

GUSTAVO VIEIRA VELOSO

**AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE DIREÇÃO DE COLHEDORA DE
CAFÉ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da
Biblioteca Central da UFV

T

V443a Veloso, Gustavo Vieira, 1986-
2013 Automação do sistema de direção de colhedora de café / Gustavo
Vieira Veloso. - Viçosa, MG, 2013.
xv, 62f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Mauri Martins Teixeira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.36-39.

1. Café - Colheita. 2. Máquinas agrícolas - Projetos e construções.
3. Eletrônica. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 633.73

GUSTAVO VIEIRA VELOSO

AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE DIREÇÃO DE COLHEDORA DE CAFÉ

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 31 de julho de 2013.



Paulo Marcos de Barros Monteiro



Domingos Sárvio Magalhães

Valente

(Coorientador)



Mauri Martins Teixeira

(Orientador)

*À minha família e aos meus
amigos, especialmente, meu pai,
minha mãe e meu irmão.*

Se o conhecimento pode criar problemas, não é
através da ignorância que podemos solucioná-los.

Isaac Asimov

AGRADECIMENTOS

A Deus, por eu estar aqui defendendo a dissertação do Mestrado.

Aos meus pais pela ajuda nos momento mais difíceis da minha vida.

À minha família, especialmente meu irmão, pelos ensinamentos e apoio durante essa jornada no curso de graduação e de pós-graduação.

Ao Orientador e Prof. Mauri Martins Teixeira por toda atenção e ensinamentos e por acreditar em mim nas horas difíceis.

Aos Coorientadores e Professores Haroldo Carlos Fernandes pelo apoio nessa dissertação, Domingos Sárvio Magalhães Valente pelo apoio e pelas ideias.

Ao meu colega de trabalho Marcus Vinicius Morais de Oliveira pelo apoio e amizade.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela formação acadêmica e pelo crescimento intelectual e profissional e à todos os funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola pelo apoio.

Aos membros, ex-membros e estagiários do projeto de Extensão UFVBaja pelos ensinamentos e conhecimentos adquiridos. Sem eles eu não estaria aqui “Pula UFVBAJA pererecas”.

Aos Professores do Departamento de Solo e Nutrição de Plantas, principalmente Prof. João Luiz Lani e Prof. Luiz Eduardo Dias pelos conhecimentos passados.

Aos colegas da mecanização, pelo apoio, principalmente a professora Geice Paula Villibor e Raphael Magalhães Gomes Moreira, pelo incentivo nas horas difíceis.

Ao professor Ricardo Capúcio de Resende por ser um exemplo de pessoa a seguir e pelos conhecimentos únicos passados para esse seu ex-aluno e amigo. E por ensinar, que mesmo sendo difícil, a seguir o caminho da inovação.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) que permitiram meu crescimento profissional, pessoal e a conquista desse título.

Enfim, a todas aquelas pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu alcançasse este sonho. A todos o meu muito obrigado.

BIOGRAFIA

GUSTAVO VIEIRA VELOSO, filho de Marcos Sebastião Veloso e Maria Madalena Vieira Veloso, nasceu em Montes Claros, estado de Minas Gerais, no dia 29 de Outubro de 1986.

Em 2006, iniciou o curso de Engenharia Agrícola e Ambiental na Universidade Federal de Viçosa (UFV), graduou-se em julho de 2011.

Em Agosto de 2011 iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa (UFV).

ÍNDICE

LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	04
2.1. Objetivos Gerais	04
2.2. Objetivos específicos	04
3. REVISÃO DE LITERATURA	05
3.1. Colheita de café mecanizada	05
3.2. Automação do sistema de direção de máquinas	06
3.3. Microcontroladores	07
3.4. Controlador lógico programável-CLP	08
3.5. Plataforma Arduino	09
4. MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1. Elaboração do projeto de automação e controle da direção da máquina na plataforma CLP	10
4.1.1. Plataforma CLP	11
4.2. Elaboração do projeto de automação e controle da direção da máquina na plataforma Arduino	11
4.2.1. Plataforma Arduino	12
4.2.2. Sistema de acionamento das chaves contadoras	13
4.3. Construção do sistema da direção de baixo custo	13
4.4. Algoritmo de Programação.....	14
4.5. Ensaio do sistema de comando e automação da direção da máquina colhedora.....	16
4.5.1. Ensaio do sistema de comando e automação da direção da máquina colhedora em movimentação em paralelo	17
4.5.2. Ensaio do sistema de comando e automação da direção da máquina colhedora em movimentação curvilínea	17
4.5.3. Comparação entre os sistemas de direção da máquina colhedora	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1. Rodas em movimentação paralela ..	19
4.1.1. Rodas 1	19
4.1.2. Rodas 2	21
4.1.3. Rodas 3	23
4.1.4. Rodas 4	25

4.1.5. Comparação entre os sistemas de automação da direção da colhedora no movimento paralelo	27
4.2. Rodas em movimentação curvilínea	27
4.2.1. Rodas 1	27
4.2.2. Rodas 2	29
4.2.3. Rodas 3	31
4.2.4. Rodas 4	33
4.2.5. Comparação entre os sistemas de automação da direção da colhedora no movimento curvilíneo	34
5. CONCLUSÃO.....	35
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
7. ANEXO A	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 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 paralelo para roda 1	20
Quadro 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 paralelo para roda 2.	22
Quadro 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 paralelo para roda 3	24
Quadro 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 paralelo para roda 4	26
Quadro 5. 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	28
Quadro 6. 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.....	30
Quadro 7. 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	32
Quadro 8. 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	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Blocos de um CLP	09
Figura 2. Colhedora de café para terrenos montanhosos em desenvolvimento no LMA.....	10
Figura 3. Diagrama de funcionamento do sistema de automação da direção da colhedora de café para o sistema CLP	11
Figura 4. Diagrama de funcionamento do sistema de automação da direção da colhedora de café para o sistema CLP	12
Figura 5. Placa Arduino Mega 2560.....	12
Figura 6. Conjunto acionador de relés	13
Figura 7. Sistema de controle e automação Arduino.....	14
Figura 8. Programação utilizada para automação através do sistema CLP	15
Figura 9. Máquina colhedora apoiada sobre suportes de madeira	16
Figura 10. Escala de marcação deslizante para marcação dos ângulos da roda..	16
Figura 11. Rodas em movimento em paralelo (A) e rodas em movimento de curvilíneo (B)	17
Figura 12. Geometria Ackermann empregada para as quatro rodas direcionais.	18
Figura 13. 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 em paralelo	19
Figura 14. Análise do resíduo versus o ângulo de esterçamento de comando para roda 1 no sistema de automação Arduino (a) e CLP (b) para o movimento paralelo	20
Figura 15. 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 em paralelo	21
Figura 16. Análise do resíduo versus o ângulo de esterçamento de comando para roda 2 no sistema de automação Arduino (a) e CLP (b) para o movimento paralelo	22
Figura 17. Valores obtidos entre os ângulos de esterçamento observado e ângulos de esterçamento do comando para roda 3 no sistema automação da direção Arduino (a) e CLP (b) para o movimento em paralelo	23
Figura 18. Análise do resíduo versus o ângulo de esterçamento de comando para roda 3 no sistema de automação Arduino (a) e CLP (b) para o movimento paralelo	24
Figura 19. 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 em paralelo	25
Figura 20. Análise do resíduo versus o ângulo de esterçamento de comando para roda 4 no sistema de automação Arduino (a) e CLP (b) para o movimento paralelo	26
Figura 21. Valores obtidos entre os ângulos de esterçamento observado e ângulos de esterçamento do comando para roda 1 no sistema automação da direção Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo.....	27

Figura 22. Análise do resíduo versus o ângulo de esterçamento de comando para a roda13 no sistema de automação Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo.	28
Figura 23. 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.....	29
Figura 24. Análise do resíduo versus o ângulo de esterçamento de comando para a roda 2 no sistema de automação Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo .	30
Figura 25. 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.....	31
Figura 26. Análise do resíduo versus o ângulo de esterçamento de comando para a roda 3 no sistema de automação Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo .	32
Figura 27. 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.....	33
Figura 28. Análise do resíduo versus o ângulo de esterçamento de comando para a roda 4 no sistema de automação Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo .	33

RESUMO

VELOSO, Gustavo Vieira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2013. **Automação do sistema de direção de uma colhedora de café.** Orientador: Mauri Martins Teixeira. Coorientadores: Haroldo Carlos Fernandes e Domingos Sárvio Magalhães Valente.

O café é um dos principais itens de exportação do Brasil, como um dos líderes na balança comercial, e responsável por gerar um grande número de empregos. A colheita é a operação mais complexa e dispendiosa dentro do processo produtivo deste grão, principalmente em relação à mão de obra. Assim, cada vez mais, se faz necessário mecanizar esse processo. A colheita pode ser realizada de três formas: a manual, a semi-mecanizada e a mecanizada. A mecanização da coleta do café promove a diminuição da mão-de-obra necessária, que incorre na redução dos custos de produção. Entretanto, não há uma solução plenamente executável para a mecanização da colheita do café em regiões montanhosas. Assim sendo, os altos custos associados com a colheita manual, nestas regiões, são repassados ao consumidor. Para reduzir os custos da colheita, pesquisas estão sendo realizadas para o desenvolvimento de colhedoras adaptadas para este tipo de relevo. O grande empecilho está relacionado à manobrabilidade e ao risco de tombamento da colhedora. Assim, há a necessidade da construção de um sistema de máquina adaptado à declividade do terreno, e isso irá demandar o desenvolvimento de um sistema de direção das rodas desta máquina em questão que seja inovador. Em outras monoculturas, o conceito de orientação automática já vem sendo realizado, com o uso de componentes eletrônicos associados com o maquinário agrícola. Todos os sistemas de controle da máquina são ligados uma central de comando. Por sua vez, a central utiliza algoritmos armazenados em sua memória, para executar funções preestabelecidas pelo operador. Como, por exemplo, a execução as funções de direção e controle da máquina na área de colheita. Para isso existem sistemas CLP (controlador lógico programável) que empregam microcontroladores responsáveis pelos controles dos sistemas de direção de máquinas agrícolas. Entre os sistemas microcontrolados, tem-se a plataforma Arduino, que vem ganhando força devido ao seu baixo custo de aquisição dos componentes e a simplicidade de programação. Desse modo, o objetivo desse trabalho foi desenvolver dois sistemas de controle da direção de uma colhedora de café para regiões montanhosas, com base em CLP e Arduino. Os dois sistemas de

controle da colhedora foram avaliados e comparados em laboratório. Os sistemas foram montados na colhedora de café, e foram utilizados sensores potenciométricos para controlar a direção das rodas. O ângulo de esterçamento das rodas executado a partir do algoritmo foi o critério utilizado para avaliação dos sistemas desenvolvidos. Durante o estudo foram considerados dois tipos de movimentos da máquina. O primeiro foi realizado com as rodas em paralelo, enquanto o segundo com as rodas em movimento curvilíneo. Para o sistema de movimentação em paralelo, foram considerados doze (12) ângulos de execução e para o sistema em movimento curvilíneo, foram considerados oito (8) ângulos de execução. O delineamento inteiramente casualizado foi aplicado na realização desse estudo, com quatro repetições para a movimentação em paralelo e cinco repetições para o curvilíneo. Para os dois sistemas foram feitas validações, sendo comparados os resultados em cada roda e em cada movimento (paralelo e curvilíneo). Os resultados mostraram uma grande exatidão para os dois sistemas desenvolvidos, quanto ao movimento em paralelo, para todas as rodas. Sendo que, o sistema CLP foi mais preciso que o sistema Arduino. Para o movimento curvilíneo, os dois sistemas apresentaram grande exatidão, praticamente iguais estatisticamente. Os resultados nos movimento em paralelo mostram que o sistema CLP é mais preciso que o sistema Arduino, sendo mais recomendado para aplicação na colhedora. Para o movimento em curvilíneo não houve diferença estatística, assim poderá ser usado qual um dos dois sistemas.

ABSTRACT

VELOSO, Gustavo Vieira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2013. **Automation system direction of a coffee harvester**. Adviser: Mauri Martins teixeira. Co-Advisers: Haroldo Carlos Fernandes and Domigos Sárvio Magalhães Valente,

Coffee is one of the most important products exported by Brazil, it is responsible for many employments, and keeps a positive balance of trade, as well. The harvest is the most complex and expensive operation on grain production process, principally in relation to the labor. As a result, it is increasing the necessity of mechanizing. There are three types of harvest: manual, semi-manual and mechanical. The mechanical coffee harvesting decreases the labor necessary on the process, which causes reduction of production costs. However, there is not fully executable solution for mechanical harvesting in mountainous region. For this reason, the costs related to the manual harvesting are transferred to the consumers in these regions. In order to reduce the harvesting costs, many researches have been developed to adjust coffee harvesters to this type of relief. The biggest obstacles are the risk of coffee harvester tipping and the difficult to maneuver the machine. Therefore, it is necessary to build a machinery system adapted to the terrain slope and it will demand an innovative steering wheel system. The concept of automatic vehicle guidance has already happened in other types of monocrops, using electronic components associated to the agricultural machinery. All machine control systems are connected to the central command, which applies algorithms stored in the memory, to perform pre-established tasks by the operator. For example, functions of the machine such as guidance and control on the harvesting area. For this reason, there are PLC systems (Programmable Logic Controller) that use microcontrollers to control the guidance systems of agricultural machinery. Among the microcontrollers systems, the Arduino platform is highlighted due to its low cost of components and simplicity of programming language. The main objective of this work was to develop two control systems to the coffee harvester guidance, based on PCL system and Arduino platform. Both systems were evaluated and compared in laboratory. The systems were assembled in the coffee harvester and potentiometric sensors were used to control the steering wheel. The steering wheel angle run from algorithm was the criterion used to evaluate the developed system. This study considered two movements of the machine. The first was realized with tires in parallel while the second was with

tires in curvilinear motion. It was considered twelve angles of execution to the parallel system motion and to the curvilinear motion was considered eight angles of execution. The entire random delineation was applied with four replications to the parallel motion and five to the curvilinear motion. Both steering wheel systems were compared through their results in each tire and motion (parallel and curvilinear). The steering wheel systems of coffee harvesters were developed and the results showed great accuracy for both systems, as much to the parallel motion as to all tires. The systems obtained great precision and were practically equals statistically on the curvilinear motion. However, the PLC system was more accurate than the Arduino system.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil é o maior exportador de café, e isso representou 32,3 % das exportações mundiais de café no ano 2011. O café é o 5º produto na lista das exportações brasileiras, ficando atrás da soja, carnes, complexos sucroalcooleiros e produtos florestais (BRASIL, 2012). O Estado de Minas Gerais, na safra de café 2011/2012, produziu 22,18 milhões de sacas, com participação de 51 % da produção brasileira. É ainda o maior produtor nacional de café da espécie arábica, com 68 % da produção. No Estado de Minas Gerais, a região da Zona da Mata Mineira juntamente com as regiões do Jequitinhonha, Mucuri, Rio Doce, Central e Norte produzem cerca de 17,8 % da produção nacional. 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).

A colheita de café pode ser feita de três formas: manual, semi-mecanizada e mecanizada. A colheita manual é realizada sem utilização de nenhum equipamento mecânico durante o processo de derriça e colheita, a não ser o transporte entre a lavoura e a área de beneficiamento dos grãos. A colheita semi-mecanizada ocorre, quando, em alguma etapa do processo de colheita, são utilizadas máquinas, sendo elas, derriçadoras e recolhedoras portáteis.

A colheita mecanizada é feita quando todo o processo utiliza máquinas, sejam elas tratorizadas ou auto-propelidas. É importante que seja levantada a questão do “repasso”, que pode ser necessário na colheita mecanizada, com objetivo de derriçar e recolher manualmente os frutos, após a colheita semi-mecanizada e mecanizada, visto que as máquinas ainda não apresentam uma eficiência de 100%

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). Como se trata de um trabalho muito árduo, a mão de obra tem-se tornado cada vez mais escassa para a etapa da colheita.

Segundo Barbosa et al. (2005), o sistema de colheita semi-mecanizada é mais eficiente, se comparado ao sistema manual com relação ao volume de café derriçado, na eficiência de colheita do café e no custo da colheita.

Outro fator importante está relacionado ao uso da mão de obra que pode ser reduzido em até 60% com a utilização da colheita mecanizada em comparação à manual e 30% em comparação à colheita semi-mecanizada (SILVA, et al., 2004). A mecanização das operações de colheita do café tem trazido vários benefícios ao processo, destacando-se a rapidez, e sobretudo a redução dos custos (SILVA et al. 2004; Pádua et al. 2000).

