{v|v}|\bar{v}|}{m_v} & 0 & -\frac{m_u \bar{u}}{m_v} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{(m_u - m_v)|\bar{v}|}{I_r} & 0 & \frac{(m_u - m_v)|\bar{u}|}{I_r} & 0 & -\frac{N_r + 2N_{r|r}|\bar{r}|}{I_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{m_u} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{m_v} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{I_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix}$$

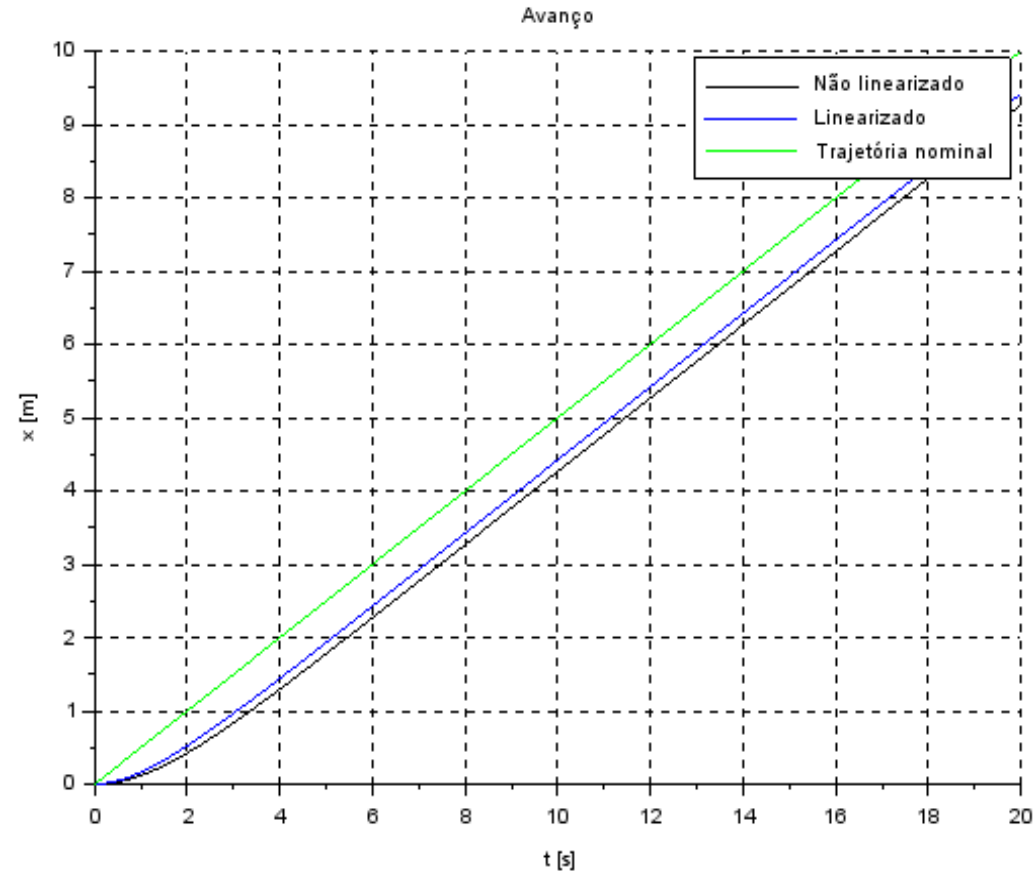
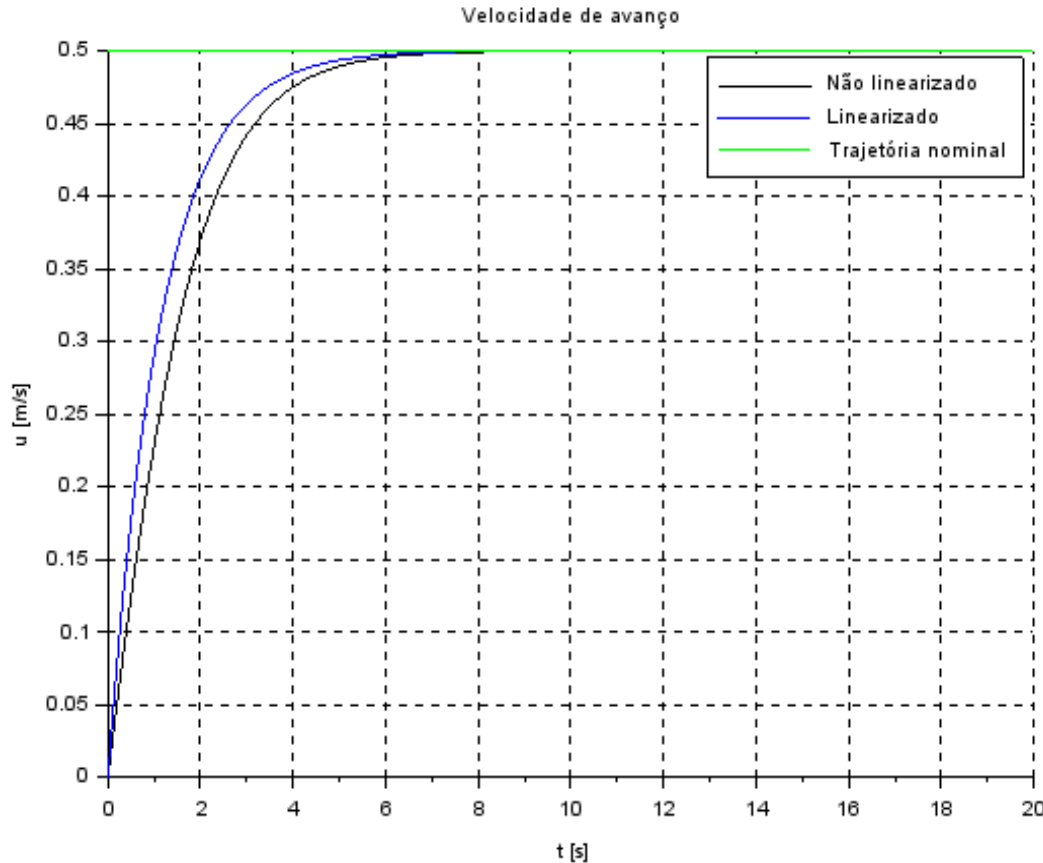
$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix}$$



