

MODELAGEM DE PLATAFORMA ROBÓTICA PROJETADA PARA OPERAÇÕES AGRÍCOLAS

EDNA C. MORIONES POLANÍA¹, HUGO RAFACHO FERNANDES², ANGEL PONTIN GARCIA³, DANIEL ALBIERO⁴

¹ Eng. Eletrônica, Doutoranda em Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas - SP, ednacarina.mp@gmail.com.

² Eng. Agrícola, Doutor Engenharia Agrícola, Tarvos S.A, Campinas - SP.

³ Eng. Agrícola, Prof. Doutor, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas - SP.

⁴ Eng. Agrícola, Prof. Doutor, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas - SP.

Apresentado no
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: O trabalho apresentado neste documento trata-se da modelagem matemática de uma plataforma robótica projetada para realizar operações agrícolas de baixa potência de forma autônoma com um mecanismo pantográfico nas pernas e tração nas quatro rodas. A modelagem das estruturas permite conhecer as restrições mecânicas do robô e posterior implementação do controle. Foi obtido um modelo matemático 2D para uma plataforma agrícola a partir da análise mecânica e geométrica de sua estrutura.

PALAVRAS-CHAVE: controle, pantográfico, UGV.

MODELING OF A ROBOTIC PLATFORM DESIGNED FOR AGRICULTURAL OPERATIONS

ABSTRACT: The work presented in this paper is about the mathematical modeling of a robotic platform designed to perform low-power agricultural operations autonomously with a pantographic mechanism on the legs and four-wheel drive. The modeling of the structures allows for knowing the mechanical constraints of the robot and subsequent control implementation. A 2D mathematical model for an agricultural platform was obtained from the mechanical and geometric analysis of its structure.

KEYWORDS: control, pantographic, UGV.

INTRODUÇÃO: A autonomia dos robôs projetados para operar em ambientes agrícolas ainda encontra-se em desenvolvimento (ALBIERO et al. 2022). No estudo realizado por Fernandes et al. 2020 foram apresentados 52 robôs agrícolas dos quais alguns comerciais. Na revisão foi demonstrada a importância de um sistema de estabilidade híbrido para que os robôs ou veículos móveis terrestres (do inglês Unmanned Ground Vehicle UGV) possam se deslocar de forma estável em terreno não estruturado. No entanto, para poder seguir as recomendações feitas pelos autores é necessário realizar uma análise geométrica da estrutura mecânica que se quer construir. Por isso, neste trabalho é analisada a estrutura de um robô desenvolvido por Fernandes, Hugo R. (2022), chamado PANDORA (Figura 1a), dando continuidade ao trabalho apresentado por Fernandes e Garcia (2018). A estrutura do robô tem

RESULTADOS E DISCUSSÃO: as variáveis para a identificação e modelagem do sistema são β como ângulo da declividade obtida pela IMU. O comprimento das barras a, b, c, d, e conhecidas. Os ângulos dos motores θ_{left} valor manipulado e θ_{right} valor obtido a partir de otimização. E o ângulo ϕ como ângulo desconhecido com relação ao solo.

Foi definido o triângulo de contato com o solo como constante e os triângulos formados no mecanismo pantográfico como de controle (Figura 1a e Figura 2).

Triângulo constante (cor verde) =

$$\varphi = \arccos\left(\frac{e^2 + b^2 - d^2}{2e.b}\right) \quad (1)$$

$$\gamma = \pi - \varphi \quad (2)$$

$$g = e.\text{sen}(\gamma) \quad (3)$$

$$f = e.\text{cos}(\gamma) \quad (4)$$

Triângulos de controle (cor vermelho) =

$$h_1 = c.\text{sen}(\theta_{left}) \quad (5)$$

$$h_2 = c.\text{sen}(\theta_{right}) \quad (6)$$

$$k_1 = c.\text{cos}(\theta_{left}) \quad (7)$$

$$k_2 = c.\text{cos}(\theta_{right}) \quad (8)$$

Para o análise da inclinação da plataforma foi feita a partir do triângulo formado por x e y .

$$x = 2g + k_1 + k_2 + a \quad (9)$$

$$y = h_2 - h_1 \quad (10)$$

Se obtém a equação que relaciona a variável de controle ϕ . Para chegar nesta expressão matemática foram usadas as equações da (1)-(10).

$$\tan\phi = \frac{c.\text{sen}(\theta_{right}) - c.\text{sen}(\theta_{left})}{2e.\text{sen}(\gamma) + c(\cos\theta_{left} + \cos\theta_{right}) + a} \quad (11)$$

Como foi planejado inicialmente, a análise geométrica em duas dimensões (2D) foi feita considerando a parte lateral da plataforma, onde os motores dianteiros e traseiros são iguais. Para manter uma ferramenta de manipulação sobre a plataforma, pode-se facilitar a posse e localização no espaço de trabalho, por tanto, se assume que o ângulo $\beta = 0$. Então, pode-se inferir que $\phi = -\alpha$, portanto, $\tan\phi = \tan(-\alpha)$. Para resolver a equação (11) foram atribuídos valores para θ_{left} e foi iterado θ_{right} em uma faixa de -70° até 70° .

