



V Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica
V EnICT
ISSN: 2526-6772
IFSP – Campus Araraquara
22 e 23 de outubro de 2020



Extração de Características Cinemáticas, Baseadas na Geometria de Ackermann, para um Robô Agrícola

Igor Felipe Furtado de Oliveira¹, Clayton José Torres², Leonardo Bonacini³

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Bolsista PIVICT, IFSP Campus Araraquara, igor.furtado@aluno.ifsp.edu.br.

² Docente da Área da Indústria, IFSP Campus Araraquara, clayton@ifsp.edu.br.

³ Doutorando em Engenharia Mecânica, EESC – USP, leobonacini@usp.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.03.02-4

RESUMO: O presente trabalho destina-se ao estudo de um modelo cinemático, para tal foi utilizado como base uma plataforma robótica de quatro rodas com mecanismo de direção de quatro barras denominada IBIRÉ. O principal objetivo do estudo consiste na utilização de um microcontrolador para caracterizar os valores angulares de esterçamento das rodas dianteiras e as velocidades angulares das rodas traseiras, traduzindo-os em sinais elétricos do tipo PWM (*Pulse Width Module*). O robô será utilizado como plataforma experimental no desenvolvimento de aplicações para a agricultura de precisão como, por exemplo, o monitoramento de plantações. Portanto, estará submetido a velocidades abaixo de 5 m/s, fator relevante na escolha do método a ser utilizado no estudo cinemático, que possibilita a aplicação das equações da geometria de Ackermann, o qual é citado em inúmeros artigos científicos e demonstra bons resultados quando utilizado em veículos que operam a baixas velocidades, onde não ocorre o deslizamento lateral.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura de Precisão, Cinemática, Geometria de Ackermann, Robótica.

INTRODUÇÃO

Segundo Hackenhaar et al. (2015), devido ao crescente aumento demográfico, a eficiência da produção agrícola deve ser triplicada nos próximos anos para suprir a demanda por alimentos. Com isso, levanta-se um questionamento: os meios de manejo e cultivo que a agricultura dispõe atualmente estão otimizados o suficiente para dar conta de toda essa necessidade por insumos? Uma das respostas possíveis para isso pode ser a robótica. Os robôs estão sendo aplicados, segundo Crestana e Fragalle (2012), em métodos de monitoramento das características geográficas e climáticas do ambiente agrícola; na implementação da chamada Agricultura de Precisão, com técnicas de sensoriamento remoto, reconhecimento de campo; além da avaliação da qualidade do solo.

Este trabalho tem por objetivo principal estudar um modelo cinemático aplicado a um robô agrícola em desenvolvimento, IBIRÉ, que será objeto de estudo no monitoramento de lavouras. Por consequência, essa plataforma precisa se deslocar corretamente e garantir boa precisão na aquisição dos dados. Foi estudado um modelo cinemático baseado na Geometria de Ackermann, que nada mais é do que um arranjo geométrico que considera diferenças de esterçamento e velocidade angular das rodas no intuito de minimizar o deslizamento lateral (impedir o arrastamento). Com isso, deve-se obter os parâmetros cinemáticos alvo para cada uma das rodas do robô, e cruzar essas informações com uma caracterização dos motores elétricos do mesmo, sendo que são operados via sinais elétricos enviados por um microcontrolador.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O uso da robótica na agricultura possui uma história de mais de 20 anos (HACKENHAAR et al., 2015) e cada vez mais estão sendo utilizados robôs para analisar, controlar e melhorar processos no campo. Esse tipo de aplicação acarreta em uma melhora na eficiência da produção e em um negócio mais lucrativo. Diante do alto crescimento da população mundial e conseqüente aumento da densidade demográfica, a produção de maiores quantidades de alimento para suprir as necessidades de consumo da população vem sendo requisitada (HACKENHAAR et al., 2015). Dentre as possibilidades para solucionar esse problema, destacam-se aumentar as áreas de cultivo ou otimizar as já existentes (CRESTANA; FRAGALLE, 2012).

Segundo Silveira (2012), os robôs são classificados dois tipos principais: industriais e não industriais. Além disso, são subdivididos entre fixos e móveis, sendo esse último o mais aplicado no setor agrícola. Dentre os robôs móveis evidenciam-se o AGV (*Automatically Guided Vehicle*) e o UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), ambos estão sendo empregados no controle e monitoramento de plantações para pesquisa e desenvolvimento, além das aplicações comerciais. Segundo Lowenberg-DeBoer et al. (2018), os robôs utilizados em pesquisas são, na grande maioria, de pequeno porte, enquanto comercialmente as empresas apostam em robôs de grande porte.