Análises do Grupo

Comparação entre linearizado e não linearizado

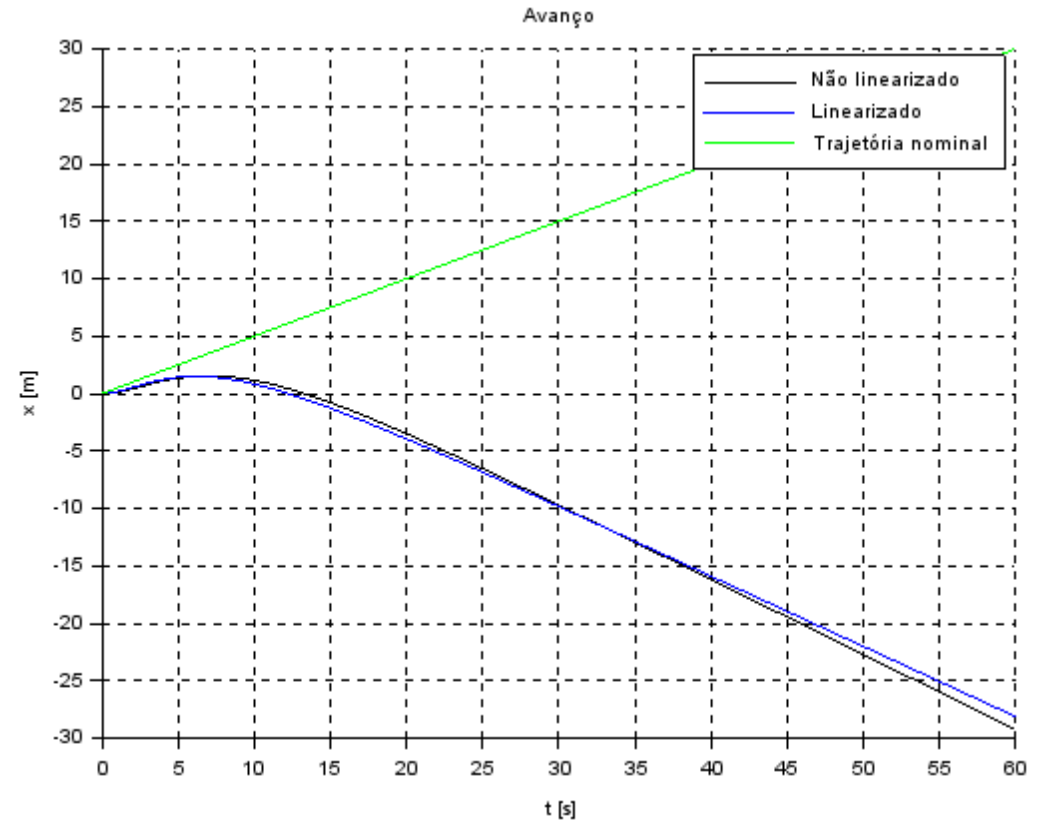
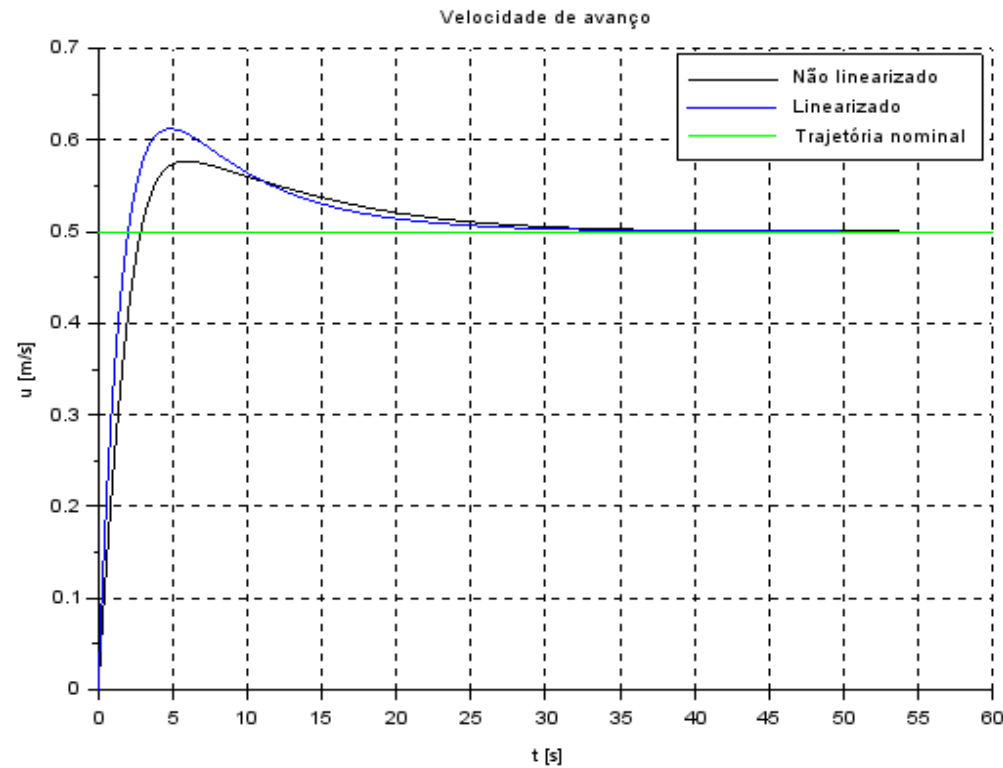
1 - Avanço não nulo partindo do repouso



- Diferença entre o linearizado e não linearizado, uma vez que a linearização ocorre em torno de um ponto de equilíbrio;
- Tempo de acomodação até o sistema alcançara velocidade nominal;
- O que resulta no afastamento da trajetória nominal, depois de 6 segundos, a diferença se torna constante

Comparação entre linearizado e não linearizado

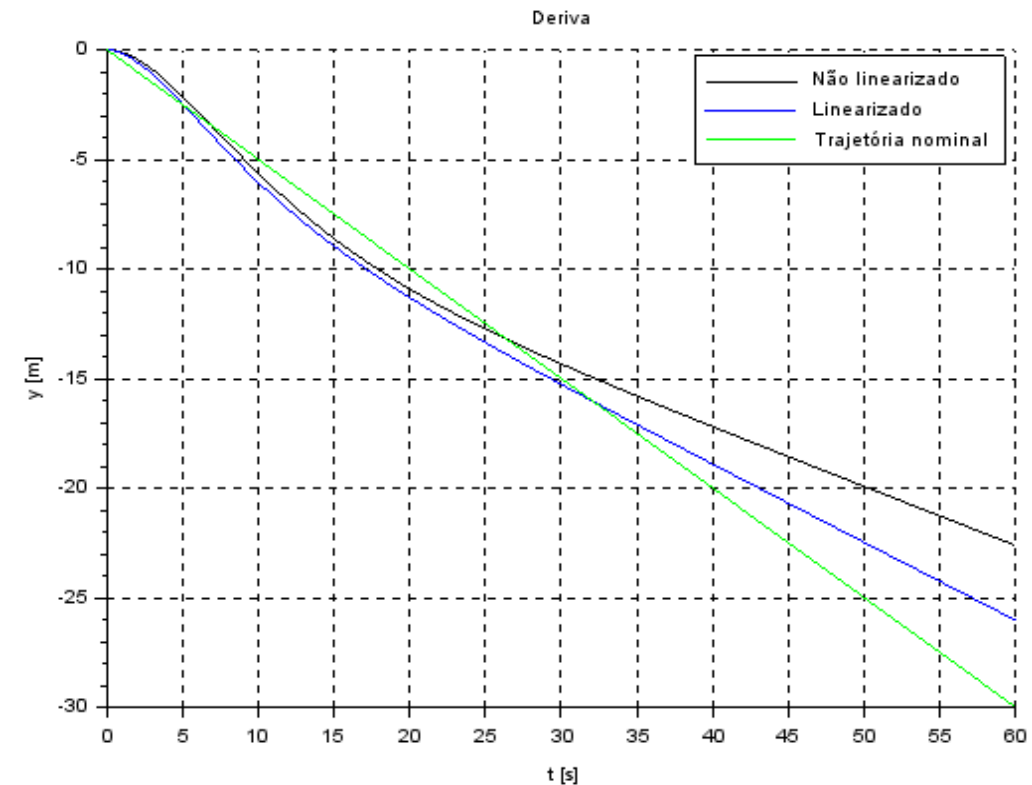
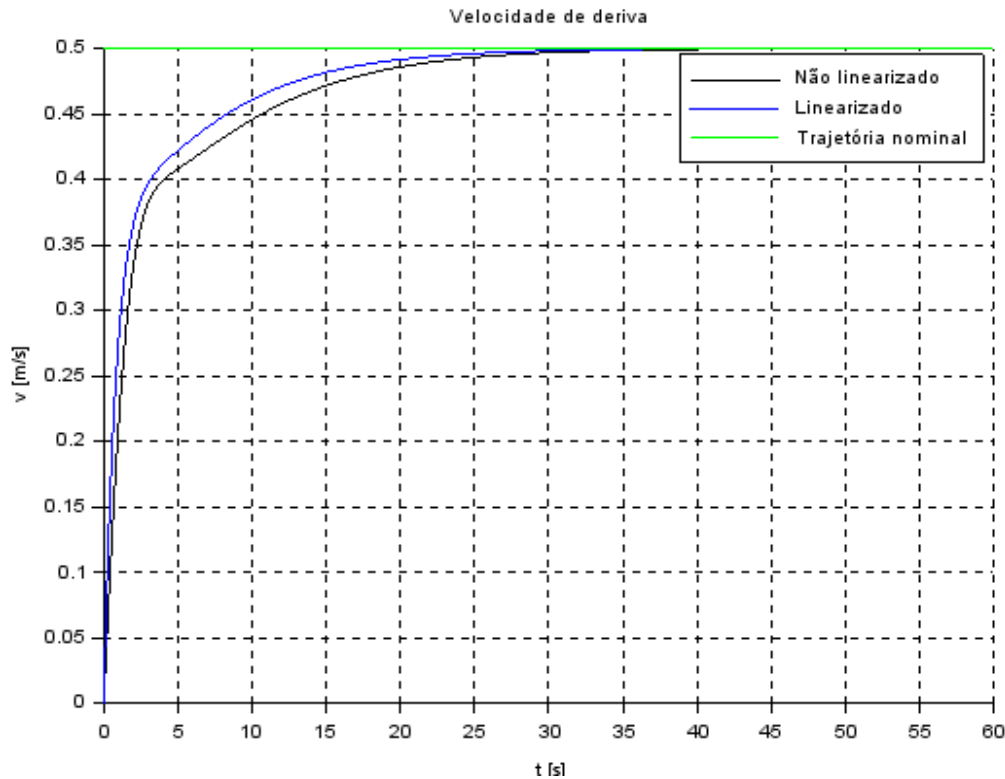
• 2 - Avanço e deriva não nulos partindo do repouso