Na Tabela 1, são apresentados os dados dos testes simulando valores para a inclinação do terreno obtendo assim um limite superior e inferior como faixa de operação dos motores. Além disso, foi analisado o valor de L que corresponde à distância entre o terreno e o centro geométrico (P_{II}) com os comprimentos para as barras $\{a = 245, b = 55, c = 105, d = 105, e = 55\}$ [mm]. Na Figura 3 se mostram os pontos como foi criada a estrutura no programa especificamente o centro geométrico e a distância L .

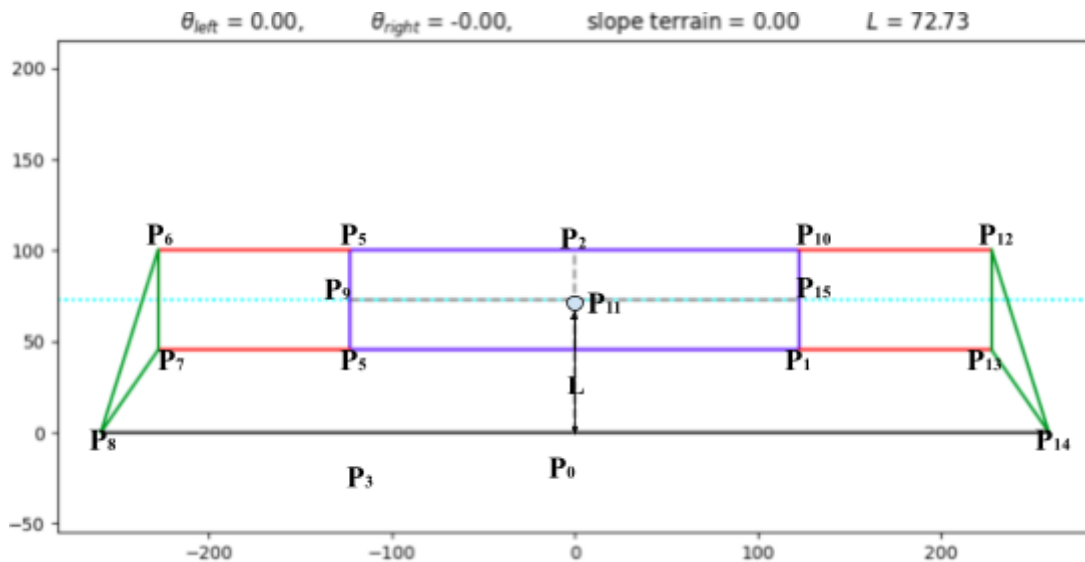


FIGURA 3. Centro geométrico.

Os dados da Tabela 1 foram cadastrados os valores dos ângulo α : inclinação do terreno (slope terrain), valores para ângulos dos motores θ_{left} , θ_{right} e a distância entre o terreno e o centro geométrico L.

TABELA 1. Análise da estrutura e operação da geometria 2D.

α [°]	Límite	θ_{left} [°]	θ_{right} [°]	L [mm]
0	inf	-25,50	-25,50	27,52
	sup	70	70	171,39
5	inf	-6	-31,50	39,16
	sup	70	35,62	154,8
10	inf	12,50	-37,72	50,26
	sup	70	10,94	137,94
20	inf	51	-49,14	74,3
	sup	70	-33,64	102,35

Os dados foram obtidos como se apresenta na Figura 4. Para um $\alpha = 0$ limite inferior quando a pose da base está no limite do solo. Como limite superior quando a pose da estrutura está completamente esticada. A estrutura sempre manteve um valor $\beta = 0$.