Segundo Silva (2001), as operações de cultivo tem o maior registro de mecanização, sendo o plantio e a colheita considerados operações ainda são pouco mecanizadas. Isso mostra um grande avanço na colheita mecanizada. Oliveira et al. (2007) encontrou uma diminuição de custos entre colheita mecanizada e manual de 48,96 a 62,36%, mostrando que o uso da colheita mecanizada pode diminuir o custo e aumentar os lucros dos produtores.

Segundo Figueira et al. (2000), a aplicação de um sistema de colheita semi-mecanizada proporcionou maior desempenho operacional, quando comparado com a colheita manual, fazendo com que pequenos e médios produtores aderissem a esse sistema. Segundo Silva et al. (1997), o uso de derriçadoras portáteis apresenta rendimento oito vezes superior à colheita manual.

O sistema semi-mecanizado pode amparar a escassez de mão de obra nas lavouras cafeeiras, e a adoção de derriçadoras portáteis pode melhorar a remuneração do operador, visto que o uso desse equipamento e a sua manutenção necessitam de melhor qualificação técnica (SOUZA, 2006).

Outro fator importante está relacionado à mão de obra necessária para colheita semi-mecanizada. São necessários três funcionários para o processo, sendo um derriçando e outros dois no repasse, levantamento e abanação dos frutos de café (SILVA, 2010), o que constitui ainda um grande número, quando comparado com o sistema mecanizado.

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%.

Em regiões montanhosas, ainda não existe uma solução viável capaz de reduzir os custos da colheita, o que faz com que o produtor repasse os altos custos de produção

para o consumidor. A baixa oferta de mão de obra colabora no aumento do tempo de colheita. O longo tempo gasto na colheita manual faz com que os grãos percam qualidade, levando à diminuição do preço de mercado.

A falta de sistematização no plantio dos cafezais é uma limitação a aplicação da colheita mecanizada. Isso faz com que as máquinas atuais não realizem as todas as manobras necessárias no interior do cafezal, durante o processo da colheita. Os principais empecilhos estão relacionados à “manobrabilidade” e ao risco de tombamento da máquina sob declividades elevadas. Para tanto, as pesquisas destina-se ao desenvolvimento de sistemas que se adaptem ao terreno de acordo com a declividade, sendo necessário o desenvolvimento de um sistema inovador de direção das rodas e de controle de nivelamento.

Existem alguns métodos para o desenvolvimento desse sistema de direção e de acionamentos, que podem ser feitos empregando-se sistemas hidráulicos, com bombas e motores hidráulicos ligados a solenoides, motores elétricos ligados a sistemas de chaves e sistemas mecânicos para os sistemas acionadores. Quanto ao sistema de direção, os mais comuns são sistemas mecânicos–elétricos, mecânicos-hidráulicos ou elétricos.

Em outras culturas o conceito de sistema de orientação automática já vem sendo feito há muito tempo, com a utilização de componentes eletrônicos e controles hidráulicos (ADAMS, 2007). Existem pesquisas nas quais a direção das máquinas são totalmente automatizadas, usando sistemas GPS RTK (SLAUGHTER et al., 2008).

O grande problema do uso de sistemas automatizados está no custo de aquisição e na 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 entrave está relacionado à 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 são um inconveniente, contudo, em terrenos com declividade acentuada, o risco de tombamento é elevado. 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. Atualmente essas centrais de comando são muito utilizadas em várias áreas. O sistema CLP (Controlador Lógico Programável) é o mais usado 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.

Atualmente existe uma plataforma que vem ganhando forma, a plataforma Arduino, devido ao baixo custo de aquisição e também à grande facilidade de programação, o que fez com que entusiastas da área de eletrônica começassem projetos utilizando essa plataforma. Há várias pesquisas com resultados surpreendentes em diversas áreas das ciências, mostrando que a utilização da plataforma Arduino tem uma gama muito grande, além de apresentar outras possibilidades que não foram descobertas ou ainda estão em desenvolvimento.

2. Objetivos

2.1. Objetivo Geral

Desenvolver e comparar os sistemas para automação e controle da direção de uma colhedora de café.

2.2. Objetivos Específicos

- Elaborar o projeto de automação e controle do sistema direcional da máquina colhedora de café, empregando os sistemas CLP e Arduino
- Construir os sistemas de automação da direção da máquina colhedora, empregando-se a plataforma Arduino e outra para CLP;
- Avaliar em laboratório o sistema de controle, usando os sistemas CLP e Arduino;
- Comparar os dois sistemas (CLP e Arduino) de direção.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Colheita de café mecanizada

Na colheita de qualquer tipo de produto agrícola, como na cafeicultura, existe a tendência de empregar a mecanização com a finalidade de redução dos custos e aumento dos lucros. Oliveira et al. (2007) relatam uma redução dos custos totais de 62,3 %, quando se compara a colheita mecanizada com a colheita manual. Lanna e Reis (2012) citam os menores custos da colheita mecanizada e os melhores resultados dos indicadores econômico-financeiros quando, se compara a colheita mecanizada com a colheita manual do café, no sul de Minas Gerais.

A colheita mecanizada quando comparadas a com a colheita semi-mecanizada, apresentam o melhor desempenho, tanto na capacidade como na eficiência de derriça e colheita (OLIVEIRA, 2009). Pádua et al. (2000), cita o menor custo na colheita mecanizada em comparação à manual e à semi-mecanizada.

Para Ortega et al. (2009), a colheita do café é mais difícil de ser executada do que a de outros produtos, em razão da estrutura da planta, da desuniformidade de maturação que e do teor de umidade dos frutos. Isso pode levar a produção de um café de pior qualidade devido à mistura de grãos maduros e verdes. Outro problema está relacionado com a inclinação do terreno onde está plantado o cafezal.

Os métodos tradicionais de mecanização da colheita do café só são possíveis em terrenos com declividade de até 20%. Para algumas máquinas esse valor cai para 15% (CASE, 2009), ou ainda, menos 10% (JACTO, 2013). Isso, associado às limitações operacionais e econômicas, mostra que a mecanização depende sempre da complementação do serviço braçal, em terras de maiores declividades. (ORTEGA et. al., 2009).

As informações acima mostram o grande mercado para sistemas mecanizados com declividades altas, principalmente na região sudeste do Brasil, visto a grande quantidade de cafezais em regiões de terreno inclinado. Segundo Silva (2004), o sistema mecanizado pode substituir até 250 homens em comparação com a colheita manual, fazendo com que o custo operacional diminua, refletindo na redução dos custos da produção. Essa afirmação também pode ser relevante quando adicionamos a falta de mão de obra que existe para a colheita e o beneficiamento do café (MOREIRA et al., 2012).

O uso de máquinas para colheita pode ser considerado um grande gargalo para o aumento da produção na cultura cafeeira. Sales (2011) esclarece que colheita do café é uma operação complexa, apresentando várias etapas, o que corresponde a 30% do custo de produção e 40% da mão de obra empregada. Atualmente há uma grande expansão da mecanização das operações de colheita, tratando-se de um processo fundamental e irreversível, que visa, sobretudo, à valorização do homem e à maximização dos resultados das safras.

3.2. Automação dos sistema de direção de máquinas

Historicamente, o surgimento da automação está ligado à mecanização e primordialmente, à otimização do trabalho humano, com o objetivo de diminuir os esforços, bem como o aumento de produtividade e da qualidade das ações e atividades (SOUZA e OLIVEIRA, 2006). Moraes e Castrucci (2001) caracterizam um sistema de automação, como um sistema que utiliza recursos que operem substituindo o trabalho humano, tentado solucionar de maneira rápida e econômica problemas das áreas industriais e de serviços.

Na agricultura a automação começou com a introdução da rede de satélites Global Positioning System (GPS) e com o uso da agricultura de precisão nos anos 1980, quando foi produzido o primeiro mapa de produtividade (BRASIL, 2009). Com o advento da agricultura de precisão houve um avanço em outras áreas, entre elas o sistema de direcionamento de máquinas agrícolas, com o uso de sensores óticos (DERRAS et al., 1991; CHATEAU et al., 1997; CHATEAU,1999; CHATEAU et al., 2000).

Outras perspectivas estão relacionadas ao uso de redes sem fios para direcionamento das máquinas agrícolas. Atualmente há pesquisas em que estão sendo utilizadas análises de imagem para direcionamento de máquinas agrícolas (XUE et al., 2012; LENAERTS et al., 2012).

A aplicação de Veículos Agrícolas Autônomos (VAA's) e de Robôs Agrícolas Móveis (RAM's) na UE (KEICHER e SEUFERT, 2000) e em países como EUA (REID et al., 2000) e Japão (TORII, 2000) é vista como uma forte tendência e verifica-se um grande avanço em pesquisas nessa área.

Com a automação, é cada vez menor a necessidade do uso de mão de obra, sendo esta utilizada para a supervisão do trabalho. Assim, tem-se o aumento pela demanda dos sistemas automáticos. Nos dias de hoje existem testes para criação de máquinas

totalmente automáticas destinadas ao controle de ervas daninhas, por meio do sistema de GPS' RTK e imagens (SLAUGHTER et al., 2008).

Harrell et al. (1988), observaram que um sistema de robô agrícola automático inclui três componentes básicos: um sistema de sensores para medir importantes propriedades físicas e biológicas do sistema agrícola; a capacidade de tomada de decisão para a informação do processamento a partir do sistema de sensor para determinar como o sistema agrícola deve ser manipulado; e atuadores para manipular o sistema agrícola em conformidade.

3.3. Microcontroladores

Segundo Moreira (2010), um microcontrolador é um circuito integrado que contém um processador simples, conjugado a funções de suporte, tais como: oscilador de cristal, temporizadores, porta de série, etc. Os microcontroladores nasceram no final da década de 60 e início da década de 70, quando a Intel passou a produzir em massa o microprocessador 4004, da Intel.

O microcontrolador difere do microprocessador em vários aspectos, sendo a funcionalidade o item de maior importância. Os microprocessadores precisam de vários componentes que devem ser adicionados ao sistema para seu funcionamento, tais como memória e componentes para receber dados. Já o microcontrolador não necessita de periféricos adicionados para realizar suas funções, ou seja, ele é projetado para ter tudo em um só componente. Um microcontrolador tem algumas vantagens em relação ao microprocessador, é menor, mais barato e exige menor consumo de corrente (MONTEIRO JUNIOR, et al. 2012).

Os microcontroladores são utilizados em quase todas as áreas, equipando muitos aparelhos eletrônicos considerados “inteligentes” Moreira (2010). Antigamente, os microcontroladores usavam linguagem de programação assembly, com rigorosas desvantagens na programação. Hoje em dia, os microcontroladores utilizam linguagem de programação de alto nível como BASIC, PASCAL e C. As linguagens de alto nível são mais simples que a linguagem assembly (IBRAHIM, 2008).

A utilização de linguagens de programação de alto nível fez com que os microcontroladores se popularizassem. Atualmente eles são utilizados em vários projetos, sendo mais utilizados os microcontroladores PIC, produzidos pelo Microchip Technology e ATmega, produzidos pela Atmel Corporation.

3.4. Controlador lógico programável (CLP)

Segundo Mamede Filho (2002), o CLP's são dispositivos que possibilitam o controle de máquinas e equipamentos de forma simples e flexível, também sendo possíveis alterações no modo de operá-los, por meio de mudanças nos programas que estão armazenados na memória.

Os CLP's são utilizados desde meados dos anos 70. A criação ocorreu dentro da General Motors, em 1968, devido à dificuldade de mudança da lógica dos painéis de comando, quando ocorria modificações da linha de montagem (PINTO, 2008). O CLP pode ser utilizado sozinho ou acoplado a outra unidade, com projetos que apresentam dimensões grandes, quando os CLP's precisam trabalhar sincronizados (BOARETTO, 2005). Na agricultura os CLP's são utilizados em controle climático, em casa de vegetação (CANSADO e SARAIVA, 2003), em automatização de máquinas agrícolas (KAY, et al., 2012), acionamento de sistema de irrigação, etc.

Redigolo (2011) define a constituição do CLP em quatro partes:

- a) Fonte de alimentação: responsável pela energização do equipamento;
- b) Entradas: são responsáveis pelo recebimento de sinais oriundos do processo (botões e sensores);
- c) CPU (Unidade Central de Processamento): efetua o processamento da informação. É o local onde se encontra o microprocessador, responsável pelo sistema de memória e de circuitos de controle;
- d) Saídas: contatos físicos onde são conectados os dispositivos elétricos, que se deseja controlar.

A Figura 1 refere-se ao diagrama de blocos de um CLP, demonstrando o funcionamento do CLP. Os sensores são utilizados na entrada e alimentam o CLP constantemente. Os sensores informam através de níveis lógicos as condições de estado do funcionamento. Através do programa contido na memória do sistema, o CLP atua no por meio de saídas, em atuadores elétricos. Todas as ações são feitas em tempo real.

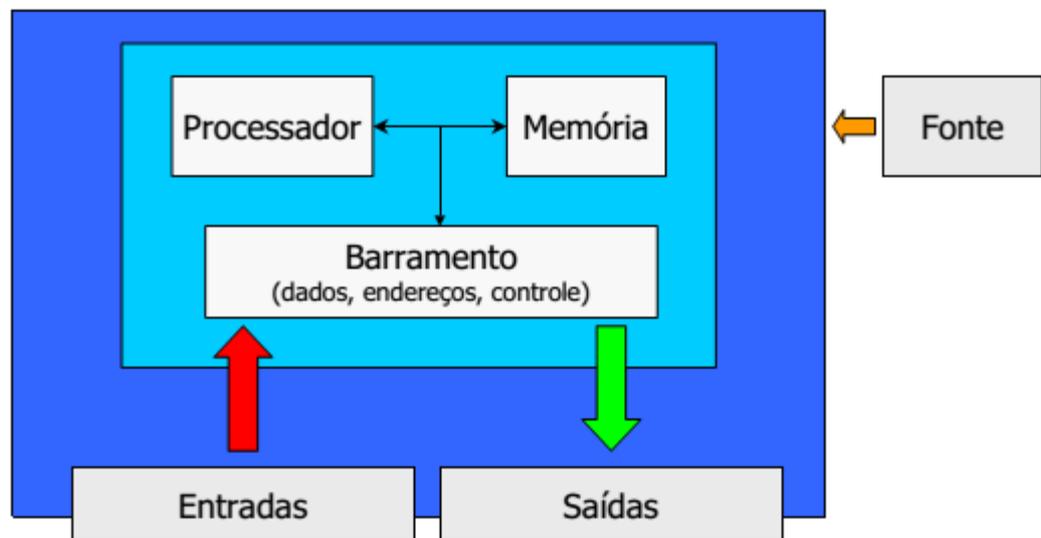


Figura 1 – Diagrama de Blocos de um CLP. Fonte: WEG (2002)

3.5. Plataforma Arduino

O Arduino é uma plataforma de hardware código aberto, contendo microcontroladores produzidos pela Atmel Corporation da família ATmega. Atualmente existem versões como microcontroladores ARM. A programação é feita no ambiente de desenvolvimento Arduino Integrated (IDE) software, baseada na IDE Processing. O programa é baseado na linguagem de programação C (TEIKARI, 2011). Existem vários modelos em plataforma Arduino. Cada modelo utilizado é criado para condições específicas de tamanho e memória.

Os pesquisadores começaram a elaborar projetos baseados na plataforma Arduino, com uma variedade de aplicações. Na agricultura eles estão sendo utilizados em sensores wireless (GARCIA et al., 2009), automatização de pulverizadores (Manhani, 2011), leitura de sensores na irrigação (Monteiro JUNIOR et al. 2012), dentre outros. O uso da plataforma Arduino está difundido devido à facilidade de utilização, baixo custo, componentes padronizados e linguagem de programação. Todos citados como razões para a escolha da plataforma Arduino (FISHER e GOULD, 2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no laboratório de Mecanização Agrícola (LMA) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa – UFV.

O sistema de automação e controle da máquina foi implementado para a máquina colhedora de café em desenvolvimento no LMA (Figura 2).



Figura 2 – Colhedora de café para terrenos montanhosos em desenvolvimento no LMA

4.1. Elaboração do projeto de automação e controle da direção da máquina na plataforma CLP

Atualmente a automação e o controle da direção da colhedora é feito utilizando-se um controlador lógico programável-CLP, modelo NSR-XCPU18-AR0-DC, marca Novus e mais dois módulos de extensão NSR-EXP8-AR0-DC, da mesma marca. O sistema contém 16 entradas analógicas/digitais, 4 entradas digitais e 12 saídas.