- As trajetórias reais apresentam grande diferença da trajetória nominal pretendida
- Isso ocorre por conta das condições iniciais não são iguais aos pontos de equilíbrio definidos.

Comparação entre linearizado e não linearizado

2 - Avanço e deriva não nulos partindo do repouso

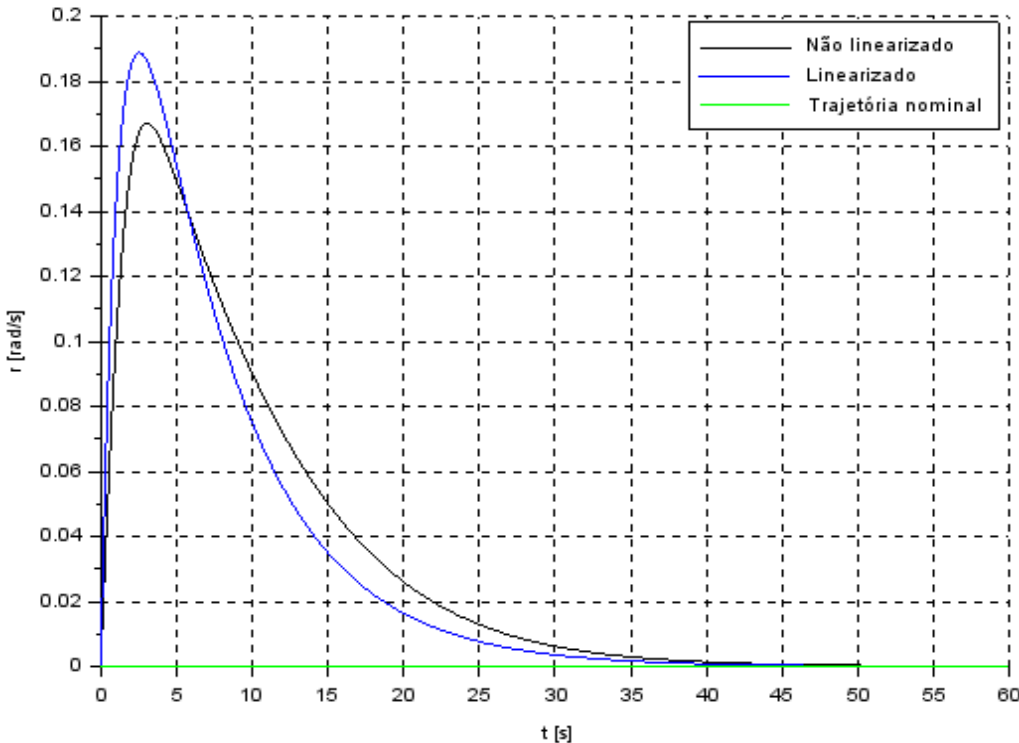


- As trajetórias reais apresentam grande diferença da trajetória nominal pretendida
- Isso ocorre por conta das condições iniciais não são iguais aos pontos de equilíbrio definidos.

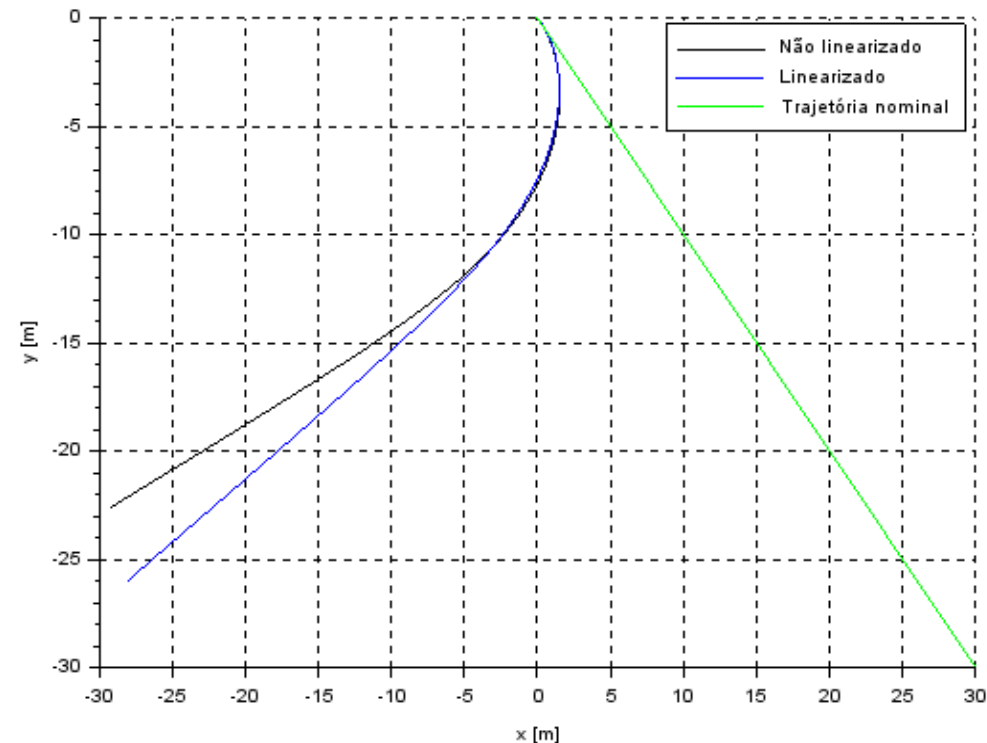
Comparação entre linearizado e não linearizado