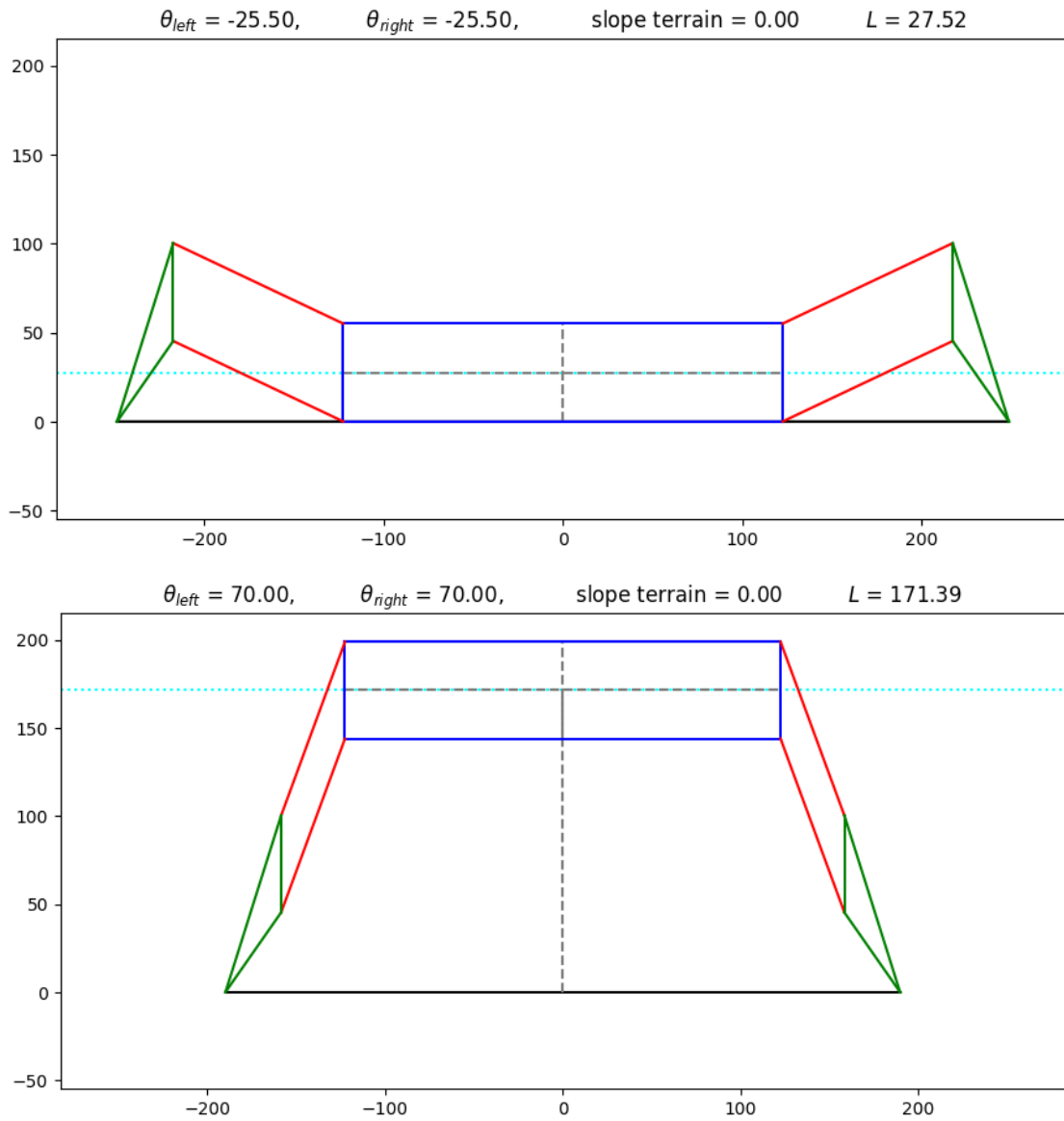


FIGURA 4. Limites de operação do ângulos θ_{right} e θ_{left} .

A Figura 5, foi obtida a partir de dados como os cadastrados na Tabela 1, no entanto, modifica-se o valor do comprimento na barra c (Figura 6). Para cor azul $c = 105$ mm, cor vermelho $c = 210$ mm e cor amarelo $c = 57.2$ mm.

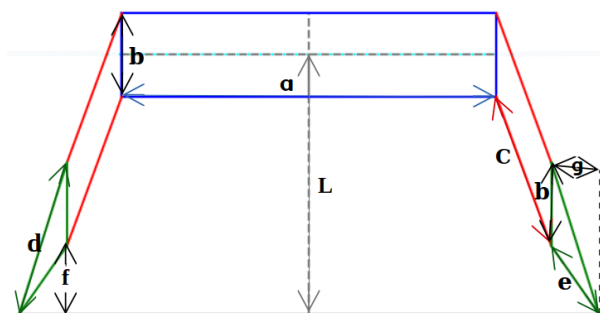


FIGURA 6. Comprimentos da estrutura geométrica.