O CLP recebe dados de um controle remoto, via rádio e, a partir de um programa instalado na memória, determina a ação dos motores relacionados à direção. Assim, o sistema de direção da colhedora é composto pelo controle remoto, potenciômetro, controlador lógico programável, chaves contadoras e motoredutores, conforme apresentado no diagrama da Figura 3 para o sistema CLP.

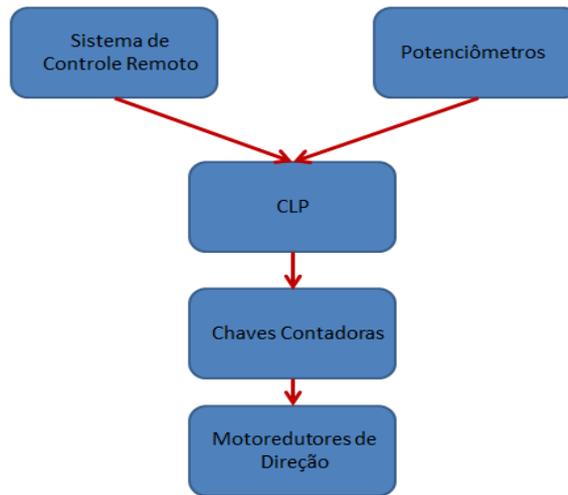


Figura 3 – Diagrama de funcionamento do sistema de automação da direção da colhedora de café para o sistema CLP.

4.1.1. Plataforma CLP

O CLP foi ligado aos quatro sensores da direção (potenciômetros) utilizando as entradas analógicas. Além disso, foram utilizados cinco (5) entradas digitais para direcionamento da máquina, sendo quatro entradas para o controle da direção e, um botão de segurança do sistema. Para o controle das chaves contadores foram utilizados oito (8) saídas digitais. As chaves contadoras controlaram os motoredutores da direção.

4.2. Elaboração do projeto de automação e controle da direção da máquina na plataforma Arduino

Para o sistema Arduino foi utilizado um Arduino Mega 2560 (FIGURA 5) e um sistema de reles para cumprir a função feita pelo CLP, como mostra o diagrama da figura 4. Os outros componentes do sistema permaneceram os mesmos.

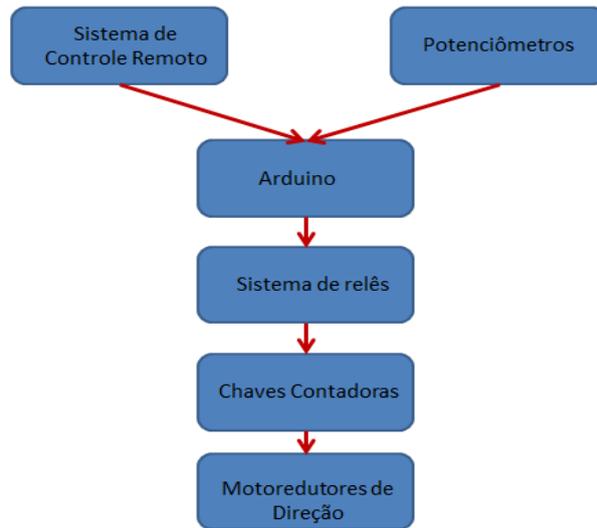


Figura 4 – Diagrama de funcionamento do sistema de automação da direção da colhedora de café para o sistema Arduino.



Figura 5 – Placa Arduino Mega 2560

4.2.1. Plataforma Arduino

Para o experimento foram ligados os quatro sensores de direção (potenciômetros) as entradas analógicas do Arduino e os botões do controle remoto foram ligados as entradas digitais, sendo utilizado cinco botões, quatro para direção e um para segurança da máquina colhedora. A partir da programação, foram controlados 8 relês, que acionaram as chaves contadoras e os quatro motores da direção. Esse controle foi feito por quatro saídas digitais no Arduino.

4.2.2. Sistema de acionamentos das chaves contadoras

Para acionamento das chaves contadoras foram utilizados dois conjuntos de quatro relés, produzidos pela Zuchi (Figura 6), alimentados por uma tensão de 12 V e acionados por 8 entradas do Arduino. Cada conjunto de 2 relés faz o controle de uma roda, sendo um relé para cada sentido de giro da roda. Os relés são produzidos pela TIANBO e suportam correntes de até 10A a 120 V e 7A a 240V. A ligação com as chaves contadoras são feitas por Bornes (Localizados na parte superior da Figura 6)

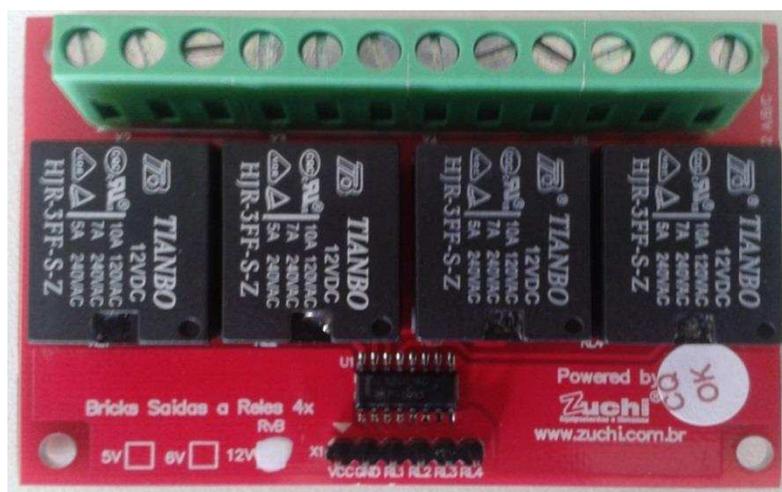


Figura 6 – Conjunto acionador de relés

4.3. Construção do sistema de controle da direção da colhedora para os dois sistemas

Os dois sistemas foram montados dentro de um quadro elétrico, com exceção dos potenciômetros que foram posicionados juntos aos motoredutores, localizados no eixo de direção. O CLP e o sistema Arduino foram instalados na parte de baixo do quadro. O sistema Arduino foi fixado em uma placa de acrílico (Figura 7).

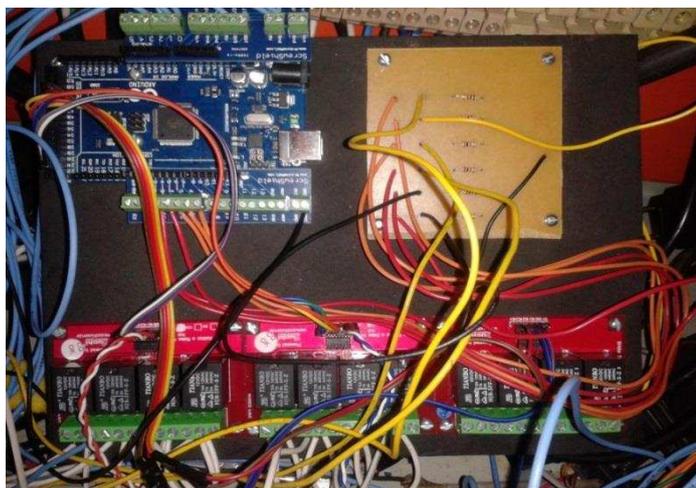


Figura 7 – Sistema de controle e automação Arduino

4.4. Algoritmo de Programação

O controle do sistema da colhedora de café (Figura 8), via CLP, foi elaborado pelo pesquisador Marcus Vinicius Morais de Oliveira um algoritmo em sistema de programação em blocos, no programa MSRConfig. O programa foi utilizado como base na elaboração do algoritmo no sistema Arduino.

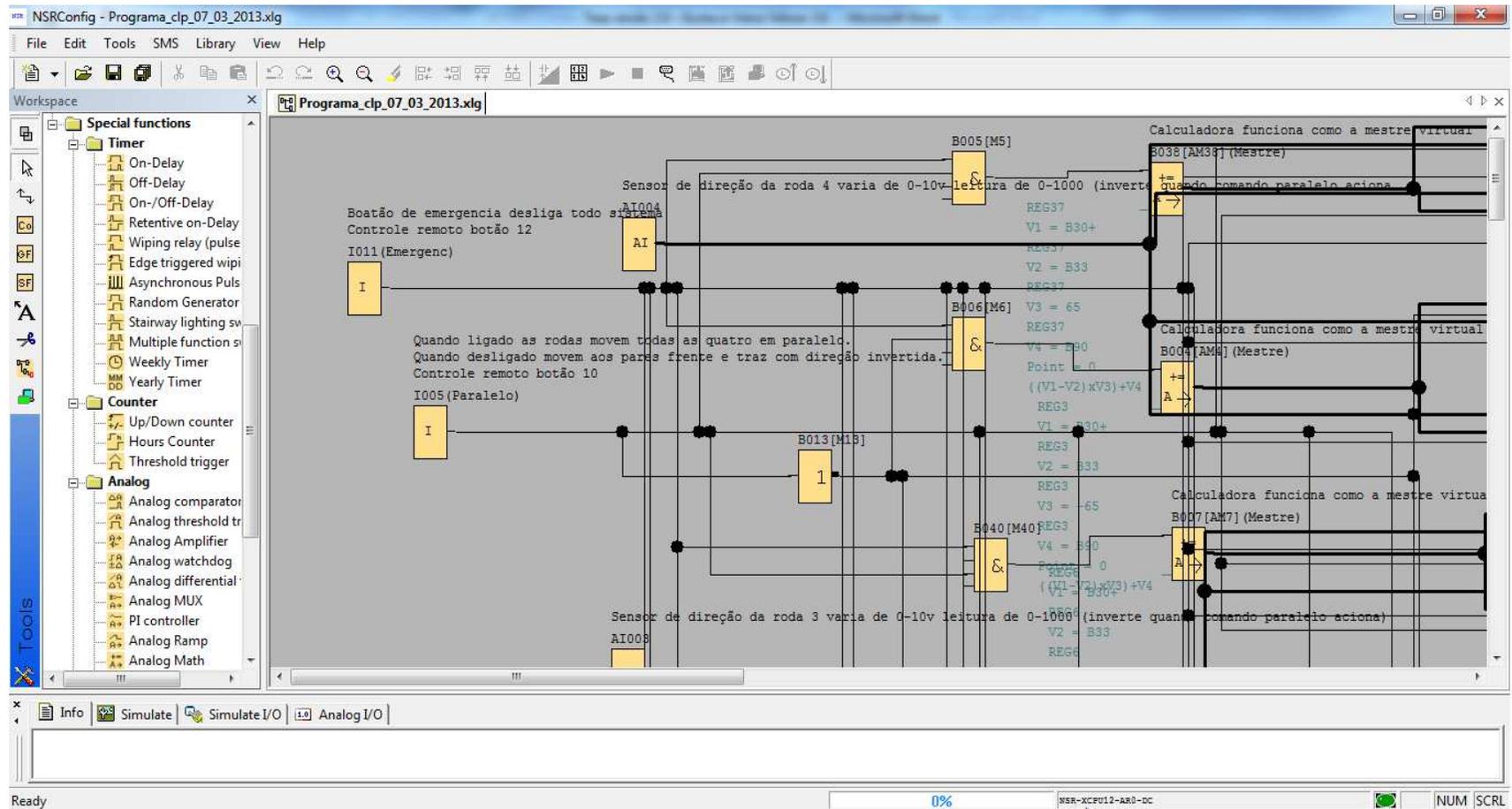


Figura 8 – Programação utilizada para automação através do sistema CLP.

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 utilizando-se as mesmas funções e modelos da programação do sistema CLP. O algoritmo utilizado encontra-se no Anexo A

4.5. Ensaios do sistema de comando e automação da direção da máquina colhedora

Para os ensaios da direção, a máquina colhedora foi levantada com auxílio de macacos hidráulicos e apoiada sobre suportes de madeiras (Figura 9). Durante os ensaios foram analisados a capacidade de decisão do sistema da máquina. Nessa fase, foram utilizadas escalas, em graus, para a determinação do ângulo de esterçamento das rodas, utilizou-se um sistema de marcação deslizante (Figura 10).



Figura 9 – Máquina colhedora apoiada sobre suportes de madeira



Figura 10 – 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 paralelo (Figura 11 a) e com as rodas em curvatura (Figura 11b).

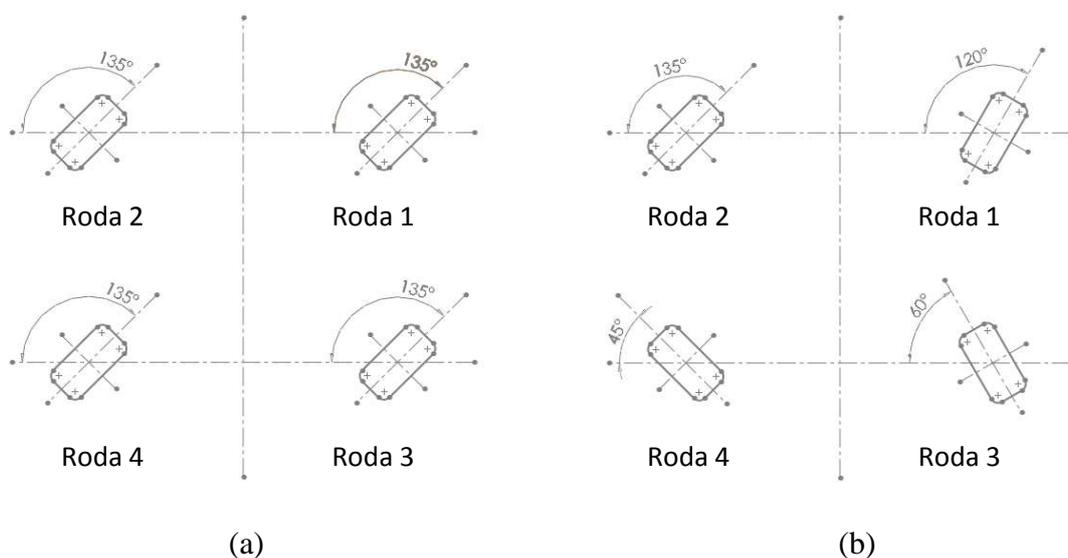


Figura 11 – Rodas em movimento em paralelo (a) e em movimento curvilíneo (b)

4.5.1. Ensaio do sistema de comando e automação da direção da máquina colhedora em movimentação em paralelo

Para a situação das rodas em paralelo foram considerados 12 ângulos de esterçamento, variando a cada 15° graus, (0, 15, 45, 60, 75, 105, 120, 135, 150, 165 e 180°). No sentido de movimento da colhedora foi predefinido como o ângulo de 90°. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições. Com os dados mensurados (ângulos de esterçamento) fez-se a avaliação dos dados, por meio da comparação entre os ângulos previamente estabelecidos (ângulos de comando) e os ângulos obtidos pela leitura na escala (ângulos obtidos) (Figura 10).

4.5.2. Ensaio do sistema de comando e automação da direção da máquina colhedora, em movimentação curvilínea

No ensaio do sistema de direção em movimento curvilíneo foram feitas quatro repetições e usados quatro ângulos de esterçamento da roda. Para o estudo foi implementado o uso da geometria Ackermann, para as quatro rodas direcionais (Figura

12). A geometria Ackermann é utilizada para condição de curva de qualquer tipo de veículo. Esta geometria leva em consideração que a roda mais próxima à curva deve possuir um ângulo de giro menor que a roda externa, além da roda interna percorrer um percurso 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.

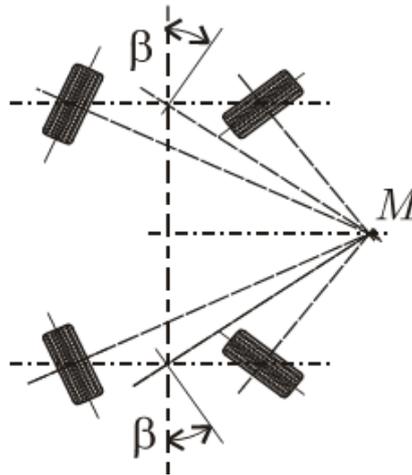


Figura 12 – Geometria Ackermann empregada para as quatro rodas direcionais. Fonte: Leal et al. (2008).

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 internas, as rodas 1 e 3 e as externas, 2 e 4. Os dados gerados foram analisados de forma análoga à feita para o sistema em movimento paralelo.

