

AValiação de dois sistemas de automação para direção de uma colhedora de café em condição de movimento curvilíneo das rodas

**GUSTAVO V. VELOSO⁽¹⁾; MAURI M. TEIXERA⁽²⁾; MARCUS . M. DE OLIVEIRA⁽³⁾;
DOMINGOS S. M. VALENTE⁽⁴⁾; RAPHAEL M. G. MOREIRA⁽⁵⁾**

¹ Eng^o Agrícola e Ambiental, Pós-Graduando em Solos e Nutrição de Plantas, Depto. de Solos e Nutrição de Plantas, UFV, Viçosa - MG, Fone: (0XX31) 93769169, gustavo.v.veloso@gmail.com

² Engenheiro Agrícola, Prof. Adjunto, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG

³ Engenheiro Agrícola e Ambiental, Prof. Adjunto, Depto. de Engenharia, UFRRJ, Seropédica- RJ

⁴ Engenheiro Agrícola, Prof. Associado, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG

⁵ Eng^o Agrícola e Ambiental, Prof. Assistente, Depto. de Eng^a Agrônômica, IFES, Itapina - ES

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar dois sistemas de automação de um protótipo de colhedora de café em condição de movimento curvilíneo das rodas. Foram utilizados dois sistemas de direção, o primeiro com um conjunto de relés programáveis e a outra com plataforma Arduino. Os sistemas foram testados com relação à exatidão e precisão, utilizando escalas de marcação deslizante em cada uma das rodas para não provocar grandes esforços nas mesmas, os ensaios foram feitos com a colhedora suspensa. Foram testados oito ângulos de esterçamento, quatro ângulos para cada sentido de direção, estes foram escolhidos a partir da geometria de direção Ackermann e pelas dimensões da máquina. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Com os dados mensurados dos ângulos de esterçamento, fez-se a avaliação destes, por meio da comparação entre os ângulos previamente estabelecidos, ângulos de comando, e os ângulos obtidos pela leitura na escala. Os resultados mostram grande exatidão dos sistemas de direção, sendo que os dois não diferiram estatisticamente na maioria dos ângulos das quatro rodas, sendo o sistema de relés programáveis mais preciso que o sistema Arduino.

PALAVRAS-CHAVE: colheita de café, eletrônica, programação.

EVALUATION OF TWO AUTOMATION SYSTEMS THE DIRECTION OF A COFFEE HARVESTER CONDITION IN CURVILINEAR MOTION OF THE WHEELS

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate two systems for automation of a prototype coffee harvester on condition of curvilinear motion of the wheels. Two steering systems were used, using a system of programmable relays and other used Arduino platform. The systems were tested with respect to accuracy and precision using scales slider marking on each wheel. Not to cause significant efforts on the wheels, the tests were done with bated harvester being tested steering eight angles, four angles to each sense of direction. The angles were chosen from the geometry steering Ackerman and dimensions of the machine. The experiment was a completely randomized design with four replications. With the measured data (steering angles) made an assessment of the data, by comparing the previously established angles (angles of command) and angles obtained by reading the scale. The results show great accuracy the two steering systems, and the two systems did not differ statistically from most angles of the four wheels, with the system of programmable relays more accurate than the Arduino system.

KEYWORDS: coffee harvest, electronics, programming

INTRODUÇÃO:

Atualmente, o Brasil é o maior exportador de café, e isso representou 28,1 % das exportações mundiais de café no ano 2013. O café é o 6º produto na lista das exportações brasileiras, ficando atrás

da soja, carnes, complexos sucroalcooleiros, produtos florestais e cereais, farinhas e preparações (BRASIL, 2013). A colheita do café destaca-se por ser a operação mais complexa e importante, do ponto de vista do cafeicultor e, por consequência, a mais onerosa entre os processos usados na cultura (SILVA, 2004).

Um grande problema na colheita de café é a de falta de mão de obra. Em regiões montanhosas isso é um agravante, pois nesse tipo de relevo, a colheita é feita manualmente ou de modo semi-mecanizado. Com isso, há uma grande demanda de trabalhadores o que eleva os custos de produção (OLIVEIRA, 2009). Segundo Silva (2004) o sistema mecanizado pode substituir até 250 homens, se compararmos com a colheita manual, fazendo com que o custo operacional diminua o que irá refletir na redução dos custos da produção. As máquinas usadas no sistema mecanizado de colheita que disponíveis no mercado tem capacidade para operar em relevos com até 15% de declividade (CASE, 2009). Com isso, estas máquinas tornam-se inadequados para colheita de café em regiões de montanha, como a região da Zona da Mata Mineira, que podem apresentar declividades de até 100%.