Um dos exemplos de robô agrícola de grande porte é o Agribot (Figura 1A), cuja proposta foi desenvolver uma plataforma robótica robusta e de baixo peso para permitir a inserção de módulos com diversos tipos de sensores para aquisição de dados, no intuito de estudar a variabilidade espacial e características do campo. O Agribot dispõe de direção hidráulica e propulsão por motor elétrico nas quatro rodas (todas esterçantes). Como robô agrícola de pequeno porte, pode ser mencionado o Mirã, Figura 1B. Foi desenvolvido pela Universidade de São Paulo para mapeamento de lavouras. Para isso, precisa navegar em terrenos com muitos desníveis, motivo pelo qual utiliza sistema de amortecimento passivo e direção elétrica nas quatro rodas, também esterçantes.

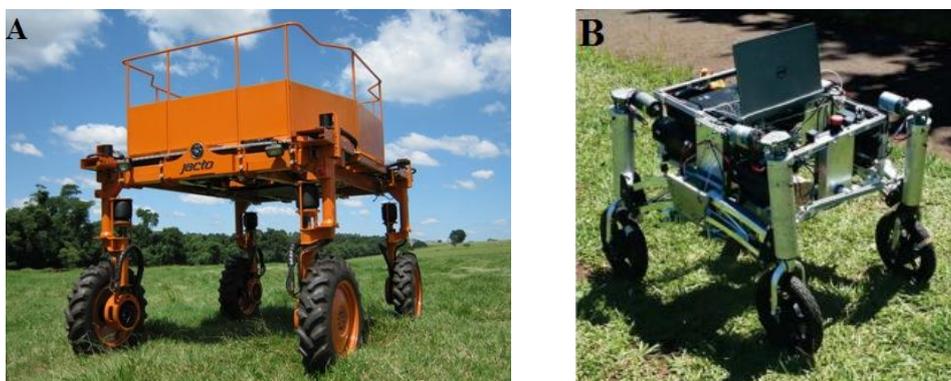


Figura 1: A) Plataforma Robótica Agribot; B) Mirã.
Fonte: NEPAS (2020); Diaz (2017).

Todos exemplos mostrados anteriormente possuem sistema de direção baseado na Geometria de Ackermann. Para que a movimentação e o monitoramento feito pelos robôs fiquem precisos e eficazes, sem deslizamento lateral, torna-se necessário um estudo acerca do modelo cinemático que engloba esse tipo de geometria, com a finalidade de melhorar controle de esterçamento nas curvas e ajustar adequadamente a trajetória do robô.

METODOLOGIA

Todo desenvolvimento foi feito empregando o modelo cinemático proposto por Torres (TORRES et al., 2013) para o desenvolvimento de uma plataforma robótica denominada RAM, que possui semelhanças em termos de construção com o robô IBIRÉ: ambos são veículos de quatro rodas com sistema de direção de quatro barras com esterçamento das rodas dianteiras. No modelo são determinados parâmetros de movimento

característicos do robô, de acordo com um dado raio de curvatura e as dimensões principais: o robô possui aproximadamente 180 mm de largura por 210 mm de comprimento.

Para que o robô se locomova corretamente, os parâmetros determinados pelo modelo devem ser seguidos. A partir disso, foi necessário fazer uma caracterização dos componentes empregados no IBIRÉ, como os motores e o controlador. Utilizou-se metodologia de pesquisa experimental, com o objetivo de determinar os valores de sinais elétricos para: ângulos de esterçamento das rodas dianteiras, Figura 2A; velocidade angular das rodas traseiras, Figura 2B. Para atingir esse objetivo, foi empregada a plataforma de prototipagem *Arduino Uno R3*, ligada ao robô para captar os sinais elétricos do tipo PWM (*Pulse Width Module*), tarefa dividida em dois testes diferentes: um para o eixo dianteiro e outro para o traseiro. No primeiro teste utilizou-se o microcontrolador para enviar os sinais ao robô e dosá-los de acordo com o ângulo de esterçamento desejado; no teste do eixo traseiro também foi empregado o *Arduino* para enviar incrementos de largura de pulso a cada um dos motores traseiros, com a diferença de ter captado os sinais de rotação do motor através do *encoder* embutido no mesmo.