4.5.3. Comparação entre os sistemas de direção da máquina colhedora

A comparação foi realizada entre os sistemas de comando e de automação Arduino e CLP no direcionamento das máquinas, com as rodas em paralelo e curvilíneo. Para as duas condições foram feitos testes de hipótese com duas médias para cada ângulo e cada roda, a fim de se comparar entre os valores para os dois sistemas (Arduino e CLP) considerando a hipótese: $H_0: M_{\text{arduino}}=M_{\text{CLP}}$ e $H_a: M_{\text{arduino}}\neq M_{\text{CLP}}$, utilizando o teste t e adotando um nível de 5% de probabilidade. Para o estudo de validação e teste de hipótese, foi utilizado o software Microsoft® Excel versão 2010.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Rodas em movimentação paralela

5.1.1. Roda 1

Nas figuras 13a e 13b observou-se os resultados referentes aos ângulos de esterçamento dos sistemas de controle do direcionamento da roda 1. A partir das figuras 13a e 13b, pode-se notar que os dois sistemas de direção superestimaram os ângulos de esterçamento iniciais. Todavia, para os ângulos de esterçamento finais, os dois sistemas de direção tenderam a subestimar os ângulos iniciais. Quando se analisa os coeficientes de determinação, notam-se valores altos para os dois sistemas, sendo superiores a 0,97. Isso mostra a precisão do sensor potenciométrico e dos dois sistemas de automação da colhedora.

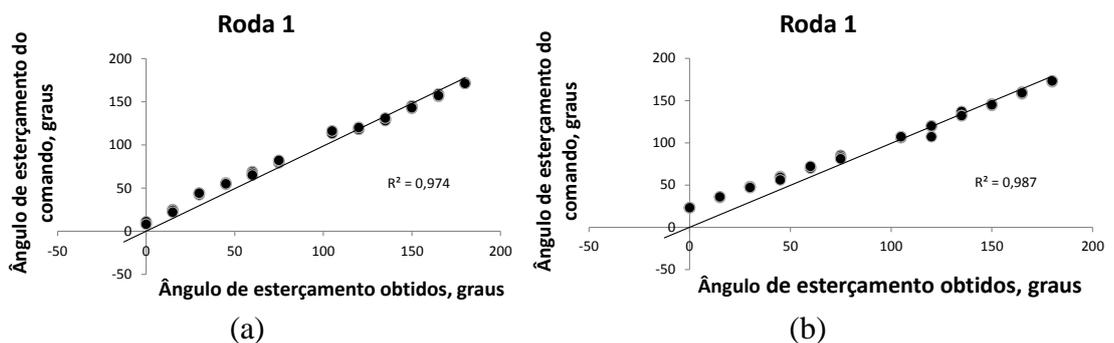


Figura 13 – Valores obtidos entre os ângulos de esterçamento observados e ângulos de esterçamento do comando para roda 1, no sistema automação da direção Arduino (a) e CLP (b), para o movimento em paralelo.

A análise do resíduo para os dois sistemas de comando da colhedora para a Roda 1 (FIGURA 15a e 15b), indicaram sua distribuição em torno da reta horizontal. Assim, sistemas tenderam a superestimar os valores de ângulo de esterçamento para ângulos iniciais, e subestimar para os ângulos finais de esterçamento, como mostrado nas Figura 15a e 15b.

Analisando as Figuras 14a e 14b, podemos notar que o sistema CLP superestimou mais os ângulos iniciais de esterçamento. Para os ângulos finais de esterçamento, os dois sistemas tenderam a subestimar os ângulos de esterçamento, de forma semelhante.

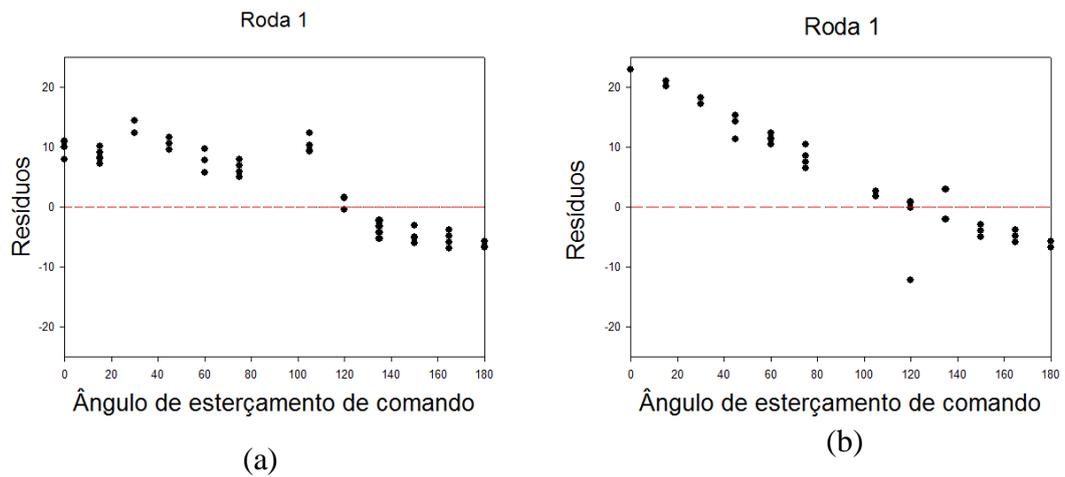


Figura 14 – Análise do resíduo versus o ângulo de esterçamento de comando para roda 1, no sistema de automação Arduino (a) e CLP (b) para o movimento paralelo.

Quadro 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 paralelo para roda 1

Ângulos de esterçamento previstos (graus)	Sistema de comando e automação	
	Arduino	CLP
0	9,3 a	23,0 b
15	23,5 a	35,8 b
30	43,5 a	47,5 b
45	55,0 a	58,5 b
60	66,5 a	70,8 b
75	80,5 a	82,8 a
105	114,7 a	106,5 b
120	119 a	116,5 a
135	129,5 a	133,3 b
150	143,7 a	145,0 a
165	157,5 a	158,8 a
180	171,3 a	172,8 b

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

Avaliando-se pelo teste de médias feito para roda 1 (QUADRO 1), tem-se que, para a maioria dos ângulos de esterçamento previstos, os dois sistemas diferem estaticamente. Para ângulos de esterçamento superiores a 90° existe uma tendência de que o CLP seja mais preciso que o Arduino. Para ângulos de esterçamento inferiores a

90° existe uma tendência de os dois sistemas serem menos precisos, sendo o sistema Arduino é mais preciso que o CLP.

5.1.2. Roda 2

Para a roda 2, tem-se as comparações da Figuras 15a e 15b. Pode-se notar, como aconteceu na roda 1, a tendência dos dois sistemas de superestimar os ângulos de esterçamento iniciais. Para os ângulos finais não são subestimados os ângulos de esterçamento, como ocorre na roda 1. Os coeficientes de determinação estão altos para os dois sistemas, sendo superiores a 0,986, o que comprova a precisão e exatidão dos mesmos.

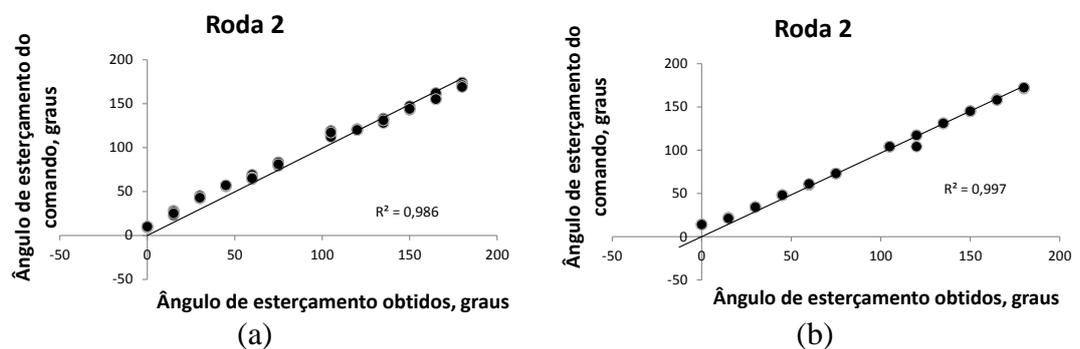


Figura 15 – Valores obtidos entre os ângulos de esterçamento observados e ângulos de esterçamento do comando para roda 2, no sistema automação da direção Arduino (a) e CLP (b) para o movimento em paralelo.

Na análise do resíduo (FIGURAS 16a e 16b), observa-se que o sistema Arduino, superestimou os ângulos iniciais que o sistema CLP. Enquanto isso, os ângulos de esterçamento finais, o sistema automação da direção CLP tenderam a subestimar menos os ângulos esterçamento. Dessa forma para roda 2, o sistema CLP tende a ser mais preciso que o sistema Arduino.

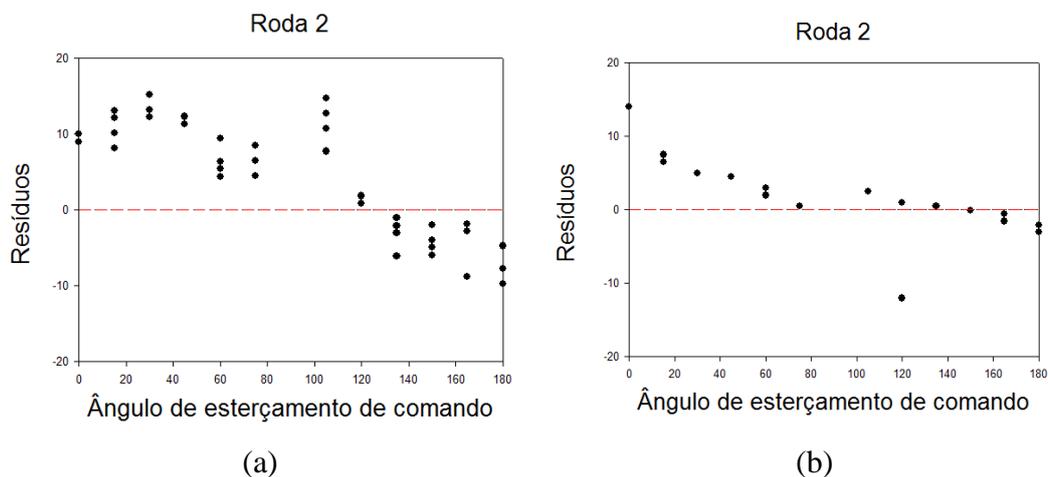


Figura 16 – Análise do resíduo versus o ângulo de esterçamento de comando para a roda 2, no sistema de automação Arduino (a) e CLP (b), para o movimento paralelo.

Quadro 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 paralelo para roda 2

Ângulos de esterçamento previstos (graus)	Sistema de comando e automação	
	Arduino	CLP
0	9,8 a	14,0 b
15	25,8 a	21,3 b
45	56,5 a	48,0 b
60	66,0 a	60,3 b
75	81,5 a	73,00 b
105	115,8 a	104,0 b
120	120,3 a	113,8 a
135	131,0 a	131,0 a
150	144,8 a	145,0 a
165	158,3 a	158,3 a
180	171,3 a	171,8 a

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

Quando foram comparados os dois sistemas de automação da direção para a roda 2 (QUADRO 2), foi possível verificar que para ângulos superiores a 90°, para os ângulos de esterçamento previstos de 120, 135, 150, 165 e 180°, os dois sistemas foram semelhantes estatisticamente. Enquanto isso para os ângulos inferiores a 90°, os sistemas de direção diferiram estatisticamente. Comparando-se as médias dos ângulos

de esterçamento obtidos para os dois sistemas com os ângulos de esterçamento previstos, é possível verificar que o sistema de direção CLP tem ângulos de esterçamento mais próximos dos ângulos de esterçamento previstos, em relação aos obtidos pelo sistema de automação da direção Arduino.

5.1.3. Roda 3

Para a roda 3 (FIGURAS 17a e 17b), notou-se que o sistema Arduino superestimou os ângulos de esterçamento iniciais, enquanto para o sistema CLP não houve superestimação dos ângulos de esterçamento iniciais. O sistema Arduino tendeu a subestimar os ângulos de esterçamento finais, enquanto o sistema CLP tendeu a superestimar estes ângulos. Os coeficientes de determinação foram elevados para os dois sistemas, sendo superiores a 0,974, mostrando a precisão dos sistemas.

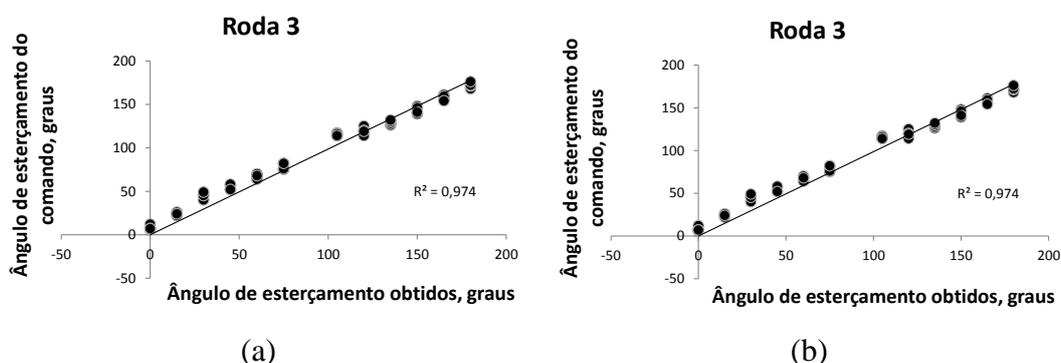


Figura 17 – Valores obtidos entre os ângulos de esterçamento observados e ângulos de esterçamento do comando para roda 3, no sistema de automação da direção Arduino (a) e CLP (b) para o movimento em paralelo.

Analisando-se o resíduo (FIGURAS 18a e 18b), foi possível observar que o sistema Arduino tendeu a superestimar os dados de ângulos de esterçamento iniciais mais que o CLP. Além disso, o sistema Arduino também subestimou mais os dados de ângulos de esterçamento finais, enquanto o sistema CLP tendeu a superestimar apenas os dados de ângulos finais.

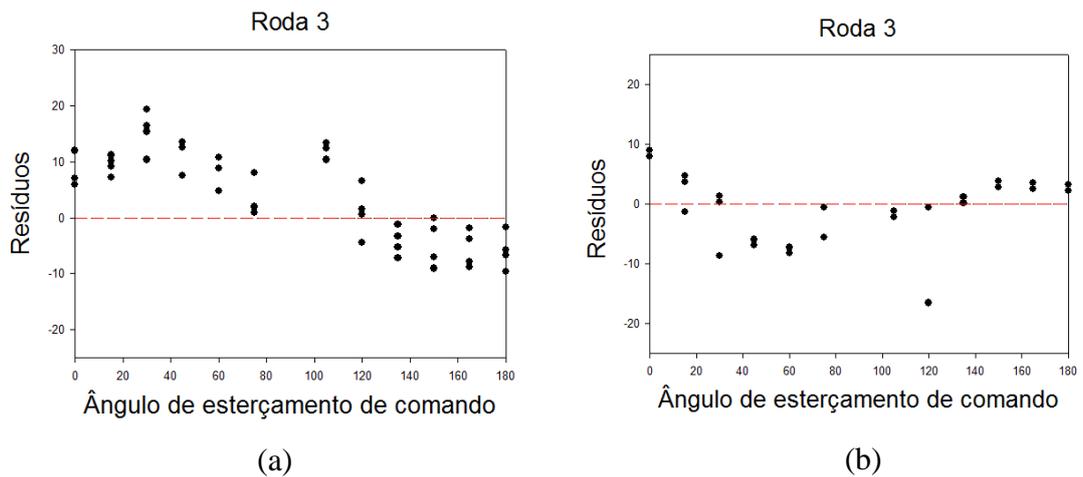


Figura 18 – Análise do resíduo versus o ângulo de esterçamento de comando para a roda 2 no sistema de automação Arduino (a) e CLP (b) para o movimento paralelo.

Quadro 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 paralelo para roda 3

Sistema de comando e automação	Ângulos de esterçamento previstos (graus)	
	Arduino	CLP
0	8,0 a	8,3 a
15	24,3 a	18,3 b
30	45,0 a	29,0 b
45	54,8 a	39,8 b
60	67,5 a	53,5 b
75	78,8 a	73,5 a
105	115,3 a	105,5 b
120	119,5 a	118,0 a
135	129 a	138,8 b
150	143,5 a	156,3 b
165	157,3 a	171,8 b
180	171,8 a	186,8 b

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

A partir dos resultados obtidos para a Roda 3 (QUADRO 3), foi observado que os ângulos de esterçamento apresentaram diferenças estatísticas entre os sistemas de automação da direção da máquina. Comparando-se os valores médios dos ângulos de esterçamento obtidos com os ângulos de esterçamento previstos, pode-se notar que, na maioria dos casos, o sistema de automação da direção CLP apresentou ângulos de

esterçamento mais próximos dos ângulos de esterçamento previstos. Com isso, o sistema CLP mostrou-se mais preciso que o sistema Arduino para movimentação em paralelo da roda 3.