2 - Avanço e deriva não nulos partindo do repouso

Velocidade de guinada



Trajétoria

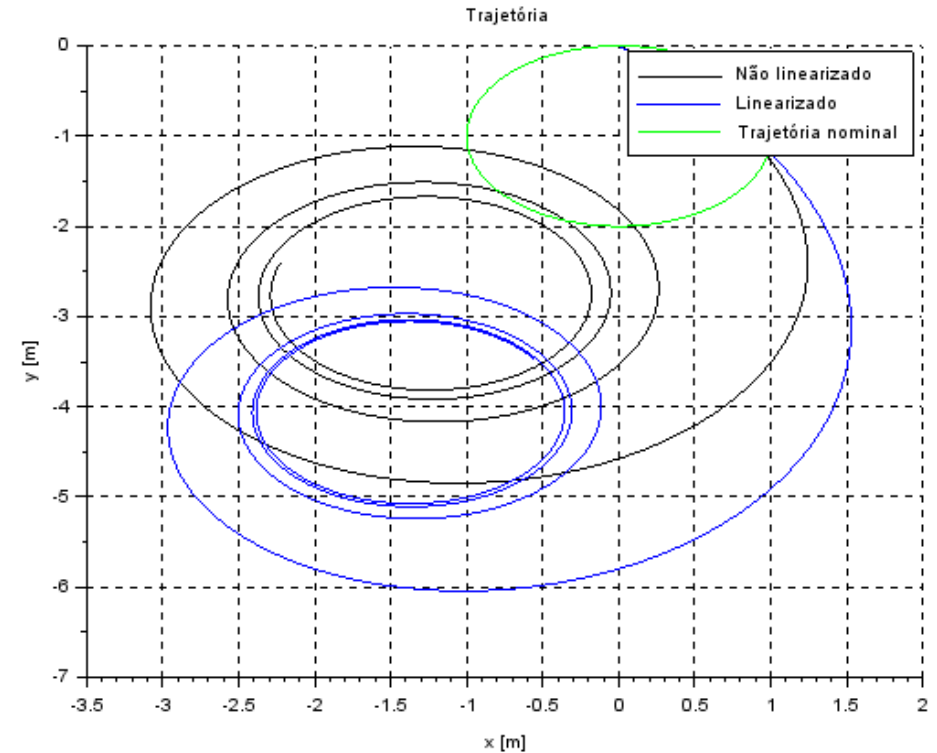
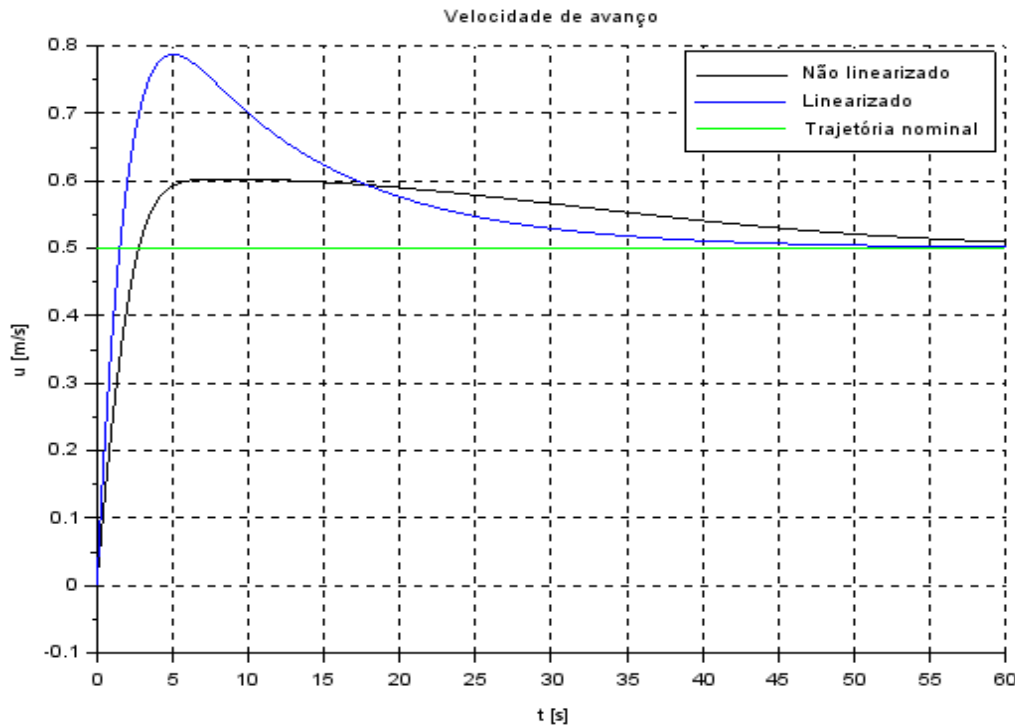


- Quando há movimento de avanço e deriva, isso induz o movimento de guinada, da mesma forma que o movimento de guinada produz efeito nos movimentos de avanço e deriva
- Apesar dos valores negativos de x , observa-se, da mesma forma que no caso anterior, que há erro em regime permanente, fazendo com que o sistema se comporte de forma similar ao esperado, entretanto com o sinal contrário.

Análises do Grupo

Comparação entre linearizado e não linearizado

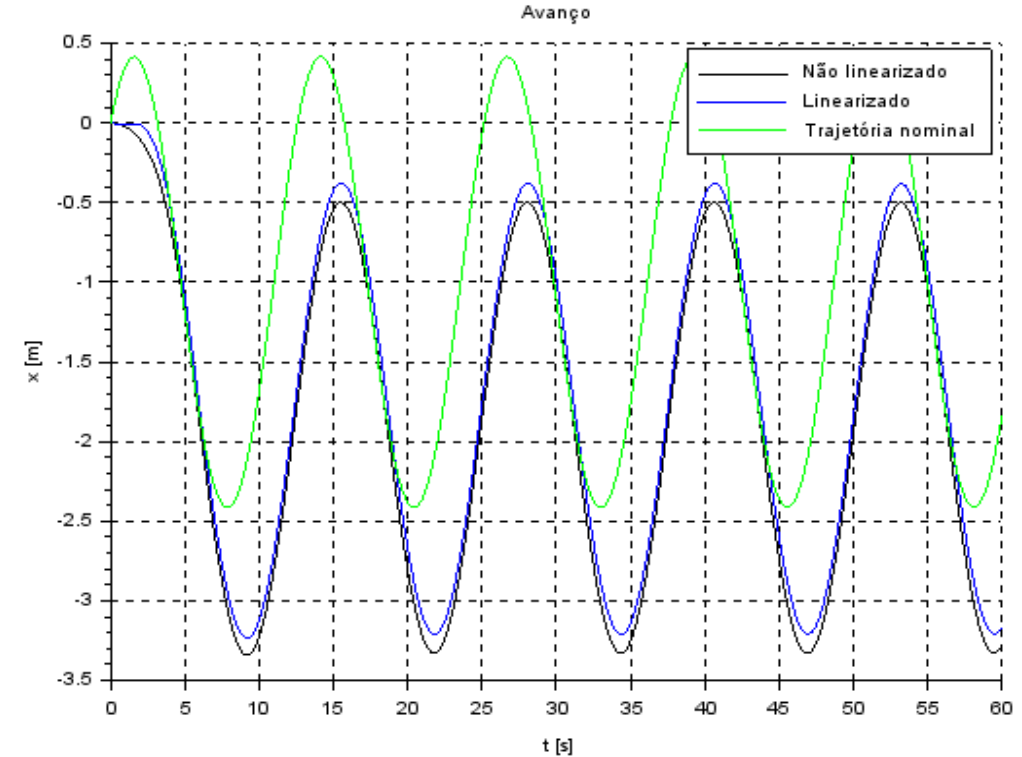
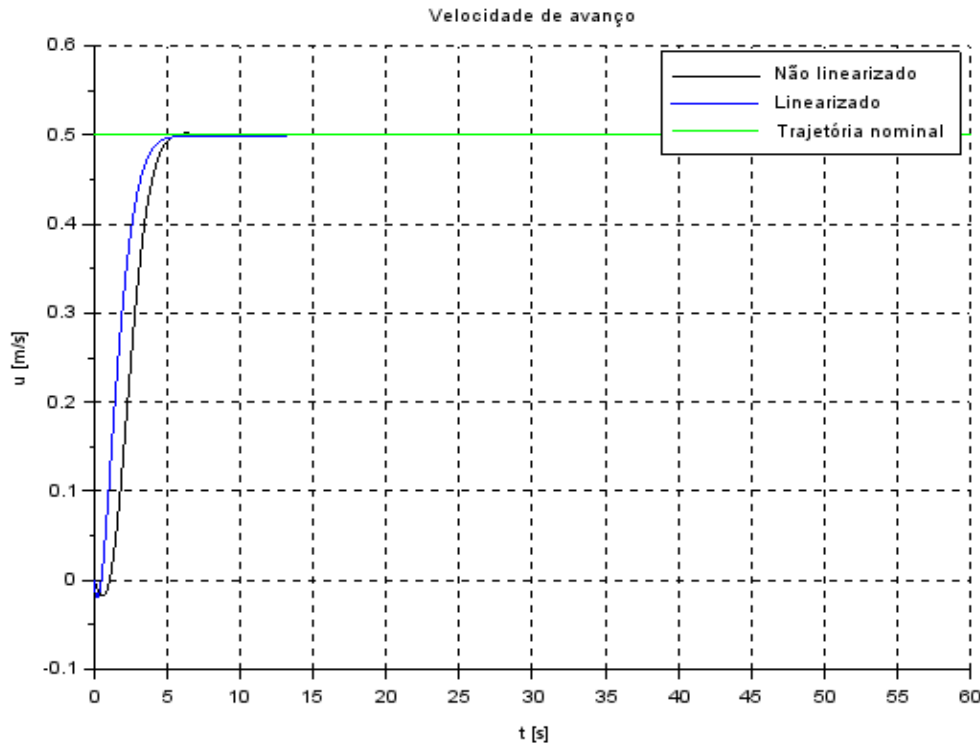
3 - Avanço e guinada não nulos partindo do repouso