O grande problema do uso de sistemas automatizados está no custo de aquisição em a necessidade de uma sistematização no plantio, no qual, os cafezais atualmente existentes em regiões montanhosas, não se enquadram. Assim é necessário um sistema que ainda se utiliza de um operador para supervisão do trabalho da máquina. Outra possível solução é o uso de câmeras e sistema de processamento de imagens digitais (XUE et al., 2012), que poderão ser utilizados em um futuro próximo entretanto, o elevado custo ainda é um entrave na utilização.

Outro grande empecilho para mecanização da colheita em regiões montanhosas é a altura do cafeeiro, pois as máquinas são projetadas para operar em alturas de serviço superiores aos 2 metros, o que eleva o centro de gravidade dessas máquinas. A operação das máquinas, com o centro de gravidade elevado em regiões planas não é considerado um inconveniente, contudo, em terrenos com declividade acentuada o risco de tombamento se torna elevado, o que pode resultar em acidentes e mortes dos operadores. Para tentar resolver esse problema, faz-se necessário o uso de um sistema de controle remoto, como por exemplo: via rádio, bluetooth[®], wi-fi ou sistema de controle por cabos.

Todos esses sistemas de controle da máquina são ligados às centrais de comando que a partir de algoritmos armazenados na memória, são usados para cumprir funções pré-definidas pelo operador assim como funções que serão definidas durante o processo de colheita. Os sistemas CLP (Controlador Lógico Programável) juntamente dos sistemas de reles programáveis são os mais utilizados devido à robustez e à facilidade de programação. Outro sistema usado em pequena escala é o sistema que utiliza de microcontroladores, que apresentam baixo custo e versatilidade. São exemplos de microcontroladores: a família PIC e microcontrolador Atmel. Assim o objetivo deste trabalho foi avaliar os dois sistemas de automação da direção de um protótipo de colhedora de café em condição de paralelismo das rodas.

MATERIAL E MÉTODOS:

Os experimentos foram conduzidos no laboratório de Mecanização Agrícola (LMA) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa – UFV. Os sistemas de automação e controle da máquina foram implementados na máquina colhedora de café em desenvolvimento no LMA (Figura 1).



Figura 1 – Colhedora de café para terrenos montanhosos em desenvolvimento no LMA

Foram utilizados dois sistemas de controle e automação, sendo eles um sistema reles programáveis da marca Novus modelo, modelo NSR-XCPU18-AR0-DC e mais dois módulos de extensão NSR-EXP8-AR0-DC, da mesma marca. O outro sistema composto por uma placa Arduino Mega 2560 e mais dois conjuntos de quatro relés. O sistema de reles programáveis recebe os dados de um controle remoto via rádio e, a partir de um programa instalado na memória, determina a ação dos motores relacionados à direção, para determinação do sentido da direção foi adicionado um potenciômetro em cada eixo da roda. Os quatro sensores da direção (potenciômetros) foram ligados às entradas analógicas do sistema de reles programáveis. Além disso, foram utilizadas cinco entradas digitais para direcionamento da máquina, sendo quatro entradas para o controle da direção, um botão de segurança do sistema, todos são acionados pelo controle remoto. Para o controle das chaves contadoras foram utilizados oito saídas digitais, que controlaram os motoredutores da direção. Assim, o sistema de direção da colhedora é composto pelo controle remoto, potenciômetro, reles programáveis, chaves contadoras e motoredutores, conforme apresentado no diagrama da Figura 2a para o sistema reles programáveis.

Para o sistema Arduino foi utilizado um Arduino Mega 2560 (Figura 2b) e um sistema de reles para cumprir a função feita pelo sistema reles programáveis, como mostra o diagrama da figura 2a. Os outros componentes do sistema permaneceram os mesmos.