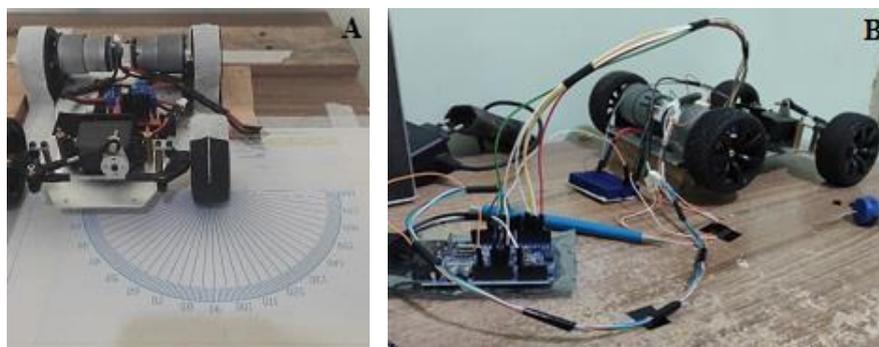


Figura 2: Montagem Final dos Experimentos - A) Dianteira; B) Traseira.
Fonte: do autor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fez-se duas aferições para os ângulos de esterçamento da roda dianteira direita, e ambas retornaram os mesmos valores, apresentados na Figura 3. Ambas aferições foram iguais, testando valores de tempo de 10 em 10 ms até chegar na posição angular desejada. Além disso, cada experimento foi feito tomando o cuidado de fazer uma varredura completa em todo *range* de atuação do motor. Isso significa que, após o primeiro experimento feito, não foram testados diretamente os valores obtidos de um experimento no outro.

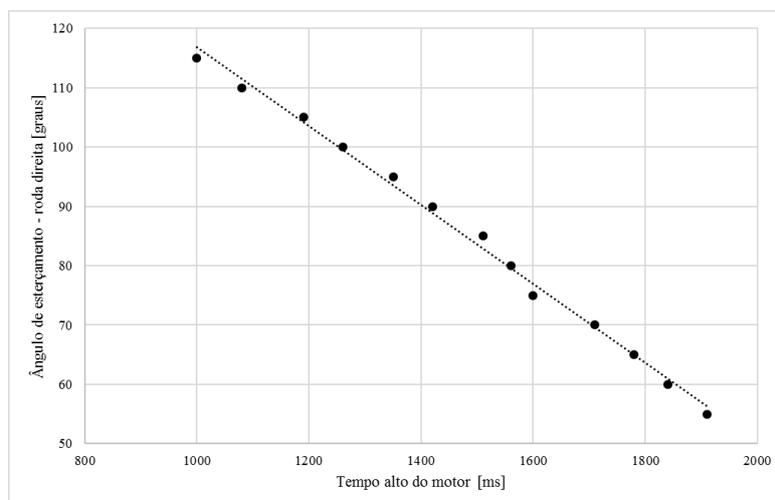


Figura 3: Ângulo de Esterçamento vs. Largura do Pulso.
Fonte: do autor.

Por limitação física, o robô não esterçou mais do que 25° à direita e 35° à esquerda. A partir das medidas do robô, utilizou-se um *software* matemático para encontrar a relação entre o esterçamento das rodas e o raio da curva a ser feito pelo robô. O resultado pode ser visto na Figura 4:

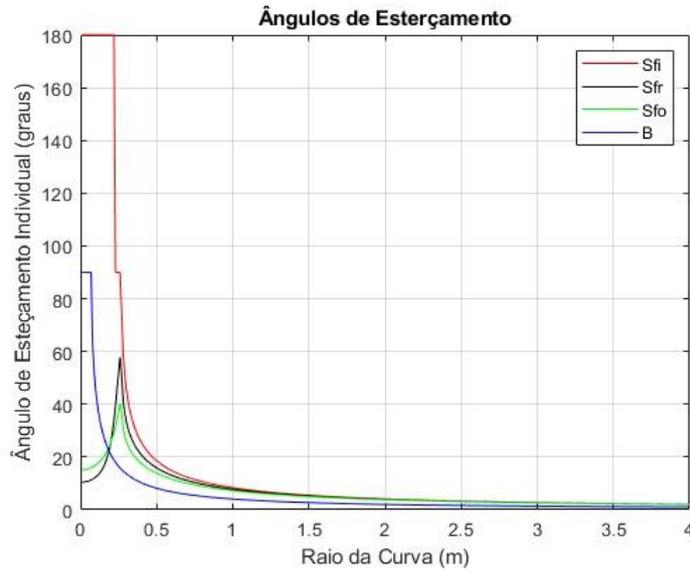


Figura 4: Ângulos de Esterçamento vs. Raio de Curvatura.
Fonte: do autor.