- percebe-se um comportamento comum de em todos os casos o caminho percorrido ser uma elipse, o que indica que apesar das condições iniciais impostas, o sistema caminha para se comportar de acordo com a trajetória..

Comparação entre linearizado e não linearizado

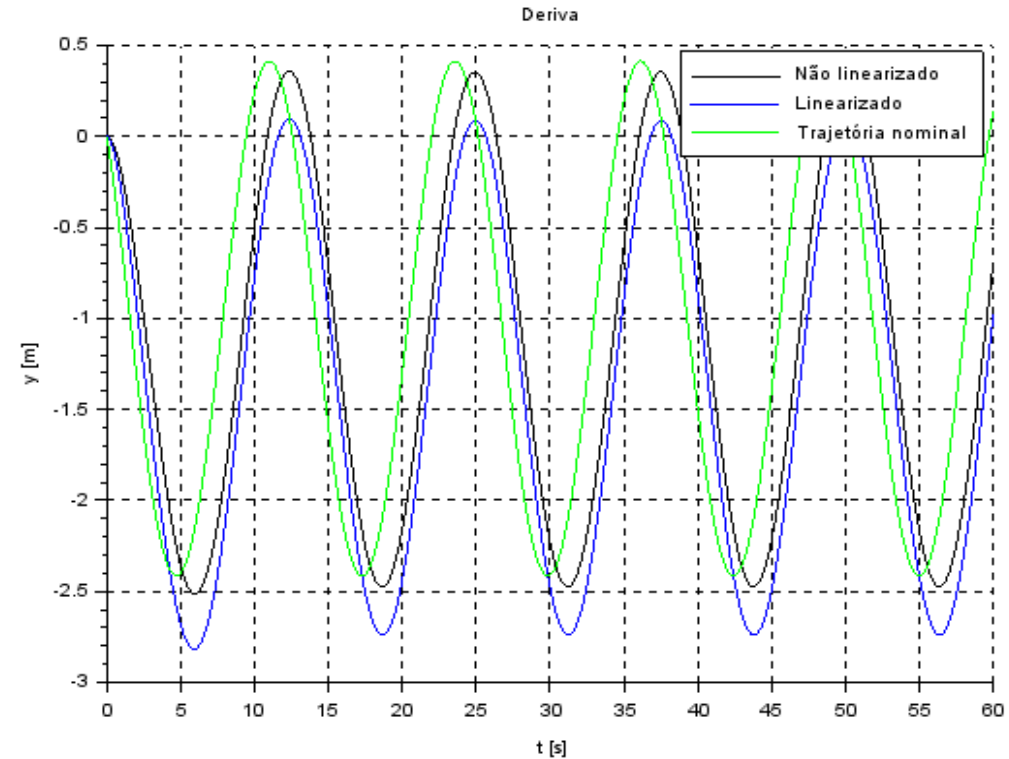
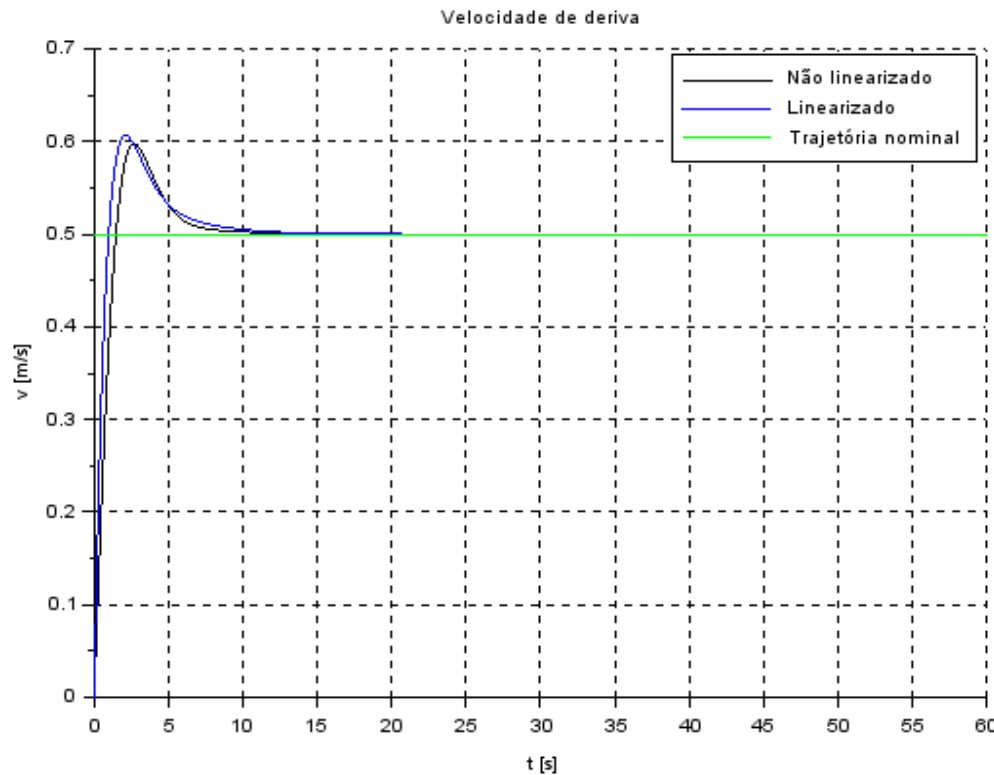
4 – Velocidades não nulas partindo do repouso



- Percebe-se uma maior proximidade com as trajetórias e velocidades nominais;
- As velocidades, partindo do repouso, demonstram pequeno tempo de acomodação e sem erros de regime permanente.