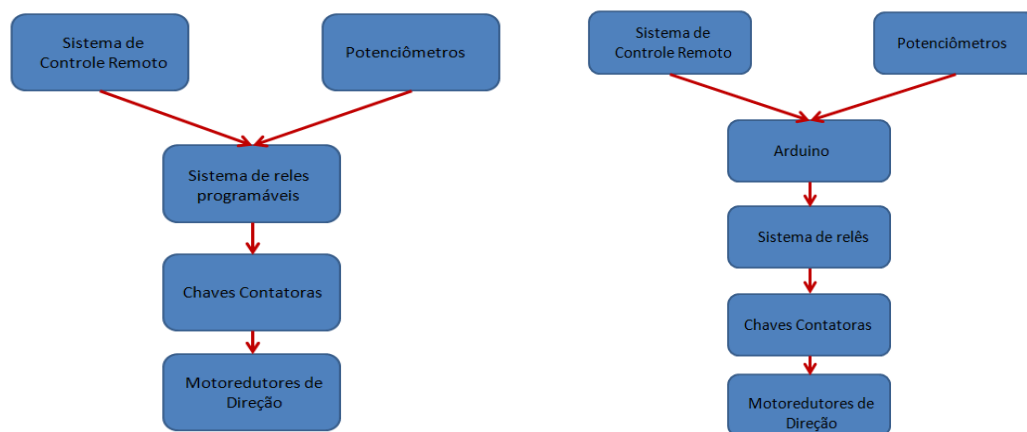


Figura 2 – (a) Diagrama de funcionamento do sistema de automação da direção da colhedora de café para o sistema reles programáveis e (b) diagrama de funcionamento do sistema de automação da direção da colhedora de café para o sistema Arduino.

Para o experimento foram ligados os quatro sensores de direção (potenciômetros), as entradas analógicas do Arduino Mega e os botões do controle remoto às entradas digitais com cinco botões, quatro para direção e um para segurança da máquina colhedora. A partir da programação, foram controlados 8 relés, que acionaram as chaves contadoras dos quatro motores da direção, sendo o controle realizado por oito saídas digitais no Arduino. Para acionamento das chaves contadoras foram utilizados dois conjuntos de quatro relés alimentados por uma tensão de 12 V e acionados por 8 saídas digitais do Arduino. Cada conjunto de 2 relés realiza o controle de uma roda, sendo um relé para cada sentido de giro da roda.

O controle do sistema da colhedora de café, via reles programáveis, foi elaborado pelo pesquisado Marcus Vinicius Moraes de Oliveira, sendo um algoritmo em sistema de programação em blocos, no programa MSRConfig, que foi utilizado como base na elaboração do algoritmo no sistema Arduino. Para controle do sistema via Arduino, foi desenvolvido um algoritmo de programação utilizando-se o ambiente de programação Arduino Integrated (IDE). A programação foi feita com as mesmas funções e modelos da programação do sistema reles programáveis.

Para os ensaios da direção, a máquina colhedora foi levantada com auxílio de macacos hidráulicos e apoiada sobre suportes de madeiras (Figura 3a), esse procedimento foi necessário para evitar o superaquecimento dos motores elétricos e possível queima dos mesmos, resultante dos grandes esforços no momento em que o sistema era posto em funcionamento quando a máquina se encontrava parada. Durante os ensaios foi analisada a capacidade de decisão do sistema da máquina,

nessa fase, foram utilizadas escalas em graus para a determinação do ângulo de esterçamento das rodas por meio de um sistema de marcação deslizante (Figura 3b).



Figura 3 – (a) Máquina colhedora apoiada sobre suportes de madeira e (b) Escala de marcação deslizante para marcação dos ângulos da roda

Durante os ensaios, para verificar a capacidade de tomada de decisão do sistema de automação, avaliou-se o sistema de direção com as rodas em movimento curvilíneo (Figura 4)

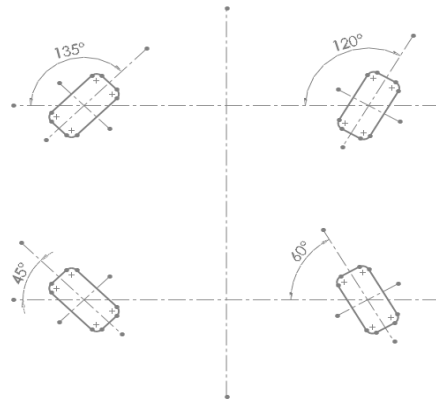


Figura 4 – Rodas em movimento em paralelo.