Onde:

- (Sfi) δ_{FI} – Ângulo de esterçamento da roda dianteira interna à curva;
- (Sfr) δ_{FR} – Ângulo de esterçamento do eixo dianteiro do robô;
- (Sfo) δ_{FQ} – Ângulo de esterçamento da roda dianteira externa à curva;
- (B) β – Ângulo de esterçamento do robô em relação ao centro de massa.

A matemática que resulta nesse gráfico dita a maneira com que o robô fará as curvas. Seu controlador fará as mesmas contas e chegará em valores de ângulo em graus. Para que ele comande o motor para virar as rodas será necessário o valor de largura de pulso (*pulse width*) que foi obtido nesse experimento, ou seja, para a solicitação de curva com raios e ângulos quaisquer, estará associado um valor PWM para ordenar acionamento do servo motor.

Em relação às rodas traseiras, o intuito do experimento foi caracterizar os valores de velocidade dos motores traseiros em relação à largura de pulso aplicada. Através do *encoder* puderam ser obtidos as medidas de pulso, que não necessariamente são equivalentes aos valores de velocidade. A tarefa então foi encontrar os valores de velocidade angular em rad/s correspondentes ao número de pulsos lido pelo sensor. Abaixo encontram-se os resultados obtidos após os testes. Foi conduzida uma sequência de 10 testes para cada motor, apertando o botão *Reset* do Arduino no intervalo entre as medições. Isso fez com que o programa reiniciasse e começasse novamente a variar os valores de largura de pulso. Na Figura 5 pode ser vista uma média simples dos valores encontrados para os dois motores.

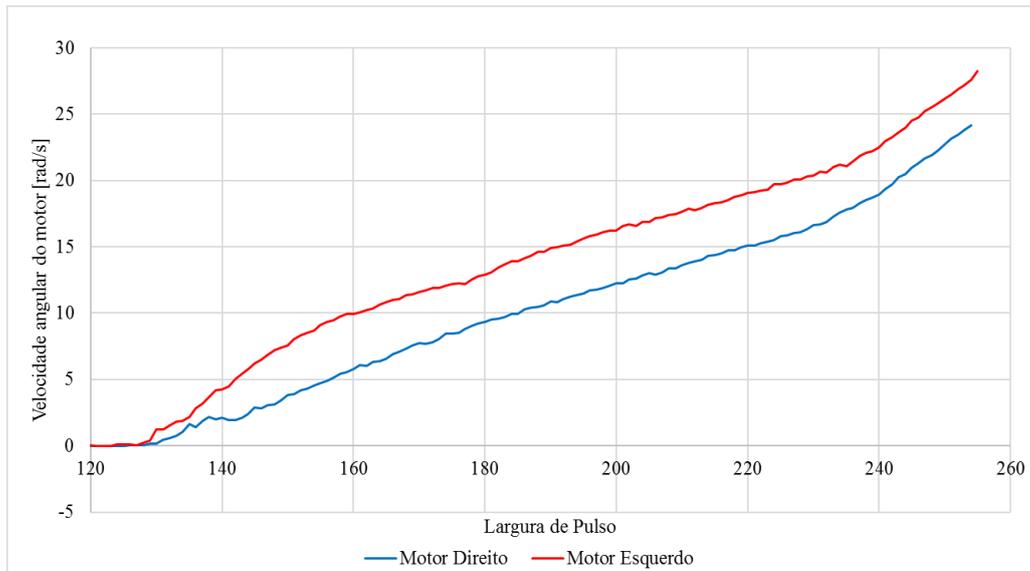


Figura 5: Velocidade Angular vs. Largura de Pulso – Média.
Fonte: do autor.

A largura de pulso variou de 120 a 255 porque não houve resposta dos motores à valores abaixo dessa faixa. Além disso, como pode ser observado no gráfico, os valores negativos de velocidade se devem ao incremento da largura de pulso feito pelo Arduino, que travava momentaneamente a roda e acabou causando esse efeito nas baixas velocidades. Com isso foi possível unir os dados obtidos através do modelo matemático, exibidos pela Figura 6, com as medições feitas no robô, e assim determinar a largura de pulso requerida para um raio de curvatura qualquer. Aqui cabe recordar que esse ensaio feito nos dois motores não considerou nenhuma carga, ou seja, foi um teste a vazio e todos os gráficos seriam diferentes se algum fator de carga fosse adicionado ao modelo.