Comparação entre linearizado e não linearizado

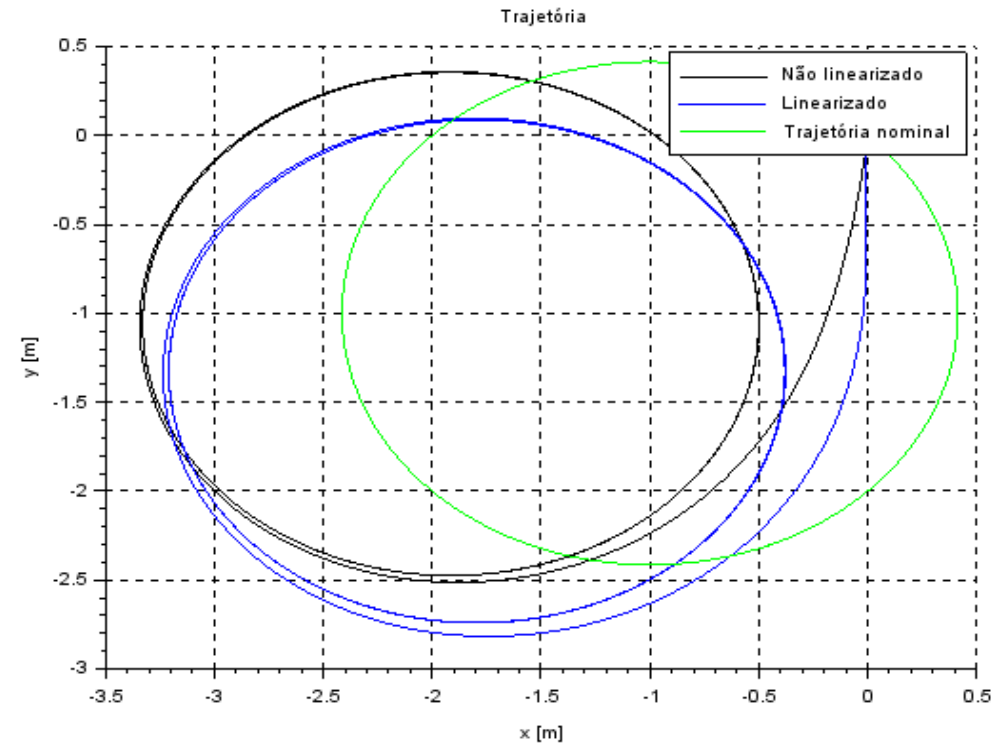
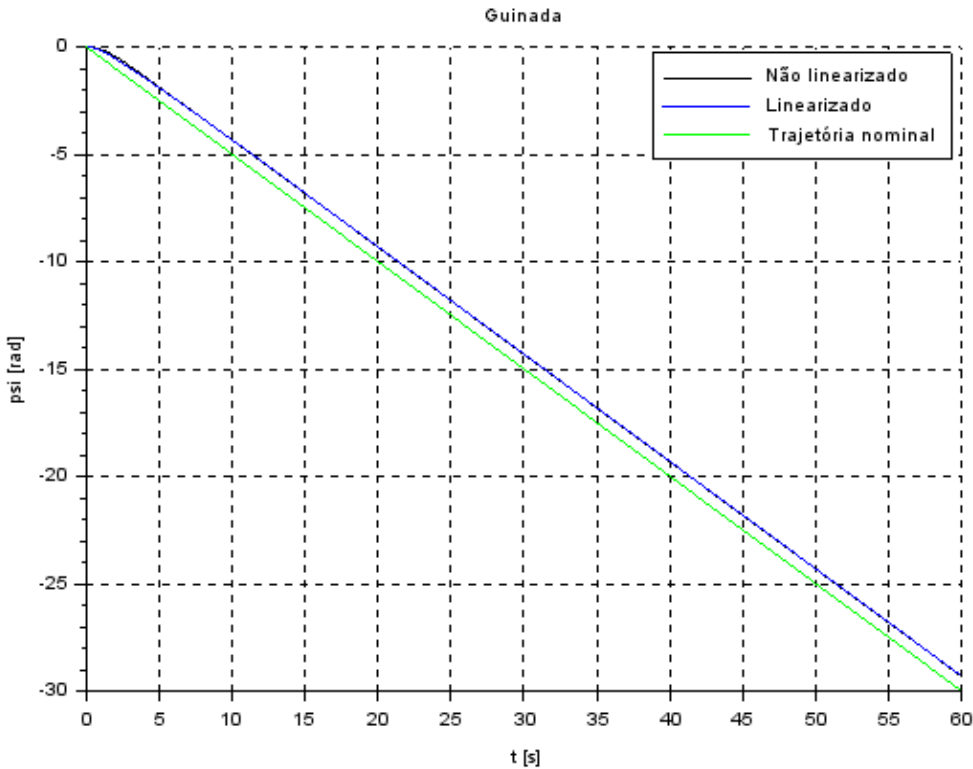
4 – Velocidades não nulas partindo do repouso



- **Percebe-se uma maior proximidade com as trajetórias e velocidades nominais;**
- **As velocidades, partindo do repouso, demonstram pequeno tempo de acomodação e sem erros de regime permanente.**