No ensaio do sistema de direção em movimento curvilíneo, foram feitas quatro repetições em quatro ângulos de esterçamento da roda. Para o estudo foi utilizada a geometria Ackermann, destinada à condição de curva de qualquer tipo de veículo, para as quatro rodas direcionais (Figura 5). Esta geometria leva em consideração o fato de que a roda mais próxima à curva deve possuir um ângulo de giro menor que a roda externa, além da roda interna percorrer um trajeto menor que a externa. Assim, com os dados preliminares e estudos em softwares CAD, foi possível calcular os ângulos de esterçamento das rodas e aplicá-los na máquina colhedora.

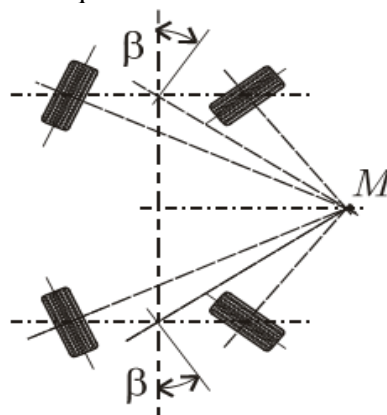


Figura 5– Geometria Ackermann empregada para as quatro rodas direcionais. Fonte: Leal et al. (2008).

Nos ensaios de movimento curvilíneo foram definidos ângulos de esterçamento da roda interna de 45, 55, 65, 75, 105, 115, 125 e 135°, e, para a roda externa de 21, 37, 56, 75, 105, 113, 143 e 159°, e cinco repetições, considerando as rodas 1 e 3, e 2 e 4 como internas e externas, respectivamente. Os dados gerados foram analisados de forma análoga à feita para o sistema em movimento paralelo.

A comparação foi realizada entre os sistemas de comando e de automação Arduino e reles programáveis no direcionamento das máquinas, com as rodas em movimento curvilíneo. Para as duas condições foram feitos testes de hipótese com duas médias para cada ângulo e cada roda, afim de comparação entre os valores para os dois sistemas (Arduino e reles programáveis) considerando a hipótese: $H_0: M_{\text{arduino}} = M_{\text{reles programáveis}}$ e $H_a: M_{\text{arduino}} \neq M_{\text{reles programáveis}}$, utilizando o teste t e adotando um nível de 5% de probabilidade.

MATERIAL E MÉTODOS:

3.1. Roda 1

As comparações para roda 1 em movimento curvilíneo entre os sistemas avaliados (FIGURAS 6a e 6b) não mostraram tendência para que o sistema de automação da direção Arduino e CLP subestimem ou superestimem ângulos de esterçamento iniciais ou finais, como ocorreu para o movimento em paralelo. O coeficiente de determinação se manteve alto (superior a 0,988), mostrando a precisão dos sistemas de direção, juntamente com os sensores potenciométricos.

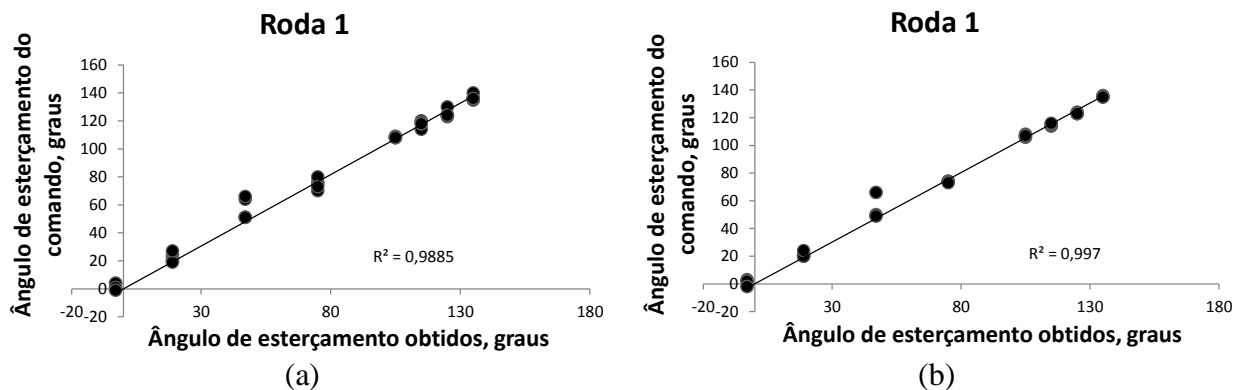


Figura 6 – Valores obtidos entre os ângulos de esterçamento observados e ângulos de esterçamento do comando para roda 1, no sistema automação da direção Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo.