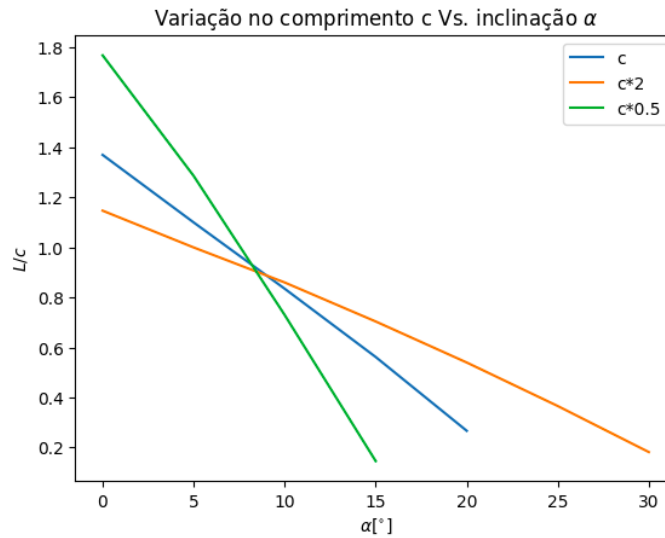


FIGURA 5. Faixa operativa dos motores do robô variando os valores do comprimento c .

Aumentando o valor do do comprimento c obtém-se $\beta = 0$ para terrenos mais inclinados, no entanto, a faixa de distância entre a base da plataforma e o terreno se vê limitado.

Finalmente para determinar as limitações do projeto mecânico da estrutura substituímos (3) em (11).

$$\tan\phi = \frac{\text{sen}(\theta_{\text{right}}) - \text{sen}(\theta_{\text{left}})}{2\frac{a}{c} + \cos(\theta_{\text{left}}) + \cos(\theta_{\text{right}}) + \frac{a}{c}} \quad (12)$$

Baseados na equação (12) pode-se graficar o comportamento da base da plataforma modificando os valores para g que foi definida pela equação (3). E depois variando valores para o comprimento da base a (Figura 6).

Na Figura 7, pode-se visualizar que, à medida que o valor de g é incrementado, manter o valor de $\beta = 0$ é limitada porque α e L diminuem. Ao variar o comprimento da base a , não há interferência na altura da plataforma, mas sim na inclinação da mesma. Com uma barra na base menor, é possível obter um maior intervalo para a inclinação do terreno da plataforma.

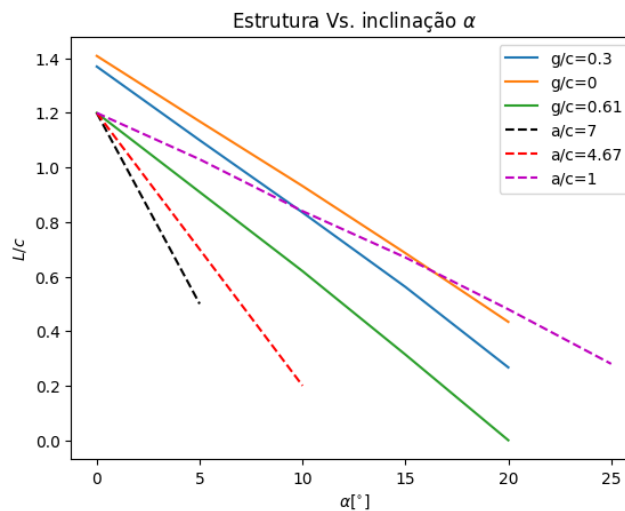


FIGURA 7. Faixa operativa dos motores do robô variando os valores do comprimento g e a .

CONCLUSÕES: com o modelo matemático obtido a partir da análise 2D, foi possível avaliar os critérios do desenho mecânico da plataforma robótica projetada para operações de baixa potência. Os testes demonstraram que é possível manter uma ferramenta de manipulação sobre a plataforma e mantê-la num ângulo $\beta = 0$ facilitando a posse e localização no espaço de trabalho, seja em uma linha de colheita ou em uma estufa.

AGRADECIMENTOS: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS:

ALBIERO, Daniel et al. Swarm robots in mechanized agricultural operations: A review about challenges for research, **Computers and Electronics in Agriculture**, Elsevier, v.193. 2022.

FERNANDES, Hugo Rafacho et al. Agricultural unmanned ground vehicles: A review from the stability point of view. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 5, p. 1–12, 2020.

FERNANDES, Hugo R. PANDORA: Robô com controle ativo de estabilidade para aplicações agrícolas. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas. 77 . 2022.

FERNANDES, Hugo R.; GARCIA, Angel P. Design and control of an active suspension system for unmanned agricultural vehicles for field operations. **Biosystems Engineering**, Elsevier Ltd, v. 174, p. 107–114, 2018.