5.1.4. Roda 4

Para a Roda 4, o sistema de automação da direção Arduino tendeu a superestimar os ângulos de esterçamento iniciais (FIGURA 19a). Como também foi observado para as rodas 1, 2 e 3 (FIGURAS 13a, 15a e 17a), o sistema de automação de direção Arduino tendeu a subestimar os ângulos de esterçamento iniciais.

O sistema de comando da direção CLP superestimou os valores de ângulos de esterçamento iniciais, quando comparado aos ângulos de esterçamento predefinidos. Na análise dos ângulos de esterçamento finais, apenas o sistema Arduino subestimou os ângulos de esterçamento finais, enquanto o sistema CLP subestimou os ângulos de esterçamento finais. Analisando-se o coeficiente de determinação para os dois sistemas, pode-se notar que os valores são altos, superiores a 0,975.

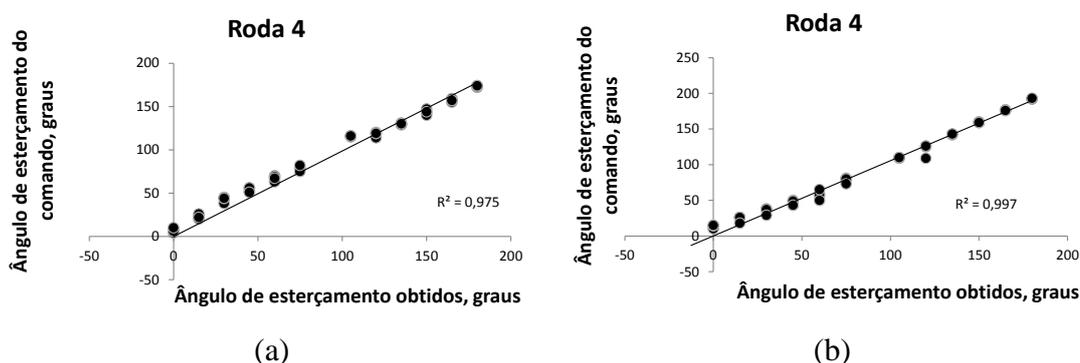


Figura 19 – Valores obtidos entre os ângulos de esterçamento observados e ângulos de esterçamento do comando para roda 4, no sistema automação da direção Arduino (a) e CLP (b) para o movimento em paralelo.

A análise do resíduo (FIGURAS 20a e 20b) foi observado a tendência dos sistemas Arduino e CLP de superestimar os ângulos de esterçamento iniciais. Contudo, esta tendência de superestimativa dos ângulos iniciais para o CLP não foi tão proeminente quando para o sistema Arduino.

Para os ângulos de esterçamento finais, observou-se que o sistema Arduino tendeu a subestimar os ângulos de esterçamento, enquanto o sistema CLP tendeu a superestimar os ângulos de esterçamento.

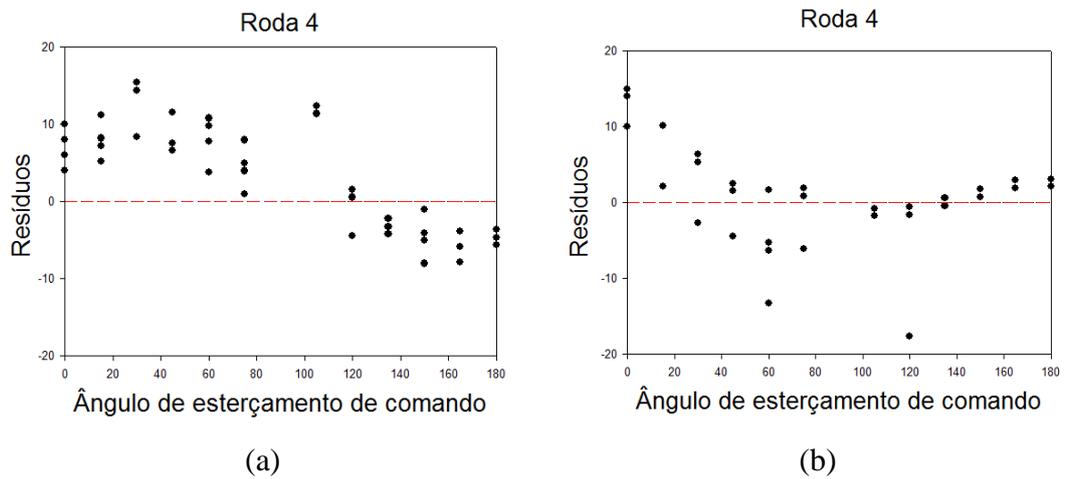


Figura 20 – Análise do resíduo versus o ângulo de esterçamento de comando para a roda 4, no sistema de automação o Arduino (a) e CLP (b) para o movimento paralelo.

Quadro 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 paralelo para roda 4.

Sistema de comando e automação	Ângulos de esterçamento previstos (graus)	
	Arduino	CLP
0	7,0 a	13,5 b
15	22,8 a	24,0 a
30	42,8a	35,3 b
45	53,8 a	46,3 b
60	67,3 a	57,5 b
75	78,5 a	78,5 a
105	115,8 a	109,8 b
120	118,0 a	121,5 a
135	129,8 a	142,5 b
150	143,5 a	159,3 b
165	157,0 a	176,3 b
180	173,3 a	192,3 b

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

Quando analisou-se (QUADRO 4), pode ser notar que, para a maioria dos ângulos de esterçamento previstos, os sistemas diferiram estatisticamente. Comparando-se os valores médios dos ângulos de esterçamento obtidos com os ângulos de

esterçamento previstos, temos que, existe uma semelhança estatística entre dos ângulos de esterçamento obtidos e os ângulos de esterçamento previstos para ambos os sistemas de direção. Sendo que, para alguns ângulos de esterçamento previstos, o Arduino foi mais preciso que o CLP (ângulos de 45, 135, 150, 165 e 180°) e para os outros ângulos, o CLP foi mais preciso que o Arduino (ângulos de 0, 15, 30, 60, 115 e 120°).

5.1.5. Comparação entre os sistemas de automação da direção da colhedora no movimento paralelo

Analisando os ângulos de esterçamento citados acima, pode-se ver que, para maioria das rodas, o sistema de automação da direção CLP é mais preciso que o sistema de automação da direção Arduino. Essa maior precisão foi observado para as rodas 1, 2 e 3, sendo que, somente na roda 4, existe a tendência do sistema Arduino ser mais preciso que o CLP.

5.2. Rodas em movimentação paralela

5.2.1. Roda 1

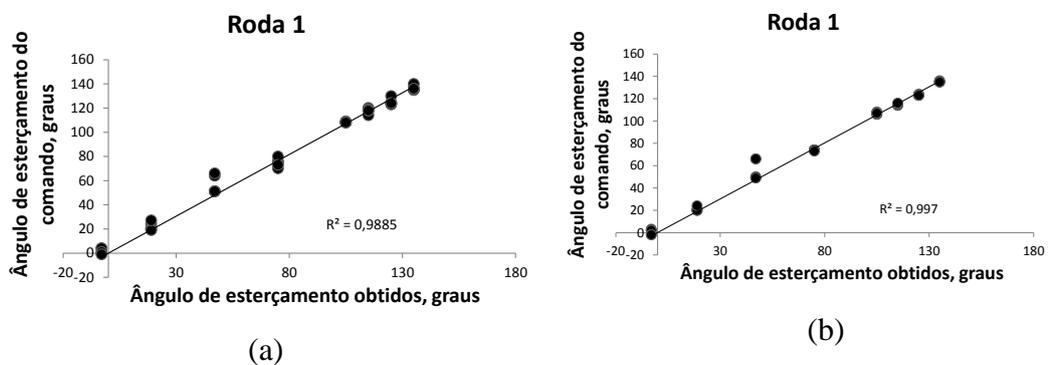


Figura 21 – Valores obtidos entre os ângulos de esterçamento observados e ângulos de esterçamento do comando para roda 1, no sistema automação da direção Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo.

As comparações para roda 1 em movimento curvilíneo entre os sistemas avaliados (FIGURAS 21a e 21b) 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. Novamente, o coeficiente de determinação se manteve alto (superior a 0,988),

mostrando a precisão dos sistemas de direção, juntamente com os sensores potenciométricos.

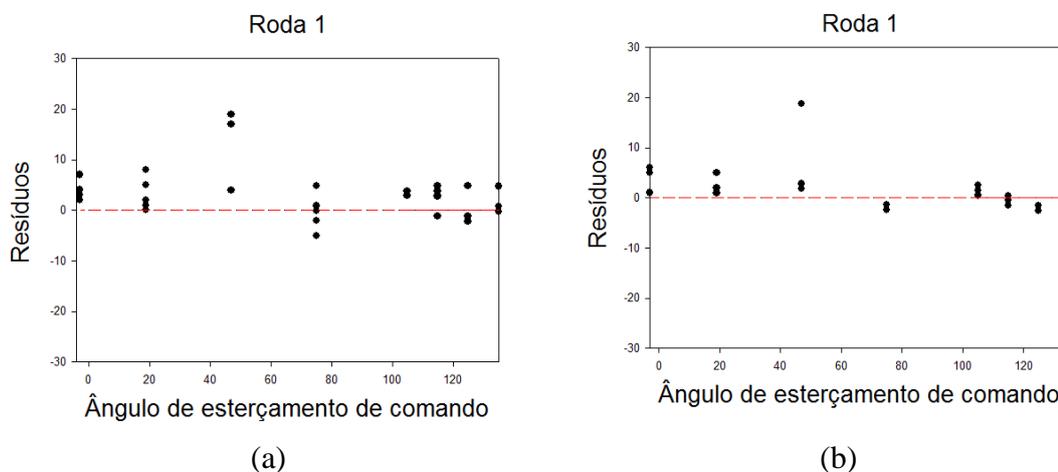


Figura 22 – Análise do resíduo versus o ângulo de esterçamento de comando para a roda 1, no sistema de automação Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo.

Quando foi analisado o resíduo da roda 1 nos dois sistemas (FIGURA 22), tem-se que os dois sistemas tenderam a superestimar mais os ângulos de esterçamento, sendo que o sistema Arduino apresentou ângulos mais superestimados. Dessa forma, pode-se notar que o sistema CLP foi mais preciso que o Arduino, para a roda 1.

Quadro 5 – 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.

Quando os dois sistemas foram comparados para a roda 1 (QUADRO 5), verifica-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. Esse fato diferiu em relação à movimentação em paralelo.

5.2.2. Roda 2

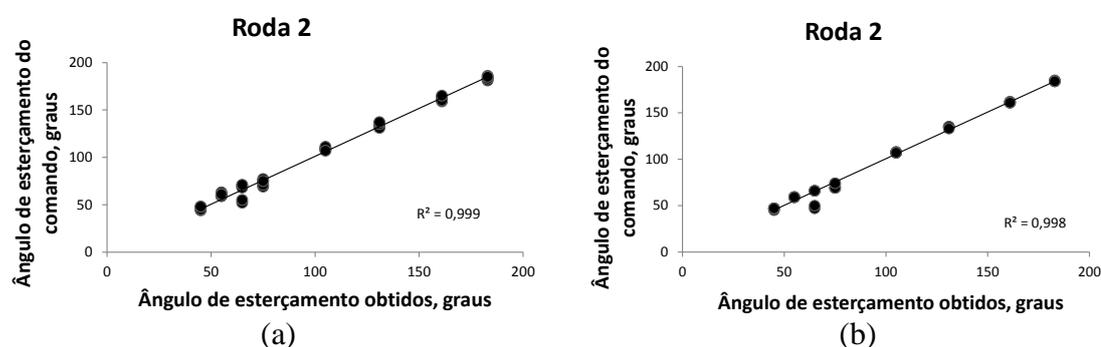


Figura 23 – Valores obtidos entre os ângulos de esterçamento observados e ângulos de esterçamento do comando para roda 1, no sistema automação da direção Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo.

Para a roda 2 (FIGURAS 23a e 23b), observa-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 coeficiente de determinação para os dois sistemas foram altos, superiores a 0,998.

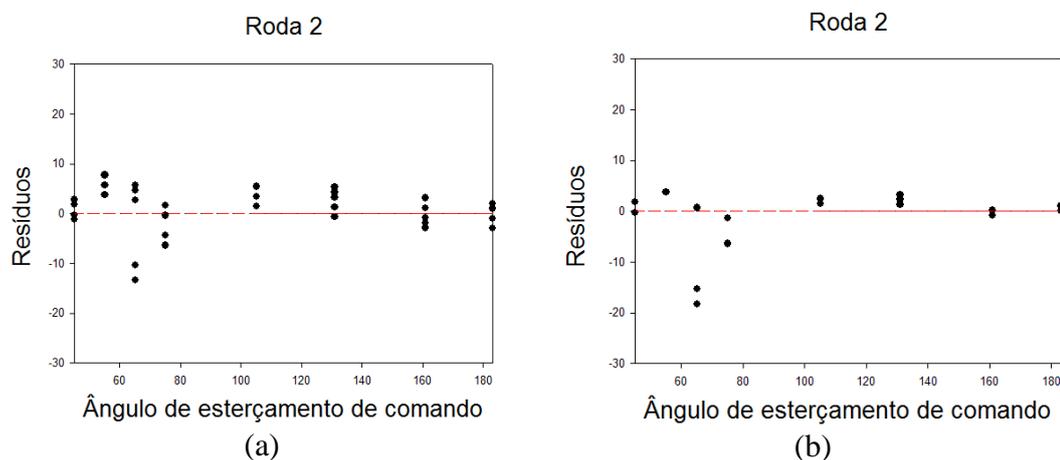


Figura 24 – Análise do resíduo versus o ângulo de esterçamento de comando para a roda 2, no sistema de automação Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo.

Analisando os resíduos dos dados obtidos para Roda 2 (FIGURAS 24a e 24b), verificou-se a maior dispersão dos resíduos para o sistema Arduino que para sistema CLP. Isso mostra que os ângulos de esterçamento obtidos pelo sistema Arduino foram mais afastados da curva de correlação, quando comparados com os ângulos de esterçamento obtidos pelo sistema CLP.

Quadro 6 – 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.

Quando foram comparados os ângulos de esterçamento obtidos pelos dois sistemas de direção da colhedora (QUADRO 6), 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 que, para quase todos os ângulos, os valores dos ângulos de esterçamento obtidos são próximos aos ângulos de esterçamento previstos.

5.2.3. Roda 3

Analisado as curvas de regressão dos dois sistemas de automação para a colhedora (FIGURAS 25a e 25b), foi possível observar uma semelhança visual entre as curvas de regressão que os dois sistemas, CLP e Arduino.

Houve grandes semelhanças entre as comparações dos dois sistemas de automação da direção. Entretanto, não foi possível verificar, em nenhum dos dois sistemas, que existem tendências para que os sistemas de direção estejam subestimando ou superestimando os ângulos de esterçamento. Os valores dos coeficientes de determinação foram elevados, superiores a 0,991.

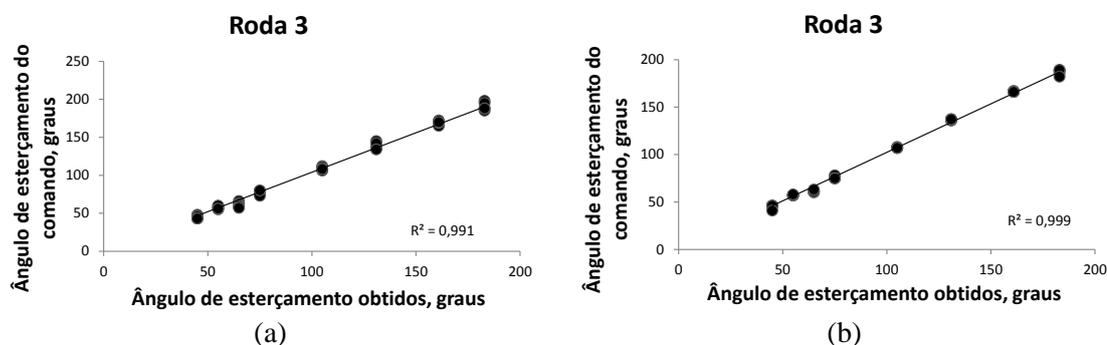


Figura 25 – Valores obtidos entre os ângulos de esterçamento observados e ângulos de esterçamento do comando para roda 3, no sistema automação da direção Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo.