Comparação entre linearizado e não linearizado

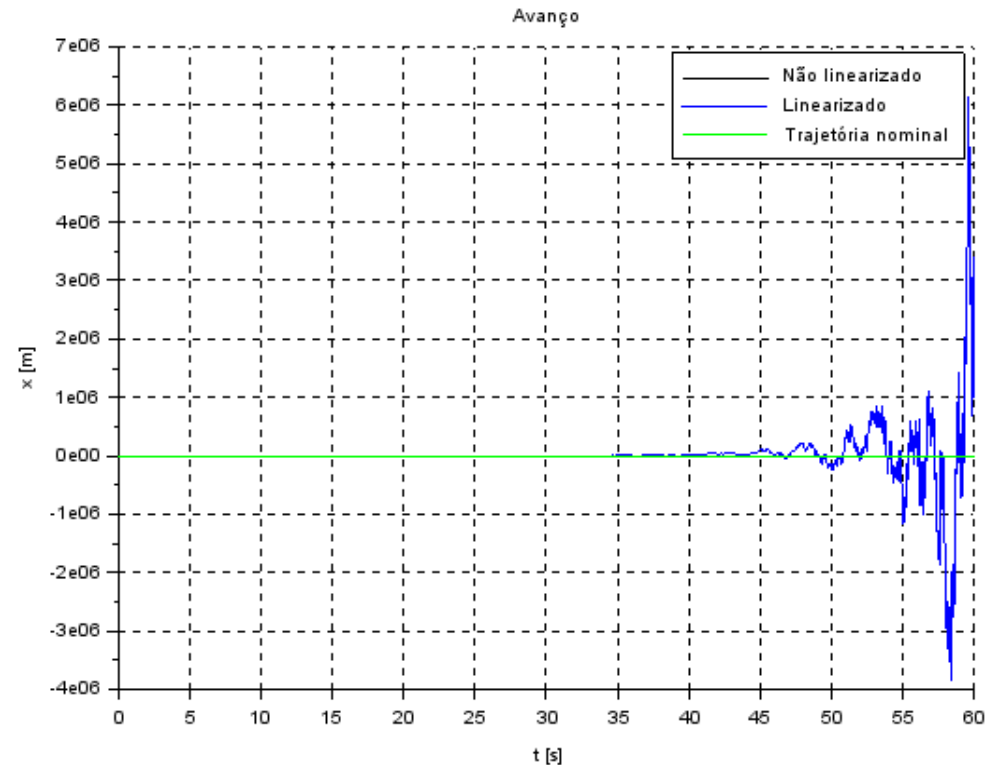
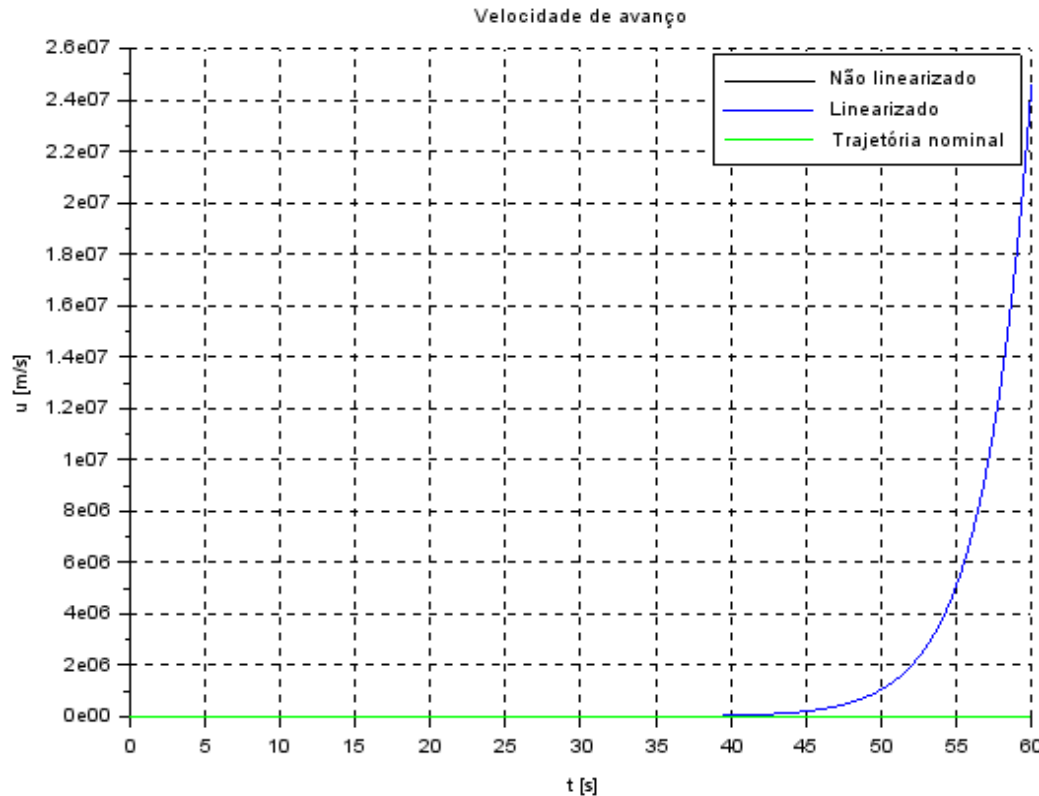
4 – Velocidades não nulas partindo do repouso



- Percebe-se uma maior proximidade com as trajetórias e velocidades nominais;
- As velocidades, partindo do repouso, demonstram pequeno tempo de acomodação e sem erros de regime permanente.

Comparação entre linearizado e não linearizado

5 – Avanço e guinada não nulos partindo do repouso



- Para as condições propostas neste caso o ROV apresenta divergência ao final da simulação;
- Dessa maneira, esses pontos de equilíbrio representam um ponto instável.

La Place, Função de Transferência, Polos e zero

Conceito

- A abordagem mais comumente utilizada em análise de sistemas dinâmicos é a análise no domínio da frequência. Para isso, deve-se fazer a transferência do domínio do tempo para o da frequência. O estudo da estabilidade é possível de ser explorado a partir da análise do sistema no domínio da frequência.

$$L[f(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-st} dt = F(s)$$

$$X = \Phi BU - \Phi x(0)$$

$$Y = CX + DU$$

Função de Transferência

$$\begin{bmatrix} \partial u \\ \partial v \\ \partial r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} \\ G_{21} & G_{22} & G_{23} \\ G_{31} & G_{32} & G_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \partial F_{pu} \\ \partial F_{pv} \\ \partial T_{pr} \end{bmatrix}$$

- Uma vez conhecida a função de transferência do sistema, é possível encontrar, a partir dela, seus zeros e polos.
- Para o estudo de estabilidade, entretanto, apenas os segundos serão analisados.
- Para se obter os primeiros, deve-se igualar o numerador de tal função a zero e, uma vez encontradas as raízes do sistema, elas serão seus zeros.
- Para o cálculo dos segundos, por sua vez, deve-se igualar o denominador da função a zero, de modo a se obter a equação característica do sistema.

Análise de Estabilidade

Conceito

- Para a análise da estabilidade do sistema a partir dos polos do sistema, o necessário é ter conhecimento da equação característica, denominador das funções de transferência, que é a mesma para todas.

Polos do Sistema

Polos
0
0
0
- 0,1524735
- 0,7565364
- 0,9560140

$$s^6 + 1,8650239 * s^5 + 0,9843779 * s^4 + 0,1102779 * s^3$$

- Os polos são todos reais puros, com três polos na origem, enquanto os outros três apresentam a parte real negativa.
- Por não apresentar nenhum polo com parte real positiva, o sistema não é instável.
- Entretanto, a presença dos polos em 0, caracteriza o sistema como marginalmente estável.

Critério de Routh-Hurwitz

Conceito

- Pelo critério de Routh-Hurwitz, a presença de tais coeficientes (iguais a zero) na equação característica implica na existência de uma ou mais raízes com parte real positiva, resultando em um sistema que não é estável.

Análise da Tabela

s^6	1,000	0,984	0,000
s^5	1,865	0,110	0,000
s^4	0,925	0,000	0,000
s^3	0,110	0,000	0,000
s^2	0,000	0,000	0,000
s^1	0,000	0,000	0,000
s^0	0,000	0,000	0,000

$$s^6 + 1,8650239 * s^5 + 0,9843779 * s^4 + 0,1102779 * s^3$$

- Verifica-se que não há mudança de sinal na primeira coluna e, pelo critério, demonstrando que o sistema pode ser estável.
- Novamente, entretanto, deve-se ressaltar os coeficientes iguais a zero que não estão explícitos na equação característica, mas que são responsáveis por tornar o sistema marginalmente estável.

Resposta ao Degrau

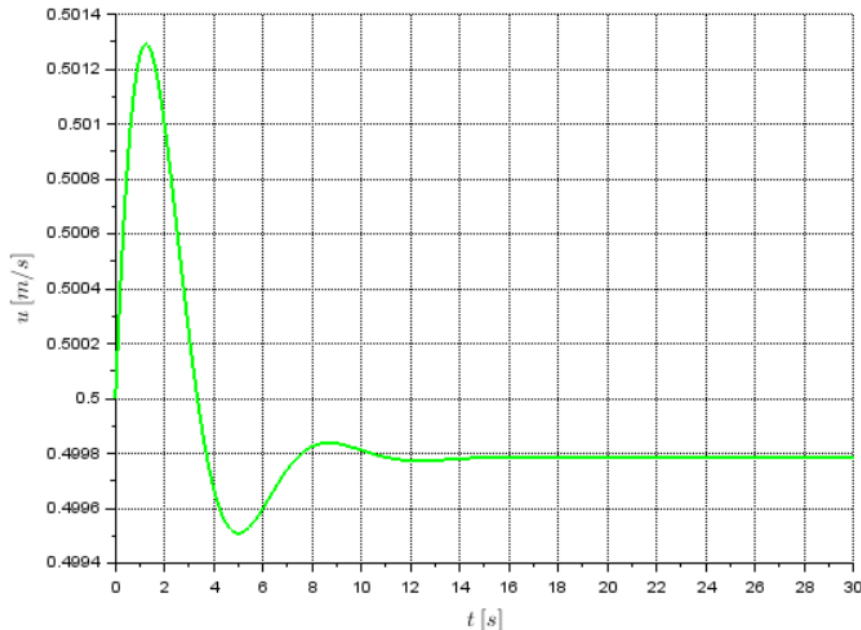
Conceito

- A resposta ao degrau indicara o surgimento de uma força inicialmente nula. No caso do ROV, é importante modelar para entender como o corpo reage ao acionamento de propulsores, por exemplo..