Esse fato diferiu em relação à movimentação em paralelo, quando os dois sistemas foram comparados para a roda 1 (Tabela 1), verificou-se que, para a maioria dos ângulos de esterçamento previstos, os sistemas não diferiram estatisticamente. Dessa forma, ambos foram semelhantes para o movimento curvilíneo da máquina colhedora de café.

Tabela 1– Valores Médios dos ângulos de esterçamento obtidos em função do sistema de comando da colhedora e o ângulo de esterçamento de comando, no movimento curvilíneo para roda 1.

Ângulos de esterçamento previstos (graus)	Sistema de comando e automação	
	Arduino	CLP
-3	1,6 a	0,6 a
19	22,2 a	21,0 a
47	56,0 a	56,0 a
75	74,8 a	73,8 a
105	108,2 a	106,8 b
115	114,8 a	114,8 b
125	123,2 a	123,2 a
135	136,4 a	135,2 a

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de t a 5% de probabilidade.

3.2. Roda 2

Para a roda 2 (FIGURAS 7a e 7b), observou-se semelhança entre as comparação dos dois sistemas de automação da direção Arduino e CLP. Não houve tendência para superestimar ou subestimar os ângulos de esterçamento iniciais. Nos ângulos de esterçamento finais, os dados tenderam a permanecer sobre a curva de correlação linear. Os valores dos coeficientes de determinação para os dois sistemas foram altos, superiores a 0,998.

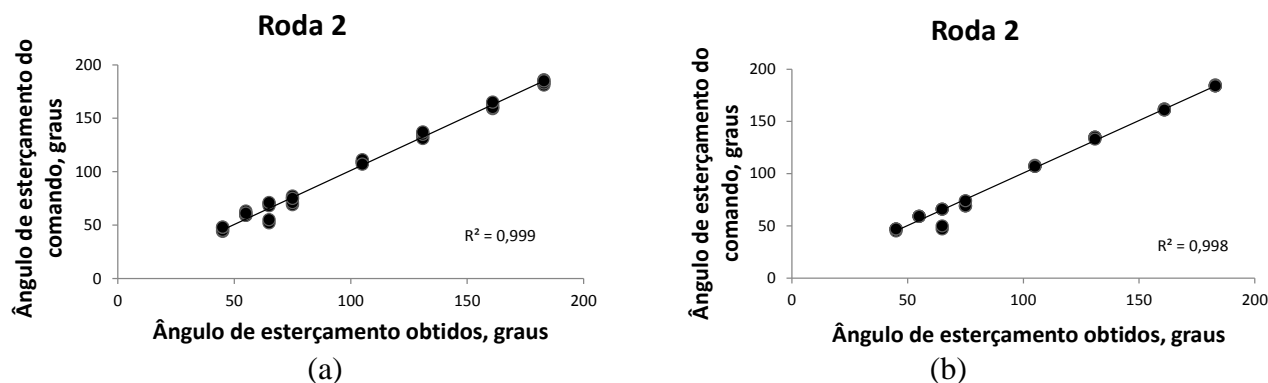


Figura 7 – Valores obtidos entre os ângulos de esterçamento observados e ângulos de esterçamento do comando para roda 2, no sistema automação da direção Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo.

Quando foram comparados os ângulos de esterçamento obtidos pelos dois sistemas de direção da colhedora (Tabela 2), observou-se que para a maioria dos ângulos de esterçamento previstos, não houve diferença significativa, assim como para o movimento curvilíneo da segunda roda. Dessa forma, os dois sistemas apresentaram níveis de precisão semelhantes. Os valores médios dos ângulos de esterçamento obtidos com os ângulos de esterçamento previstos pode se notar, para quase todos os ângulos, os valores dos ângulos de esterçamento obtidos são próximos aos ângulos de esterçamento previstos.

Tabela 2 – Valores Médios dos ângulos de esterçamento obtidos em função do sistema de comando da colhedora e o ângulo de esterçamento de comando, no movimento curvilíneo para roda 2.