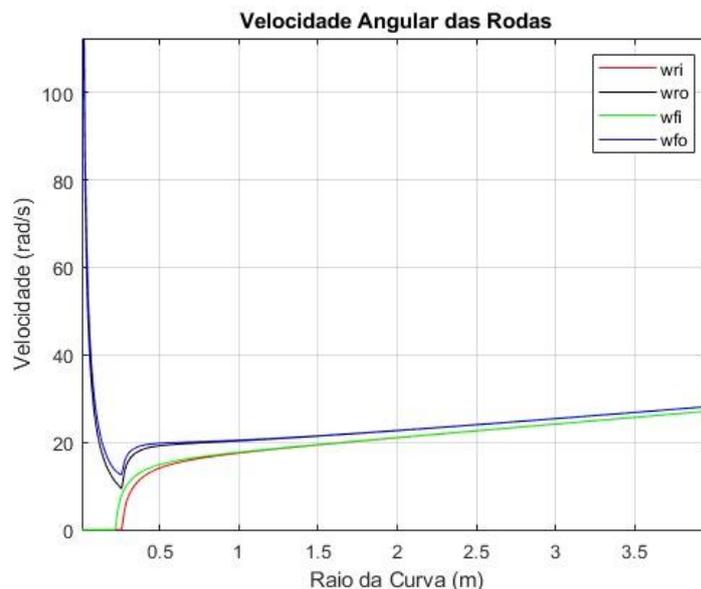


Figura 6: Velocidade Angular vs. Raio de Curvatura.
Fonte: do autor.

Onde:

- (wri) ω_{RI} – Velocidade angular da roda traseira interna à curva [rad/s];
(wro) ω_{RO} – Velocidade angular da roda traseira externa à curva [rad/s];
(wfi) ω_{FI} – Velocidade angular da roda dianteira interna à curva [rad/s];
(wfo) ω_{FO} – Velocidade angular da roda dianteira externa à curva [rad/s].

CONCLUSÕES

Este trabalho mostrou uma forma de adquirir dados de uma plataforma robótica utilizada em ambiente agrícola e utilizá-los no propósito de controlar o deslocamento da mesma. Foi possível constatar que a seleção dos componentes do robô está coerente em relação ao modelo matemático que descreve sua cinemática, uma vez que os valores obtidos pelos experimentos condizem com os resultados dos cálculos.

Também foram observadas algumas limitações: não se sabe ao certo qual é a precisão dos valores obtidos, tendo em vista que não estavam à disposição instrumentos de medida com baixos erros associados. Limitou-se, portanto, ao erro de medida de todo conjunto montado para o experimento 1 e do erro associado a aquisição de dados do *encoder* no experimento das rodas traseiras, que não são conhecidos. Como sugestão de continuação desse projeto, podem ser encontradas as incertezas ou até mesmo algum artifício estatístico que minimize ao máximo esse problema.

Outra melhoria que pode ser aplicada é a implementação de um sistema de controle da velocidade angular das rodas traseiras. Pelo sistema dispor de sensores que medem essa grandeza, torna-se possível por meio de um controle PI (Proporcional Integral) alcançar separadamente um alvo de velocidade angular para cada uma das rodas.

REFERÊNCIAS

- CRESTANA, S.; FRAGALLE, E. P. A Trilha da quinta potência: um primeiro ensaio sobre ciência e inovação, agricultura e instrumentação agropecuária brasileira. **Revista Eixo**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 6-27, 2012.
- BRAGA, N. C. **O que é PWM (MEC071)**. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/5169-mec071a>>. Acesso em: 25 ago. 2020.
- DIAZ, J. F. A. **Design of a Rover to precision agriculture applications**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.
- HACKENHAAR, N. M.; HACKENHAAR, C; ABREU, Y. V. Robótica na agricultura. **Interações (Campo Grande)**, Campo Grande, v. 16, n. 1, p. 119-129, jun. de 2015.
- LOWENBERG-DEBOER, J. et al. Economics of robots and automation in field crop production. **Precision Agriculture**, 2018. Springer, p. 1-22, 2018.
- NEPAS – Núcleo de Ensino e Pesquisa em Automação e Simulação. **Agribot**. Disponível em: <<http://nepas.eesc.usp.br/roboticaagricola/index.php/robos-agricolas/agribot>>. Acesso em: 24 ago. 2020.
- RAJAMANI, R. *Vehicles Dynamics and Control*, Springer. USA. 2006.
- SILVEIRA, P. C. R. **Robô baseado em tecnologia celular Android e lógica nebulosa para inspeção e monitoração em usinas nucleares**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear) - COPPE/Programa de Engenharia Nuclear, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- TABILE, Rubens A et al. Design and development of the architecture of an agricultural mobile robot. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 130-142, fev. 2011.
- TORRES et al. Kinematic Study of an Agricultural Robotic Platform. **Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada.**, Pamplona, v. 2, n. 22, p. 131-137, 2013.