Análise da Tabela

- A partir do momento de entrada da força o ROV demora 1,5 segundos para atingir o ponto máximo, também denominado tempo de pico.
- A duração desse tempo é influenciada pelo meio aquático em que o corpo se encontra, o que implica nas forças e inércias presentes.
- A partir do gráfico de velocidade é possível identificar o sobressinal. Em $t = 1,5s$, a velocidade é máxima e equivale a $M_p = 0,5013 \text{ m/s}$.

Resposta da velocidade (u) para entrada F_u



Resposta ao Degrau

Conceito

- A resposta ao degrau indicara o surgimento de uma força inicialmente nula. No caso do ROV, é importante modelar para entender como o corpo reage ao acionamento de propulsores, por exemplo..

Análise da Tabela

- O polo está na origem, mas o sistema é estável. Mesmo a resposta crescendo continuamente por causa do degrau imposto no início da simulação..



Diagrama de Bode – Análise Inicial

Conceito

- Em casos em que o sistema dinâmico trabalhado é linear, a resposta a uma entrada harmônica em regime permanente possui mesma frequência que o sinal de entrada e amplitude diferente, além da presença de uma defasagem sobre ele. Geralmente, ambas dependem da frequência. Assim, os diagramas de Bode nada mais representam essa relação: são gráficos que relacionam a amplitude e a defasagem de determinado sinal de saída em função de sua frequência.

Equações

- Razão de Amplitude

$$G(j\omega) = 20 \log |G(j\omega)|$$

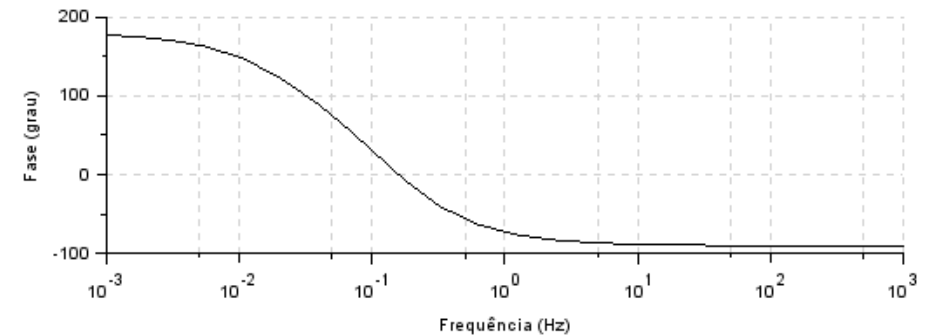
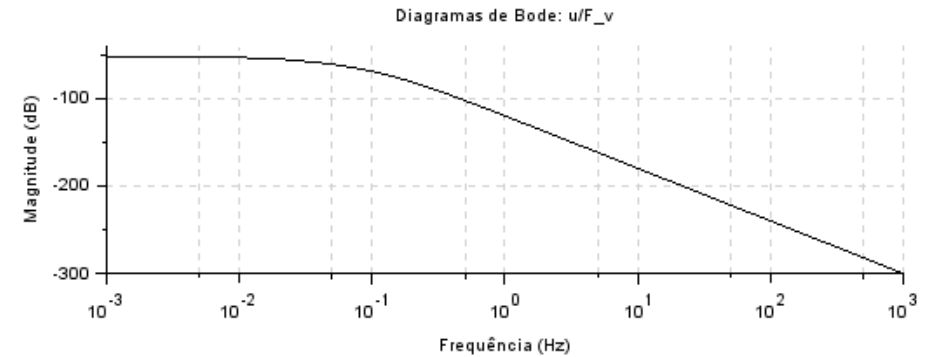
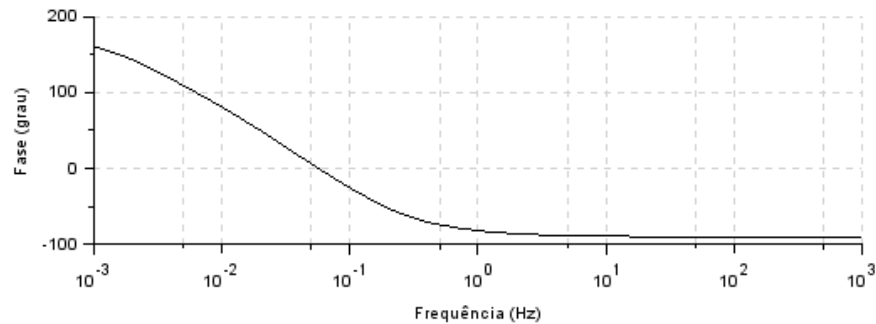
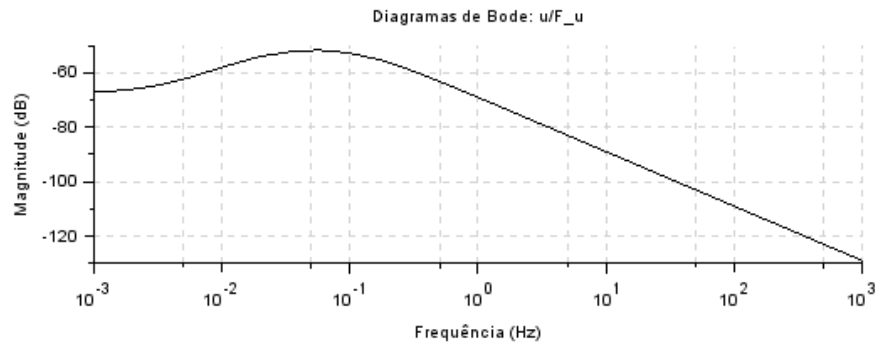
- Defasagem

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\Im(G(j\omega))}{\Re(G(j\omega))} \right)$$

- Para o ROV podem ser obtidos 9 diagramas de Bode, já que cada diagrama representa a relação entre uma entrada e uma saída e, a partir destes, é possível obter as informações a respeito do comportamento do sistema.

Análises do Grupo

Diagrama de Bode



- Por escolher a mesma saída para todos os diagramas expostos a seguir, os casos apresentam a mesma frequência natural. Entretanto, cada caso apresenta um ganho e um ângulo de fase, já que o ROV apresenta comportamentos distintos para cada entrada, resultando em respostas diferentes

- Introdução e Objetivos
- Hipóteses Simplificadoras
- Modelo Físico
- Referências Bibliográficas**

- [1] ÀVILA, Juan. Modelagem e identificação de parâmetros hidrodinâmicos de um veículo robótico submarino. 2008. Tese de doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2008.
- [2] GOULART, Christiano. Modelagem, simulação e controle de um veículo submarino de operação remota. 2007. Dissertação do programa de mestrado - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro - RJ. 2007.
- [3] FLEURY, A. T. Modelagem de Sistemas Dinâmicos. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017. Notas de Aula.
- [4] FOSSEN, T. I.; SCHJØJBERG, I.; Guidance and Control of Ocean Vehicles, 1994, Trondheim.
- [5] PESCE, C. P. Dinâmica de Corpos Rígidos. São Paulo, 2004. (Apostila).
- [6] SORANI, L A. Estudo da Dinâmica e Controle de um Submersível não Tripulado para Uso no Ambiente Fluvial. 2003. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo – SP. 2003.

OBRIKADO!



Diagrama de Blocos