Ângulos de esterçamento previstos (graus)	Sistema de comando e automação	
	Arduino	CLP
45	46,4 a	46,6 a
55	60,6 a	59,0 a
65	59,0 a	59,0 a
75	73,4 a	71,0 a
105	109,0 a	107,2 b
131	134,4 a	134,4 a
161	161,4 a	161,4 a
183	183,6 a	184,2 a

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de t a 5% de probabilidade.

3.3. Roda 3

Comparando as curvas para os dois sistemas de automação da colhedora (Figura 8a e 8b), não há tendência que os dois sistemas superestimem ou subestimem os ângulos de esterçamento iniciais ou finais. Os sistemas apresentam coeficientes de determinação elevados superiores a 0,991.

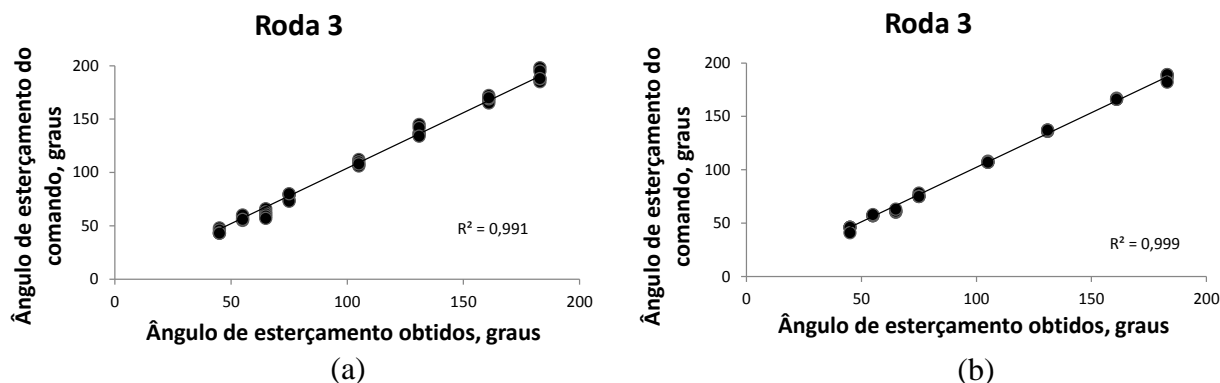


Figura 8 – Valores obtidos entre os ângulos de esterçamento observados e ângulos de esterçamento do comando para roda 3, no sistema automação da direção Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo.

Quando se comparou os ângulos de esterçamento para a Roda 3, obtidos para os dois sistemas de automação da direção da colhedora (Tabela 3), observou-se que, não houve diferença estatística para os ângulos de esterçamento previstos para os sistemas de direção avaliados. Assim, para o movimento curvilíneo da Roda 3, os dois sistemas foram semelhantes estatisticamente.

Tabela 3 – Valores Médios dos ângulos de esterçamento obtidos em função do sistema de comando da colhedora e o ângulo de esterçamento de comando, no movimento curvilíneo para Roda 3.

Ângulos de esterçamento previstos (graus)	Sistema de comando e automação	
	Arduino	CLP
45	44,6 a	45,0 a
55	57,2 a	57,2 a
65	61,2 a	61,2 a
75	77,0 a	75,6 a
105	108,6 a	107,2 a
131	136,6 a	136,6 a
161	168,6 a	166,2 a
183	190,8 a	186,8 a

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de t a 5% de probabilidade.

3.4. Roda 4

Foi observado uma semelhança entre os dois sistemas de direção para a Roda 4 (FIGURAS 9a e 9b). Todavia, Não houve tendência dos sistemas de direção para superestimar ou subestimar os ângulos de esterçamento dos sistemas de direção. Os valores dos coeficientes de determinação foram elevados (superiores a 0,986).