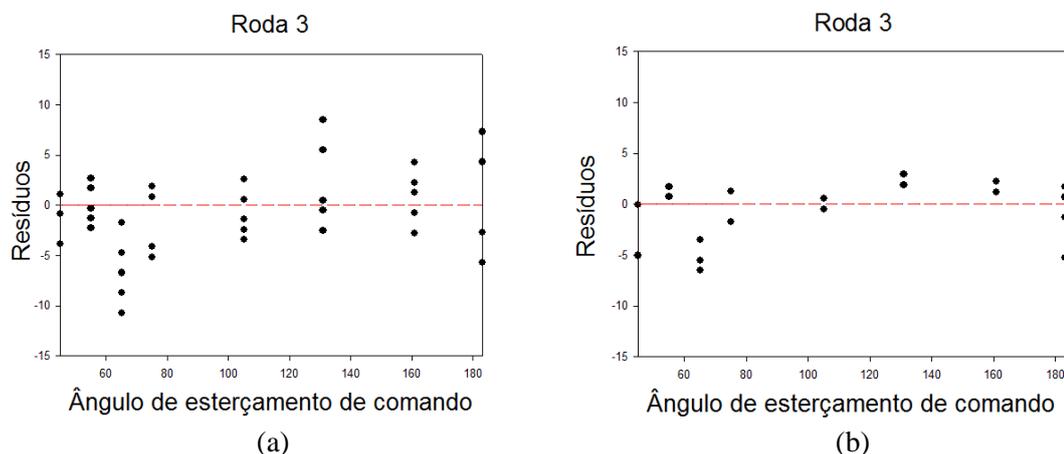


Figura 26 – Análise do resíduo versus o ângulo de esterçamento de comando para a roda 3, no sistema de automação Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo.

Analisando-se o resíduo dos dados obtidos para a Roda 3 (FIGURAS 26a e 26b), foi possível observar uma maior dispersão dos resíduos para o sistema Arduino, quando comparado ao sistema CLP. Não houve um padrão de distribuição para os resíduos, sendo distribuídos de forma aleatória no sistema Arduino. No sistema CLP, o padrão não é aleatório, mas não foi possível observar uma tendência para o sistema de subestimativa ou superestimativa para os ângulos de esterçamento.

Quadro 7 – 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.

Sistema de comando e automação	Ângulos de esterçamento previstos (graus)	
	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.

Quando comparou-se os ângulos de esterçamento para a Roda 3, obtidos para os dois sistemas de automação da direção da colhedora (QUADRO 7), 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.

5.2.4. Roda 4

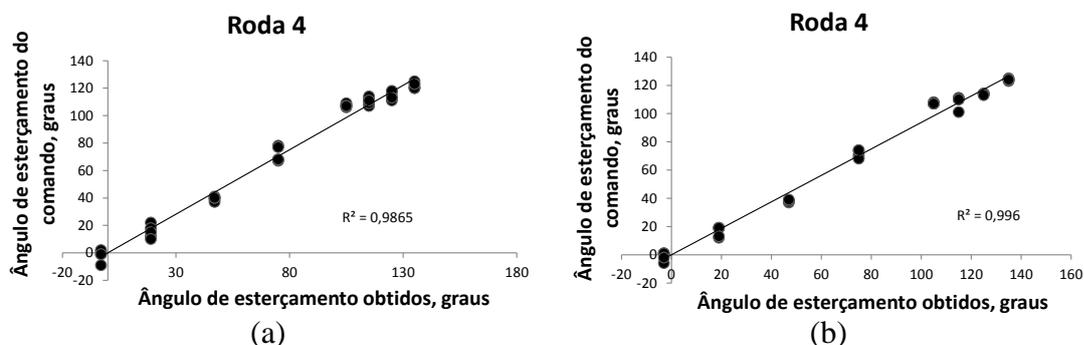


Figura 27 – Valores obtidos entre os ângulos de esterçamento observados e ângulos de esterçamento do comando para roda 4, no sistema automação da direção Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo.

Foi observado uma semelhança entre os dois sistemas de direção para a Roda 4 (FIGURAS27a e 27b). 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).

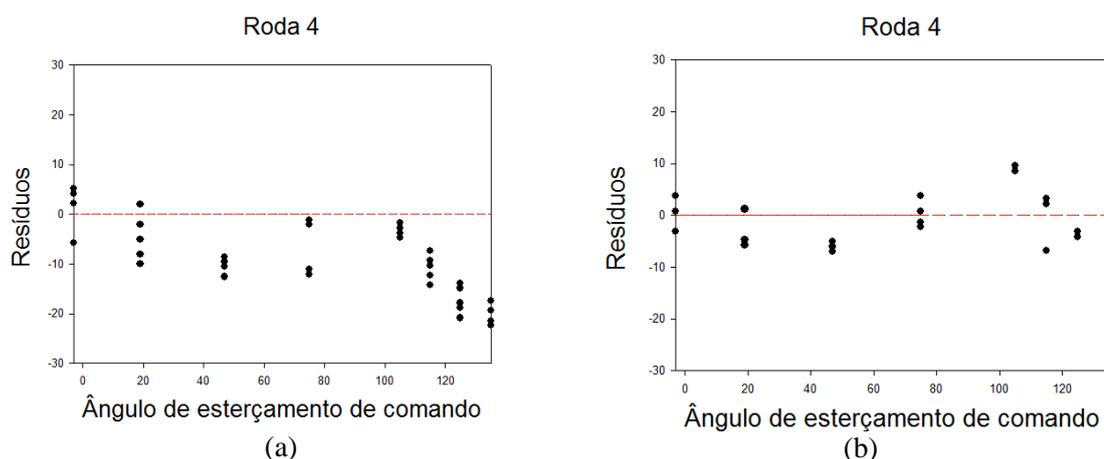


Figura 28 – Análise do resíduo versus o ângulo de esterçamento de comando para a roda 4, no sistema de automação Arduino (a) e CLP (b) para o movimento curvilíneo.

Analisando o resíduo (FIGURAS 28a e 28b), pode-se notar uma tendência do sistema Arduino de subestimar os dados dos ângulos de esterçamento finais Para o

sistema CLP não houve tendência de superestimar ou subestimar os ângulos de esterçamento.

Quadro 8 – 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.

Sistema de comando e automação	Ângulos de esterçamento previstos (graus)	
	Arduino	CLP
-3	-1,6 a	-1,0 a
19	16,4 a	16,4
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.

Quando os ângulos de esterçamento obtidos dos dois sistemas de automação da direção foram comparados (QUADRO 8), observou-se que todos os ângulos de esterçamento previstos não diferiram significativamente entre os dois sistemas. Assim para roda 4, os sistemas de direção foram iguais.

5.2.5. 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 do 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.

6. CONCLUSÃO

- Quando comparamos os sistemas de direção Arduino e CLP, considerando a direção das rodas em paralelo, observou-se que eles se diferem estatisticamente. Assim, o sistema de direção CLP mostrou-se mais preciso que o sistema Arduino.
- Em relação ao movimento curvilíneo da máquina, os dois sistemas (CLP e Arduino) foram equivalentes.
- Para os movimentos em curva e em paralelo, os dois sistemas foram exatos, tendo coeficiente de determinação superior a 0,97.
- Quando analisando os dois sistemas nos dois movimentos os CLP mostrou-se mais preciso que o sistema Arduino, sendo indicado para uso na colhedora.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, J.A.; SALVADOR, N. & SILVA, F. M.. Desempenho operacional de derrigadores mecânicos portáteis, em diferentes condições de lavouras cafeeiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.129-132, 2005.
- BOARETTO, N., **Tecnologia de comunicação em sistema SCADA – Enfoque em comunicação wireless com espaçamento espectral**. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. (Dissertação de Mestrado). Ponta Grossa-PR, 95p. 2005.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de Precisão-Botim Técnico** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo- Brasil: Mapa/ACS 32p. 2009.
- BRI, D.; COLL, H., GARCIA, M., & LLORET, J.. “A Multisensor Proposal for Wireless Sensor Networks,” 2nd International Conference on Sensor Technologies and Applications, Cap Esterel, p.270-275, 2008.
- 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 22/11/12
- CHATEAU, T., **Détection robuste d'interface par fusion d'informations incertaines: application a`l'aide au guidage d'engins agricoles**. PhD thesis. Université Blaise Pascal. Clermont-Ferrand, France, October, 1999.
- CHATEAU, T C.; COLLANGE, F. D.; TRASSOUDAIN; L., ALIZON; J.; Automatic guidance of agricultural vehicles using a laser sensor. **Computers and Electronics in Agriculture** v.28, n.3 p.243–257, 2000.
- CHATEAU, T., BERDUCAT, M., BONTON, P. 1997. An original correlation and data fusion based approach to detect a reap limit into a gray level image. In: INRIA (Eds.), IEEE:RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Grenoble, France. p.1258–1263.
- CANSADO, J. C. A.; & SARAIVA, A. M.. Agrilogic – **Sistema Experimental para Controle Climático de Casas de Vegetação**. Universidade de São Paulo (Dissertação de Mestrado). São Paulo-SP, p.118, 2003.
- DERRAS, M., BERDUCAT, M., BONTON, P., 1991. Vision guided mower for the upkeep of natural environ-ment. First international seminar on use of the on-machine vision system for the agricultural and bio-industries. CEMAGREF, Montpellier, France, p.37–46, 1991.
- FISHER, D. K., GOULD, P. J.. Open-Source Hardware Is a Low-Cost Alternative for Scientific Instrumentation and Research. **Modern Instrumentation**, v.1, n.2, p.8-20, 2012.

GARCIA, L. R., LUNADEI, L., BARREIRO, P. & ROBLA, J. I., A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends. **Sensors**, v.9, n.6, p.4728-4750, 2009.

KAY, M. S.; IAIONE, F.; BARBOSA, A. T. R.; SACCHI, R. P. S. & ODAKURA, V. V. A. Development of a low cost programmable logic controller In: Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais. Natal-RN, 2012,

KEICHER, R.; SEUFERT, H. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.25, n.1-2, p.169-194, 2000.

HARRELL, R.C., SLAUGHTER, D.C., ADSIT, P.D.. Robotics in agriculture. In: Dorf, R.C. (Ed.-in-Chief), International Encyclopedia of Robotics Applications and Automation. John Wiley & Sons, Inc., New York, p.1378–1387, 1988.

IBRAHIM, D., **Advanced PIC Microcontroller projects in C**. Burlingtown. Editor Elsevier. 2008.

JACTO. **Colhedora de café K3 Millennium**. Disponível em <http://www.jacto.com.br/pt/produto/detalhes/11/K3-MILLENNIUM> Acessado em 27/03/2013

JACTO. **Colhedora de café KTR Advance**. Disponível em <http://www.jacto.com.br/pt/produto/detalhes/12/KTR-ADVANCE> Acessado em 27/03/2013

JÚNIOR, A. N. S. **Eficiência Energética em Sistemas de Aeração de Silos de Armazenagem de Grãos, Utilizando Inversores de Frequência**. Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” (Tese de Doutorado). Botucatu-SP, 132p. 2004.

LANNA, G. B. M. & REIS, R. P., Influência da mecanização da Colheita na Viabilidade Econômico-Financeira da Cafeicultura No Sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v.7, n.2, p.110-121, maio/ago. 2012

LENAERTS; B., MISSOTTEN; B.; BAERDEMAEKER; J.; SAEYS; W.; LiDaR sensing to monitor straw output quality of a combine harvester. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.85, n.3, p.40–44, 2012.

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

MORAES, C.C., CASTRUCCI, P.L. **Engenharia de Automação industrial**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A., 295p, 2001.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2002.

MONTEIRO JUNIOR, M., NUNES, R. O., CELINSKI, V. G., Comparison of The Responses of Low Cost Electrical Soil Sensors, and a Arduino Microcontroller Platform. **Iberoamerican Journal of Applied Computing**. v.2, n.1, Apr/2012 Ponta Grossa - PR

MONTEIRO JUNIOR, M., NUNES, R. O., CELINSKI, V. G. Avaliação da Utilização de um Microcontrolador na Plataforma Arduino na Leitura de Sensores Condutividade

Eletrolítica do Solo de Baixo Custo. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v.4, n.2, Ago, 2012.

MOREIRA, R. M. G.; VELOSO, G. V.; LOUREIRO, D. R; SANTOS, F. L. ; QUEIROZ, D. M. Projeto do Produto: Metodologia de Projeto Aplicada ao Projeto de um Sistema Robotizado para O Revolvimento do Café em Terreiro. In: **XLI Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 2012, Londrina, Resumo expandidos.

PÁDUA, T.de S.; SILVA, F. M.; QUEIROZ, D. P. Análise Comparativa de Custos para Colheita de Café Mecanizada, Semi-Mecanizada e Manual. In: **Simpósio de. Pesquisa dos Cafés do Brasil**, v.1, 2000, Poços de Caldas. Resumos expandidos.

PINTO. P. H, Funcionamento de um controlador logico programável. **Controle de Contaminação**, São Paulo-SP. n.110. p.31-34, 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

ORTEGA, A. C., JESUS, C. M. & MURO, M. de C. **Mecanização e Emprego na Cafeicultura do Cerrado Mineiro**. Revista Associação Brasileira de Estudos do Trabalho. Curitiba, v.8, n.2, p.58-82, Jun/Dez., 2009

REDIOLO, A. **Proposta de Automação do Processo de Lavagem de Bandejas Agrícolas**. Universidade Federal do Paraná. (Trabalho de conclusão de curso).Medianeira-PR. 54p, 2011.

REID, J.F.; ZHANG, Q; NOGUCHI, N.; DICKSON, M. Agricultural automatic guidance research in North America. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 25, n.1-2, p.155-167, 2000.

SALES, R. S., **Avaliação da regulagem do freio dos vibradores de colhedora na eficiência de derriça do café**. Universidade Federal de Lavras (Dissertação de Mestrado). Lavras-MG, 52p. 2011.

SILVA, F. M. **Colheita do café mecanizada e semi-mecanizada**. Lavras: UFLA, p. 88. 2001. (Boletim de Extensão).

SILVA, F. M. ; SALVADOR, N. ; PÁDUA, T. S . Café: mecanização da colheita, In: Simpósio de. Pesquisa dos Cafés do Brasil, 1, 2000, Poços de Caldas. Resumos expandidos.

SILVA, F. M.. **Mecanização da colheita do café**. Lavras In: Simpósio de mecanização da lavoura cafeeira. , p50-65, 2010.

SLAUGHTER; D.C, GILES; D.K., DOWNEY, D.; Autonomous robotic weed control systems: A review. **Computers and electronics in agriculture**. v.6, n.1, p.63–78, 2008

SOUZA, A. J. , OLIVEIRA L. C., Princípios da Automação Industrial - Estudo, processos, arquiteturas e evoluções. **Revista Cadware Indústria**. v.3, n.3,2006.

TEIKARI, P., NAJJARA, R. P., MALKKIC, H., KNOBLAUCH, K., DUMORTIERD, D., GRONFIERA, C., COOPER, H. M.. An inexpensive Arduino-based LED

stimulator system for vision research. **Journal of Neuroscience Methods** v.211, n.2, p.227– 236, 2012.

TORII, T.. Research in autonomoustriculture vehicles in Japan. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.25, n.1-2, p.133-153, 2000.

WEG S.A. Automação de Processos Industriais - PC12 Design Center. Apostila para treinamento interno, Jaraguá do Sul. Jaraguá do Sul: Weg S.A., 2002.

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.

8. ANEXO A

//Programa criado para controle de colhedora feito por Gustavo Vieira Veloso

```
int analogPin1 = 0; // Primeiro potenciômetro
int analogPin2 = 1; // Segundo potenciômetro
int analogPin3 = 2; // Terceiro potenciômetro
int analogPin4 = 3; // Quarto potenciômetro
int val1 = 0;
int val2 = 0;
int val3 = 0;
int val4 = 0;
int Rele1 = 24;
int Rele2 = 22;
int Rele3 = 28;
int Rele4 = 26;
int Rele5 = 32;
int Rele6 = 30;
int Rele7 = 34;
int Rele8 = 36;
int Botao8 = 4;
int Botao10 = 5;
int Botao12 = 7;
int EstadoBotao8 = 0;
int EstadoBotao10 = 0;
int EstadoBotao12 = 0;
int buttonPin1 = 2 ; //pino em que o botão está ligado
int buttonPin2 = 3 ; //pino em que o botão está ligado
int ledPin = 13 ; //pino em que o LED está ligado
int buttonPushCounter = 0 ; //contador para o número de
int buttonState = 0 ; // Estado atual do botão
int lastButtonState = 0 ; // Estado anterior do botão
int buttonState1 = 0 ; // Estado atual do botão
int lastButtonState1 = 0 ; // Estado anterior do botão
int conta = 0;
```

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(Rele1, OUTPUT);
  pinMode(Rele2, OUTPUT);
  pinMode(Rele3, OUTPUT);
  pinMode(Rele4, OUTPUT);
  pinMode(Rele5, OUTPUT);
  pinMode(Rele6, OUTPUT);
  pinMode(Rele7, OUTPUT);
  pinMode(Rele8, OUTPUT);
  pinMode(Botao8, INPUT);
  pinMode(Botao10, INPUT);
  pinMode(Botao12, INPUT);

  // Parte do controlador
  // inicializar o pino do botão como entrada:
  pinMode (buttonPin1, INPUT) ;
  pinMode (buttonPin2, INPUT) ;
  // inicializar o LED como uma saída:
  pinMode (ledPin, OUTPUT) ;
  // inicializa a comunicação serial:
  Serial . begin ( 9600 ) ;
```

```

}

void loop()
{
  val1 = analogRead(analogPin1);
  val2 = analogRead(analogPin2);
  val3 = analogRead(analogPin3);
  val4 = analogRead(analogPin4);

  // Parte relacionada com contador
  // ler o pino de entrada botão:
  buttonState = digitalRead (buttonPin1) ;
  buttonState1 = digitalRead (buttonPin2) ;
  EstadoBotao8 = digitalRead (Botao8);
  EstadoBotao10 = digitalRead (Botao10);
  EstadoBotao12 = digitalRead (Botao12);
  // comparar o buttonState ao seu estado anterior

  if(EstadoBotao8 == LOW){
    (buttonPushCounter = 0);
  }
  else{
    if (buttonState != lastButtonState) {
      // se o estado mudou, incrementar o contador
      if (buttonState==HIGH) {
        // se o estado atual é alta, então o botão
        //muda de desligado para ligado:
        buttonPushCounter = buttonPushCounter +1;
      }
    }
  }
  if(EstadoBotao8 == LOW){
    (buttonPushCounter = 0);
  }
  else{
    if (buttonState1 != lastButtonState1) {
      // se o estado mudou, incrementar o contador
      if (buttonState1==HIGH) {
        // se o estado atual é alta, então o botão
        //muda de desligado para ligado:
        buttonPushCounter = buttonPushCounter -1;
      }
    }
  }
  if(buttonPushCounter >= 6 && EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW) {
    (buttonPushCounter = 6);
  }
  if(buttonPushCounter <= -6 && EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW) {
    (buttonPushCounter = -6);
  }
  if(buttonPushCounter >= 4 && EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH) {
    (buttonPushCounter = 4);
  }
  if(buttonPushCounter <= -4 && EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH) {
    (buttonPushCounter = -4);
  }

  conta = buttonPushCounter;

  Serial.print(" conta =");
  Serial.println(conta);

```

```

// salvar o estado atual como o último estado,
// para a próxima vez através do loop
lastButtonState = buttonState ;
lastButtonState1 = buttonState1 ;

Serial.print("Ponteciomentro 1 = ");
Serial.print( val1 , DEC);
Serial.print(" Ponteciomentro 2 = ");
Serial.print( val2 , DEC);
Serial.print(" Ponteciomentro 3 = ");
Serial.print( val3 , DEC);
Serial.print(" Ponteciomentro 4 = ");
Serial.print( val4 , DEC);

if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH){
Serial.print( " Alinha ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH){
Serial.print( " Livre ");
}
if (EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH){
Serial.print( " Cruva ");
}
if (EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH){
Serial.print( " Paralelo ");
}
if (EstadoBotao12 == LOW){
Serial.print( " Emergencia ");
}
if (EstadoBotao12 == HIGH){
Serial.print( " Habilitado ");
}
//trava de emergencia
if (EstadoBotao12 == LOW){
digitalWrite(Rele1, LOW);
digitalWrite(Rele2, LOW);
digitalWrite(Rele3, LOW);
digitalWrite(Rele4, LOW);
digitalWrite(Rele5, LOW);
digitalWrite(Rele6, LOW);
digitalWrite(Rele7, LOW);
digitalWrite(Rele8, LOW);
}

//-----roda 1-----
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && 440<(val1)<500){
digitalWrite(Rele1, LOW);
digitalWrite(Rele2, LOW); // Acionando o Rele
}
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && val1<=440){
digitalWrite(Rele2, LOW);
digitalWrite(Rele1, HIGH); // Acionando o Rele
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && val1>440){
Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && val1>=500){
digitalWrite(Rele1, LOW); // Acionando o Rele
digitalWrite(Rele2, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
}

```

```

if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && val1<=500){
Serial.print( " 0 ");
}

//-----roda 2-----
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && 550<(val2)<610){
digitalWrite(Rele3, LOW);
digitalWrite(Rele4, LOW); // Acionando o Rele
}
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && val2<=550){
digitalWrite(Rele4, LOW);
digitalWrite(Rele3, HIGH); // Acionando o Rele
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && val2>550){
Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && val2>=610){
digitalWrite(Rele3, LOW); // Acionando o Rele
digitalWrite(Rele4, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && val2<=610){
Serial.print( " 0 ");
}
//-----roda 3-----

if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && 515<(val3)<585){
digitalWrite(Rele5, LOW);
digitalWrite(Rele6, LOW); // Acionando o Rele
}
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && val3<=515){
digitalWrite(Rele6, LOW);
digitalWrite(Rele5, HIGH); // Acionando o Rele
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && val3>515){
Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && val3>=585){
digitalWrite(Rele5, LOW); // Acionando o Rele
digitalWrite(Rele6, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && val3<=585){
Serial.print( " 0 ");
}
//-----roda 4-----

if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && 515<(val4)<585){
digitalWrite(Rele7, LOW);
digitalWrite(Rele8, LOW); // Acionando o Rele
}
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && val4<=515){
digitalWrite(Rele8, LOW);
digitalWrite(Rele7, HIGH); // Acionando o Rele
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && val4>515){
Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && val4>=585){
digitalWrite(Rele7, LOW); // Acionando o Rele
}

```

```

digitalWrite(Rele8, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH && val1<=585){
Serial.print( " 0 ");
}
//-----Paralelo-----
//-----Roda1-----
int cont1 = 0;
int incre = 0;
int inchr = 0;
int deltaa = 0;
int deltah = 0;
cont1= 470;
incre = 56;
inchr = -56;
deltaa= 20;
deltah = -20;
int eq1aroda1a;
int eq1aroda1h;
eq1aroda1h = cont1 + conta*incre + deltaa;
eq1aroda1a = cont1 + conta*incre + deltah;

if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda1a<=(val3)<=eq1aroda1h){
digitalWrite(Rele1, LOW);
digitalWrite(Rele2, LOW); // Acionando o Rele
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3<=eq1aroda1a){
digitalWrite(Rele2, LOW);
digitalWrite(Rele1, HIGH); // Acionando o Rele
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3>eq1aroda1a){
Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3>=eq1aroda1h){
digitalWrite(Rele1, LOW); // Acionando o Rele
digitalWrite(Rele2, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3<eq1aroda1h){
Serial.print( " 0 ");
}
//----- Roda 2 -----
int cont2 = 0;
cont2= 580;
int eq1aroda2a;
int eq1aroda2h;
eq1aroda2h = cont2 + conta*incre + deltaa;
eq1aroda2a = cont2 + conta*incre + deltah;

if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda2a<=(val2)<=eq1aroda2h){
digitalWrite(Rele3, LOW);
digitalWrite(Rele4, LOW); // Acionando o Rele
}

```

```

    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val2<=eq1aroda2a){
        digitalWrite(Rele4, LOW);
        digitalWrite(Rele3, HIGH); // Acionando o Rele
        Serial.print( " 1 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val2>eq1aroda2a){
        Serial.print( " 0 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val2>=eq1aroda2h){
        digitalWrite(Rele3, LOW); // Acionando o Rele
        digitalWrite(Rele4, HIGH);
        Serial.print( " 1 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val2<eq1aroda2h){
        Serial.print( " 0 ");
    }
}

//----- Roda 3 -----
int cont3 = 0;
cont3= 540;
int eq1aroda3a;
int eq1aroda3h;
eq1aroda3h = cont3 + conta*incra + deltaa;
eq1aroda3a = cont3 + conta*incra + deltah;

if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda3a<=(val3)<=eq1aroda3h){
    digitalWrite(Rele5, LOW);
    digitalWrite(Rele6, LOW); // Acionando o Rele
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3<=eq1aroda3a){
    digitalWrite(Rele6, LOW);
    digitalWrite(Rele5, HIGH); // Acionando o Rele
    Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3>eq1aroda3a){
    Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3>=eq1aroda3h){
    digitalWrite(Rele5, LOW); // Acionando o Rele
    digitalWrite(Rele6, HIGH);
    Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3<eq1aroda3h){
    Serial.print( " 0 ");
}
}

//----- Roda 4 -----
int cont4 = 0;
cont4= 540;
int eq1aroda4a;
int eq1aroda4h;
eq1aroda4h = cont4 + conta*incra + deltaa;

```

```

eq1aroda4a = cont4 + conta*incra + deltah;

if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda4a<=(val4)<=eq1aroda4h){
  digitalWrite(Rele7, LOW);
  digitalWrite(Rele8, LOW); // Acionando o Rele
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4<=eq1aroda4a){
  digitalWrite(Rele8, LOW);
  digitalWrite(Rele7, HIGH); // Acionando o Rele
  Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4>eq1aroda4a){
  Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4>=eq1aroda4h){
  digitalWrite(Rele7, LOW); // Acionando o Rele
  digitalWrite(Rele8, HIGH);
  Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == LOW && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4<eq1aroda4h){
  Serial.print( " 0 ");
}

// Rodas em curva
//-----Roda 1-----

if(EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == 1 ||
conta == -1) {
  incra = 56;
  incrh = -56;
  deltaa= 20;
  deltah = -20;
  eq1aroda1h = cont1 + conta*incra + deltaa;
  eq1aroda1a = cont1 + conta*incra + deltah;
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda1a<=(val1)<=eq1aroda1h){
    digitalWrite(Rele1, LOW);
    digitalWrite(Rele2, LOW); // Acionando o Rele
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1<=eq1aroda1a){
    digitalWrite(Rele2, LOW);
    digitalWrite(Rele1, HIGH); // Acionando o Rele
    Serial.print( " 1 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1>eq1aroda1a){
    Serial.print( " 0 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1>=eq1aroda1h){
    digitalWrite(Rele1, LOW); // Acionando o Rele
    digitalWrite(Rele2, HIGH);
    Serial.print( " 1 ");
  }
}

```

```

if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1<=eq1aroda1h){
  Serial.print( " 0 ");
}
}

if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == 2
){
  incre = 94;
  deltaa= 20;
  deltah = -20;
  eq1aroda1h = cont1 + incre + deltaa;
  eq1aroda1a = cont1 + incre + deltah;
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda1a<=(val1)<=eq1aroda1h){
    digitalWrite(Rele1, LOW);
    digitalWrite(Rele2, LOW); // Acionando o Rele
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1<=eq1aroda1a){
    digitalWrite(Rele2, LOW);
    digitalWrite(Rele1, HIGH); // Acionando o Rele
    Serial.print( " 1 ");
  }
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1>eq1aroda1a){
  Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1>=eq1aroda1h){
  digitalWrite(Rele1, LOW); // Acionando o Rele
  digitalWrite(Rele2, HIGH);
  Serial.print( " 1 ");
}
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1<=eq1aroda1h){
  Serial.print( " 0 ");
}
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta ==
3){
  incre = 132;
  deltaa= 20;
  deltah = -20;
  eq1aroda1h = cont1 + incre + deltaa;
  eq1aroda1a = cont1 + incre + deltah;
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda1a<=(val1)<=eq1aroda1h){
    digitalWrite(Rele1, LOW);
    digitalWrite(Rele2, LOW); // Acionando o Rele
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1<=eq1aroda1a){
    digitalWrite(Rele2, LOW);
    digitalWrite(Rele1, HIGH); // Acionando o Rele
    Serial.print( " 1 ");
  }
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1>eq1aroda1a){
  Serial.print( " 0 ");
}
}

```

```

if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1>=eq1aroda1h){
digitalWrite(Rele1, LOW); // Acionando o Rele
digitalWrite(Rele2, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1<eq1aroda1h){
Serial.print( " 0 ");
}
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta ==
4){
incra = 171;
deltaa= 20;
deltah = -20;
int eq1aroda1a;
int eq1aroda1h;
eq1aroda1h = cont1 + incra + deltaa;
eq1aroda1a = cont1 + incra + deltah;
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda1a<=(val1)<=eq1aroda1h){
digitalWrite(Rele1, LOW);
digitalWrite(Rele2, LOW); // Acionando o Rele
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1<=eq1aroda1a){
digitalWrite(Rele2, LOW);
digitalWrite(Rele1, HIGH); // Acionando o Rele
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1>eq1aroda1a){
Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1>=eq1aroda1h){
digitalWrite(Rele1, LOW); // Acionando o Rele
digitalWrite(Rele2, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1<eq1aroda1h){
Serial.print( " 0 ");
}
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == -
2){
incra = -164;
deltaa= 20;
deltah = -20;
eq1aroda1h = cont1 + incra + deltaa;
eq1aroda1a = cont1 + incra + deltah;
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda1a<=(val1)<=eq1aroda1h){
digitalWrite(Rele1, LOW);
digitalWrite(Rele2, LOW); // Acionando o Rele
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1<=eq1aroda1a){
digitalWrite(Rele2, LOW);
digitalWrite(Rele1, HIGH); // Acionando o Rele
}
}

```

```

Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1>eq1aroda1a){
Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1>=eq1aroda1h){
digitalWrite(Rele1, LOW); // Acionando o Rele
digitalWrite(Rele2, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1<eq1aroda1h){
Serial.print( " 0 ");
}
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == -
3){
incra = -270;
deltaa= 20;
deltah = -20;
eq1aroda1h = cont1 + incra + deltaa;
eq1aroda1a = cont1 + incra + deltah;
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda1a<=(val1)<=eq1aroda1h){
digitalWrite(Rele1, LOW);
digitalWrite(Rele2, LOW); // Acionando o Rele
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1<=eq1aroda1a){
digitalWrite(Rele2, LOW);
digitalWrite(Rele1, HIGH); // Acionando o Rele
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1>eq1aroda1a){
Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1>=eq1aroda1h){
digitalWrite(Rele1, LOW); // Acionando o Rele
digitalWrite(Rele2, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1<eq1aroda1h){
Serial.print( " 0 ");
}
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == -
4){
incra = -353;
deltaa= 20;
deltah = -20;
eq1aroda1h = cont1 + incra + deltaa;
eq1aroda1a = cont1 + incra + deltah;
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda1a<=(val1)<=eq1aroda1h){
digitalWrite(Rele1, LOW);
digitalWrite(Rele2, LOW); // Acionando o Rele
}
}

```

```

if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1<=eq1aroda1a){
digitalWrite(Rele2, LOW);
digitalWrite(Rele1, HIGH); // Acionando o Rele
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1>eq1aroda1a){
Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1>=eq1aroda1h){
digitalWrite(Rele1, LOW); // Acionando o Rele
digitalWrite(Rele2, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val1<eq1aroda1h){
Serial.print( " 0 ");
}
}

//-----Roda 2-----

if(EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == 1 ||
conta == -1) {
incra = 56;
deltaa= 20;
deltah = -20;
eq1aroda2h = cont2 + conta*incra + deltaa;
eq1aroda2a = cont2 + conta*incra + deltah;
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda2a<=(val2)<=eq1aroda2h){
digitalWrite(Rele3, LOW);
digitalWrite(Rele4, LOW); // Acionando o Rele
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2<=eq1aroda2a){
digitalWrite(Rele4, LOW);
digitalWrite(Rele3, HIGH); // Acionando o Rele
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2>eq1aroda2a){
Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2>=eq1aroda2h){
digitalWrite(Rele3, LOW); // Acionando o Rele
digitalWrite(Rele4, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2<eq1aroda2h){
Serial.print( " 0 ");
}
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta ==
2){
incra = 129;
deltaa= 20;
deltah = -20;

```

```

    eq1aroda2h = cont2 + incre + deltaa;
    eq1aroda2a = cont2 + incre + deltah;
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    eq1aroda2a <= (val2) <= eq1aroda2h){
        digitalWrite(Rele3, LOW);
        digitalWrite(Rele4, LOW); // Acionando o Rele
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val2 <= eq1aroda2a){
        digitalWrite(Rele4, LOW);
        digitalWrite(Rele3, HIGH); // Acionando o Rele
        Serial.print( " 1 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val2 > eq1aroda2a){
        Serial.print( " 0 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val2 >= eq1aroda2h){
        digitalWrite(Rele3, LOW); // Acionando o Rele
        digitalWrite(Rele4, HIGH);
        Serial.print( " 1 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val2 < eq1aroda2h){
        Serial.print( " 0 ");
    }
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta ==
3){
    incre = 270;
    deltaa = 20;
    deltah = -20;
    eq1aroda2h = cont2 + incre + deltaa;
    eq1aroda2a = cont2 + incre + deltah;
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    eq1aroda2a <= (val2) <= eq1aroda2h){
        digitalWrite(Rele3, LOW);
        digitalWrite(Rele4, LOW); // Acionando o Rele
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val2 <= eq1aroda2a){
        digitalWrite(Rele4, LOW);
        digitalWrite(Rele3, HIGH); // Acionando o Rele
        Serial.print( " 1 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val2 > eq1aroda2a){
        Serial.print( " 0 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val2 >= eq1aroda2h){
        digitalWrite(Rele3, LOW); // Acionando o Rele
        digitalWrite(Rele4, HIGH);
        Serial.print( " 1 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val2 < eq1aroda2h){
        Serial.print( " 0 ");
    }
}
}

```