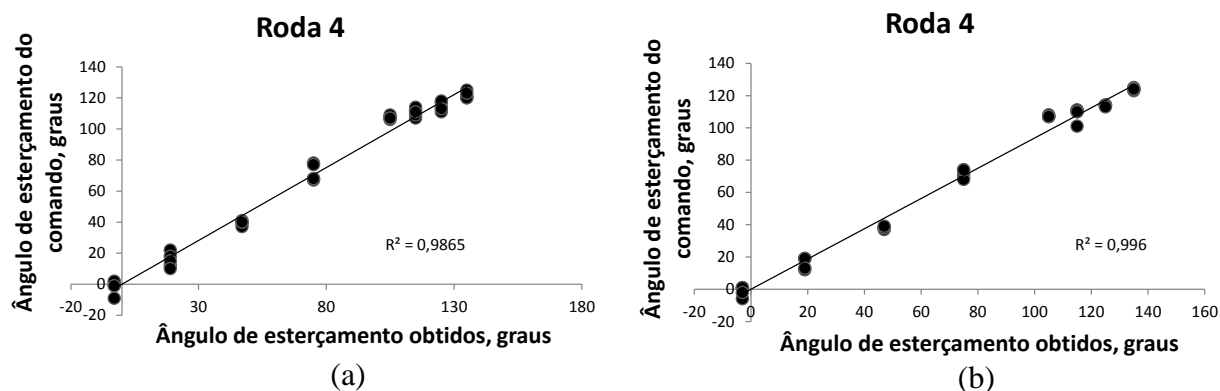


Figura 9 – Valores obtidos entre os ângulos de esterçamento observados e ângulos de esterçamento do comando para roda 4, no sistema automação da direção Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo.

Quando os ângulos de esterçamento obtidos dos dois sistemas de automação da direção foram comparados (Tabela 4), observou-se que não diferiram significativamente entre os dois sistemas, assim, para roda 4 os sistemas de direção foram estatisticamente iguais.

Tabela 4 – Valores Médios dos ângulos de esterçamento obtidos em função do sistema de comando da colhedora e o ângulo de esterçamento de comando, no movimento curvilíneo para roda 4.

Ângulos de esterçamento previstos (graus)	Sistema de comando e automação	
	Arduino	CLP
-3	-1,6 a	-1,0 a
19	16,4 a	16,4 a
47	38,0 a	38,0 a
75	71,6 a	71,2 a
105	107,4 a	107,2 a
115	108,6 a	108,6 a
125	114,6 a	113,8 a
135	121,8 a	124 a

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de t a 5% de probabilidade.

3.5. Comparação entre os sistemas de automação da direção da colhedora no movimento curvilíneo

Analisando-se os dados acima citados, observou-se que não houve diferença entre os sistemas de direção considerando o conjunto das quatro rodas dos sistemas. Assim, é possível afirmar que para o movimento curvilíneo da máquina, os dois sistemas de automação da direção (Arduino e CLP) mostraram-se equivalentes.

CONCLUSÕES:

Quando comparamos os sistemas de direção Arduino e de reles programáveis, considerando a direção das rodas em movimento curvilíneo, observou-se que elas não se diferem estatisticamente. Assim a utilização de qualquer um dos sistemas é viável para avaliação dos movimentos das rodas em movimento curvilíneo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento de Engenharia Agrícola da UFV por ceder a estrutura para a execução deste trabalho.

Agradecemos à FAPEMIG pelo apoio financeiro.

Agradecemos ao CNPq pela concessão da Bolsa de Pesquisa

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Informe Estatístico do Café. Dezembro 2013

CASE IH. **Colhedoras de café – Coffee Express**. 2009. 16p. Disponível em: <http://www.caseih.com/brazil/Products/Colhedoras-e-Colheitadeiras/Coffee-Express-100-e-200/Documents/Colheitadora%20de%20Cafe%20Folheto.pdf>. Acessado em 20/04/2014

LEAL, L.C.M.; ROSA, E.; NICOLAZZI, L.C.; **Uma Introdução à Modelagem Quase-Estática de Veículos Automotores de Rodas**, Apostila UFSC, 2008.

OLIVEIRA, E.; SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; SOUZA, Z. M.; CHALFOUN; S. M.; FIGUEIREDO; C. A. P. **Custos operacionais da colheita mecanizada do cafeeiro**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.42, n.6, p.827-831, jun. 2007.

SILVA, F. M.; **Colheita mecanizada e seletiva do café**: Cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004, 75p.

SILVA, F. M., KASHIMA, T., SALVADOR, N., RODRIGUES, R. F. OLIVEIRA, E. **Avaliação da influencia da colheita na produtividade da lavoura cafeeira. In. Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, 30., 2004, São Lourenço. Anais... Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2004, p. 258-259.

XUE, J., ZHANG, L., GRIFT, T. E. Variable field-of-view machine vision based row guidance of an agricultural robot. **Computers and Electronics in Agriculture**.v.84 n.1, p.85–91, 2012.