```

    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta ==
4){
    incra = 353;
    deltaa= 20;
    deltah = -20;
    eq1aroda2h = cont2 + incra + deltaa;
    eq1aroda2a = cont2 + incra + deltah;
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda2a<=(val2)<=eq1aroda2h){
    digitalWrite(Rele3, LOW);
    digitalWrite(Rele4, LOW); // Acionando o Rele
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2<=eq1aroda2a){
    digitalWrite(Rele4, LOW);
    digitalWrite(Rele3, HIGH); // Acionando o Rele
    Serial.print( " 1 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2>eq1aroda2a){
    Serial.print( " 0 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2>=eq1aroda2h){
    digitalWrite(Rele3, LOW); // Acionando o Rele
    digitalWrite(Rele4, HIGH);
    Serial.print( " 1 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2<eq1aroda2h){
    Serial.print( " 0 ");
    }
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == -
2){
    incra = -95;
    deltaa= 20;
    deltah = -20;
    eq1aroda2h = cont2 + incra + deltaa;
    eq1aroda2a = cont2 + incra + deltah;
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda2a<=(val2)<=eq1aroda2h){
    digitalWrite(Rele3, LOW);
    digitalWrite(Rele4, LOW); // Acionando o Rele
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2<=eq1aroda2a){
    digitalWrite(Rele4, LOW);
    digitalWrite(Rele3, HIGH); // Acionando o Rele
    Serial.print( " 1 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2>eq1aroda2a){
    Serial.print( " 0 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2>=eq1aroda2h){
    digitalWrite(Rele3, LOW); // Acionando o Rele
    digitalWrite(Rele4, HIGH);
    Serial.print( " 1 ");
    }
    }

```

```

if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2<=eq1aroda2h){
  Serial.print( " 0 ");
}
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == -
3){
  incra = -133;
  deltaa= 20;
  deltah = -20;
  eq1aroda2h = cont2 + incra + deltaa;
  eq1aroda2a = cont2 + incra + deltah;
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda2a<=(val2)<=eq1aroda2h){
    digitalWrite(Rele3, LOW);
    digitalWrite(Rele4, LOW); // Acionando o Rele
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2<=eq1aroda2a){
    digitalWrite(Rele4, LOW);
    digitalWrite(Rele3, HIGH); // Acionando o Rele
    Serial.print( " 1 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2>eq1aroda2a){
    Serial.print( " 0 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2>=eq1aroda2h){
    digitalWrite(Rele3, LOW); // Acionando o Rele
    digitalWrite(Rele4, HIGH);
    Serial.print( " 1 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2<=eq1aroda2h){
    Serial.print( " 0 ");
  }
} if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta
== -3){
  incra = -133;
  deltaa= 20;
  deltah = -20;
  eq1aroda2h = cont2 + incra + deltaa;
  eq1aroda2a = cont2 + incra + deltah;
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda2a<=(val2)<=eq1aroda2h){
    digitalWrite(Rele3, LOW);
    digitalWrite(Rele4, LOW); // Acionando o Rele
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2<=eq1aroda2a){
    digitalWrite(Rele4, LOW);
    digitalWrite(Rele3, HIGH); // Acionando o Rele
    Serial.print( " 1 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2>eq1aroda2a){
    Serial.print( " 0 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2>=eq1aroda2h){
    digitalWrite(Rele3, LOW); // Acionando o Rele

```

```

digitalWrite(Rele4, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2<eq1aroda2h){
Serial.print( " 0 ");
}
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == -
4){
incra = -171;
deltaa= 20;
deltah = -20;
eq1aroda2h = cont2 + incra + deltaa;
eq1aroda2a = cont2 + incra + deltah;
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda2a<=(val2)<=eq1aroda2h){
digitalWrite(Rele3, LOW);
digitalWrite(Rele4, LOW); // Acionando o Rele
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2<=eq1aroda2a){
digitalWrite(Rele4, LOW);
digitalWrite(Rele3, HIGH); // Acionando o Rele
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2>eq1aroda2a){
Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2>=eq1aroda2h){
digitalWrite(Rele3, LOW); // Acionando o Rele
digitalWrite(Rele4, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val2<eq1aroda2h){
Serial.print( " 0 ");
}
}
//-----Roda 3 -----

if(EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == 1 ||
conta == -1) {
incra = 56;
deltaa= 20;
deltah = -20;
eq1aroda3h = cont3 + conta*incra + deltaa;
eq1aroda3a = cont3 + conta*incra + deltah;
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda3a<=(val3)<=eq1aroda3h){
digitalWrite(Rele5, LOW);
digitalWrite(Rele6, LOW); // Acionando o Rele
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3<=eq1aroda3a){
digitalWrite(Rele6, LOW);
digitalWrite(Rele5, HIGH); // Acionando o Rele
Serial.print( " 1 ");
}
}

```

```

if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3>=eq1aroda3a){
  Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3>=eq1aroda3h){
  digitalWrite(Rele5, LOW); // Acionando o Rele
  digitalWrite(Rele6, HIGH);
  Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3<=eq1aroda3h){
  Serial.print( " 0 ");
}
}
if(EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == 2)
{
  incra = -94;
  deltaa= 20;
  deltah = -20;
  eq1aroda3h = cont3 + incra + deltaa;
  eq1aroda3a = cont3 + incra + deltah;
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda3a<=(val3)<=eq1aroda3h){
    digitalWrite(Rele5, LOW);
    digitalWrite(Rele6, LOW); // Acionando o Rele
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3<=eq1aroda3a){
    digitalWrite(Rele6, LOW);
    digitalWrite(Rele5, HIGH); // Acionando o Rele
    Serial.print( " 1 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3>=eq1aroda3a){
    Serial.print( " 0 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3>=eq1aroda3h){
    digitalWrite(Rele5, LOW); // Acionando o Rele
    digitalWrite(Rele6, HIGH);
    Serial.print( " 1 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3<=eq1aroda3h){
    Serial.print( " 0 ");
  }
}
if(EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == 3)
{
  incra = -133;
  deltaa= 20;
  deltah = -20;
  eq1aroda3h = cont3 + incra + deltaa;
  eq1aroda3a = cont3 + incra + deltah;
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda3a<=(val3)<=eq1aroda3h){
    digitalWrite(Rele5, LOW);
    digitalWrite(Rele6, LOW); // Acionando o Rele
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3<=eq1aroda3a){

```

```

digitalWrite(Rele6, LOW);
digitalWrite(Rele5, HIGH); // Acionando o Rele
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3>=eq1aroda3a){
Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3>=eq1aroda3h){
digitalWrite(Rele5, LOW); // Acionando o Rele
digitalWrite(Rele6, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3<=eq1aroda3h){
Serial.print( " 0 ");
}
} if(EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta ==
3) {
incra = -133;
deltaa= 20;
deltah = -20;
eq1aroda3h = cont3 + incra + deltaa;
eq1aroda3a = cont3 + incra + deltah;
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda3a<=(val3)<=eq1aroda3h){
digitalWrite(Rele5, LOW);
digitalWrite(Rele6, LOW); // Acionando o Rele
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3<=eq1aroda3a){
digitalWrite(Rele6, LOW);
digitalWrite(Rele5, HIGH); // Acionando o Rele
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3>=eq1aroda3a){
Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3>=eq1aroda3h){
digitalWrite(Rele5, LOW); // Acionando o Rele
digitalWrite(Rele6, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3<=eq1aroda3h){
Serial.print( " 0 ");
}
}
} if(EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == 4)
{
incra = -170;
deltaa= 20;
deltah = -20;
eq1aroda3h = cont3 + incra + deltaa;
eq1aroda3a = cont3 + incra + deltah;
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda3a<=(val3)<=eq1aroda3h){
digitalWrite(Rele5, LOW);
digitalWrite(Rele6, LOW); // Acionando o Rele
}
}
}

```

```

}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3<=eq1aroda3a){
digitalWrite(Rele6, LOW);
digitalWrite(Rele5, HIGH); // Acionando o Rele
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3>eq1aroda3a){
Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3>=eq1aroda3h){
digitalWrite(Rele5, LOW); // Acionando o Rele
digitalWrite(Rele6, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3<eq1aroda3h){
Serial.print( " 0 ");
}
}
if(EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == -
2) {
incra = 129;
deltaa= 20;
deltah = -20;
eq1aroda3h = cont3 + incra + deltaa;
eq1aroda3a = cont3 + incra + deltah;
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda3a<=(val3)<=eq1aroda3h){
digitalWrite(Rele5, LOW);
digitalWrite(Rele6, LOW); // Acionando o Rele
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3<=eq1aroda3a){
digitalWrite(Rele6, LOW);
digitalWrite(Rele5, HIGH); // Acionando o Rele
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3>eq1aroda3a){
Serial.print( " 0 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3>=eq1aroda3h){
digitalWrite(Rele5, LOW); // Acionando o Rele
digitalWrite(Rele6, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val3<eq1aroda3h){
Serial.print( " 0 ");
}
}
if(EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == -
3) {
incra = 270;
deltaa= 20;
deltah = -20;
eq1aroda3h = cont3 + incra + deltaa;
eq1aroda3a = cont3 + incra + deltah;

```

```

    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    eq1aroda3a<=(val3)<=eq1aroda3h){
        digitalWrite(Rele5, LOW);
        digitalWrite(Rele6, LOW); // Acionando o Rele
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val3<=eq1aroda3a){
        digitalWrite(Rele6, LOW);
        digitalWrite(Rele5, HIGH); // Acionando o Rele
        Serial.print( " 1 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val3>eq1aroda3a){
        Serial.print( " 0 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val3>=eq1aroda3h){
        digitalWrite(Rele5, LOW); // Acionando o Rele
        digitalWrite(Rele6, HIGH);
        Serial.print( " 1 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val3<eq1aroda3h){
        Serial.print( " 0 ");
    }
}
if(EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == -
4) {
    incra = 353;
    deltaa= 20;
    deltah = -20;
    eq1aroda3h = cont3 + incra + deltaa;
    eq1aroda3a = cont3 + incra + deltah;
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    eq1aroda3a<=(val3)<=eq1aroda3h){
        digitalWrite(Rele5, LOW);
        digitalWrite(Rele6, LOW); // Acionando o Rele
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val3<=eq1aroda3a){
        digitalWrite(Rele6, LOW);
        digitalWrite(Rele5, HIGH); // Acionando o Rele
        Serial.print( " 1 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val3>eq1aroda3a){
        Serial.print( " 0 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val3>=eq1aroda3h){
        digitalWrite(Rele5, LOW); // Acionando o Rele
        digitalWrite(Rele6, HIGH);
        Serial.print( " 1 ");
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val3<eq1aroda3h){
        Serial.print( " 0 ");
    }
}
//-----Roda 4 -----

```

```

if(EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == 1 ||
conta == -1) {
  incra = 56;
  deltaa= 20;
  deltah = -20;
  eq1aroda3h = cont3 + conta*incra + deltaa;
  eq1aroda3a = cont3 + conta*incra + deltah;
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda4a<=(val4)<=eq1aroda4h){
    digitalWrite(Rele7, LOW);
    digitalWrite(Rele8, LOW); // Acionando o Rele
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4<=eq1aroda4a){
    digitalWrite(Rele8, LOW);
    digitalWrite(Rele7, HIGH); // Acionando o Rele
    Serial.print( " 1 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4>eq1aroda4a){
    Serial.print( " 0 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4>=eq1aroda4h){
    digitalWrite(Rele7, LOW); // Acionando o Rele
    digitalWrite(Rele8, HIGH);
    Serial.print( " 1 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4<eq1aroda4h){
    Serial.print( " 0 ");
  }
}

if(EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == 2)
{
  incra = -163;
  deltaa= 20;
  deltah = -20;
  eq1aroda3h = cont3 + incra + deltaa;
  eq1aroda3a = cont3 + incra + deltah;
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda4a<=(val4)<=eq1aroda4h){
    digitalWrite(Rele7, LOW);
    digitalWrite(Rele8, LOW); // Acionando o Rele
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4<=eq1aroda4a){
    digitalWrite(Rele8, LOW);
    digitalWrite(Rele7, HIGH); // Acionando o Rele
    Serial.print( " 1 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4>eq1aroda4a){
    Serial.print( " 0 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4>=eq1aroda4h){
    digitalWrite(Rele7, LOW); // Acionando o Rele
    digitalWrite(Rele8, HIGH);
    Serial.print( " 1 ");
  }
}

```

```

    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val4<=eq1aroda4h){
        Serial.print( " 0 ");
    }
}
if(EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == 3)
{
    incra = -270;
    deltaa= 20;
    deltah = -20;
    eq1aroda3h = cont3 + incra + deltaa;
    eq1aroda3a = cont3 + incra + deltah;
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    eq1aroda4a<=(val4)<=eq1aroda4h){
        digitalWrite(Rele7, LOW);
        digitalWrite(Rele8, LOW); // Acionando o Rele
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val4<=eq1aroda4a){
        digitalWrite(Rele8, LOW);
        digitalWrite(Rele7, HIGH); // Acionando o Rele
        Serial.print( " 1 ");
    }
}
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val4>eq1aroda4a){
        Serial.print( " 0 ");
    }
}
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val4>=eq1aroda4h){
        digitalWrite(Rele7, LOW); // Acionando o Rele
        digitalWrite(Rele8, HIGH);
        Serial.print( " 1 ");
    }
}
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val4<eq1aroda4h){
        Serial.print( " 0 ");
    }
}
if(EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == 4)
{
    incra = -353;
    deltaa= 20;
    deltah = -20;
    eq1aroda3h = cont3 + incra + deltaa;
    eq1aroda3a = cont3 + incra + deltah;
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    eq1aroda4a<=(val4)<=eq1aroda4h){
        digitalWrite(Rele7, LOW);
        digitalWrite(Rele8, LOW); // Acionando o Rele
    }
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val4<=eq1aroda4a){
        digitalWrite(Rele8, LOW);
        digitalWrite(Rele7, HIGH); // Acionando o Rele
        Serial.print( " 1 ");
    }
}
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val4>eq1aroda4a){
        Serial.print( " 0 ");
    }
}
    if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
    val4>=eq1aroda4h){

```

```

digitalWrite(Rele7, LOW); // Acionando o Rele
digitalWrite(Rele8, HIGH);
Serial.print( " 1 ");
}
if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4<=eq1aroda4h){
  Serial.print( " 0 ");
}
}
if(EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == -
2) {
  incra = 94;
  deltaa= 20;
  deltah = -20;
  eq1aroda3h = cont3 + incra + deltaa;
  eq1aroda3a = cont3 + incra + deltah;
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda4a<=(val4)<=eq1aroda4h){
    digitalWrite(Rele7, LOW);
    digitalWrite(Rele8, LOW); // Acionando o Rele
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4<=eq1aroda4a){
    digitalWrite(Rele8, LOW);
    digitalWrite(Rele7, HIGH); // Acionando o Rele
    Serial.print( " 1 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4>eq1aroda4a){
    Serial.print( " 0 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4>=eq1aroda4h){
    digitalWrite(Rele7, LOW); // Acionando o Rele
    digitalWrite(Rele8, HIGH);
    Serial.print( " 1 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4<eq1aroda4h){
    Serial.print( " 0 ");
  }
}
if(EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH && conta == -
3) {
  incra = 133;
  deltaa= 20;
  deltah = -20;
  eq1aroda3h = cont3 + incra + deltaa;
  eq1aroda3a = cont3 + incra + deltah;
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
eq1aroda4a<=(val4)<=eq1aroda4h){
    digitalWrite(Rele7, LOW);
    digitalWrite(Rele8, LOW); // Acionando o Rele
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4<=eq1aroda4a){
    digitalWrite(Rele8, LOW);
    digitalWrite(Rele7, HIGH); // Acionando o Rele
    Serial.print( " 1 ");
  }
  if (EstadoBotao8 == HIGH && EstadoBotao10 == HIGH && EstadoBotao12 == HIGH &&
val4>eq1aroda4a){

```

