

Automação em sistemas de pastejo rotacionado: aplicação de adubo e roçagem

Automation in rotational grazing systems: fertilizer application and mowing

LUIS FERNANDO TOLENTINO DE BRITO
Discente do curso de Engenharia Mecânica (UNIPAM)
E-mail: luisfernando_tb@outlook.com

JANAÍNA APARECIDA PEREIRA
Professora orientadora (UNIPAM)
E-mail: janainaap@unipam.edu.br

Resumo: Observada a importância do mercado produtor de leite do estado de Minas Gerais no contexto nacional, enxerga-se a possibilidade de expansão dos lucros e de diferencial produtivo com a implementação de novas tecnologias que agreguem qualidade e eficiência ao processo. O emprego de veículos autônomos pode ser uma grande vantagem competitiva para os produtores, mas existe ainda a preocupação com a viabilidade e facilidade de implementação dessa tecnologia. Através da programação de um controlador e utilizando um software de simulação para projetos eletrônicos, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de controle para veículos autônomos e um sistema automático de porteiras que seja viável e de fácil utilização para o auxílio da manutenção do pasto para produção de leite, através de um trajeto para o veículo traçado a partir de pontos geográficos obtidos por GPS, apontando assim possíveis melhorias para os problemas encontrados.

Palavras-chave: Automação. Pastejo rotacionado. Pastagens.

Abstract: Noted the importance of the milk producing market in Minas Gerais in the national context, it is possible to infer that there is an opportunity of expanding profits and a production differential with the implementation of new technologies that add quality and efficiency to the process. The use of autonomous vehicles can be a great competitive advantage for producers, but there is still concern about the feasibility and ease of implementing this technology. By programming a controller and using simulation software for electronics projects, the present work aimed to develop a control system for autonomous vehicles and an automatic gate system that is viable and easy to use, to assist the maintenance of the pasture for milk production.

Keywords: Automation. Rotated grazing. Pastures.

1 INTRODUÇÃO

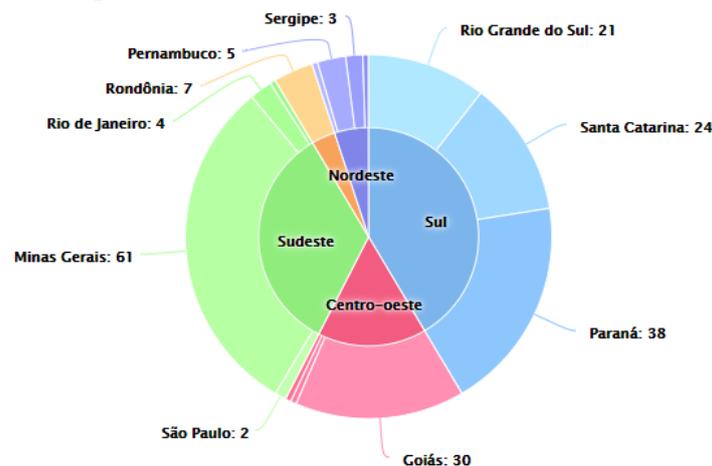
A automação e a instrumentação dos processos produtivos são uma realidade cada vez mais presente, no ramo industrial ou no agrícola, tendo em vista conceitos modernos como a indústria 4.0 e a agricultura de precisão. A automação, como dizem Roggia e Cardozo (2016), é a busca por um processo em que os mecanismos verificam

seu próprio funcionamento, efetuando medições e corrigindo, sem a necessidade da supervisão humana.

O trator Magnum anunciado pela fabricante Case IH é a definição do que se espera para o futuro das máquinas agrícolas e tem enfoque principal na tecnologia referente à autonomia. É um trator que funciona sem cabine de operador, utilizando telemetria, ou seja, monitoramento a distância, para definir rotas e funções, além de alertar remotamente a necessidade de manutenção ou qualquer imprevisto em seu trajeto (EAEMÁQUINAS, p. 36, 2017).

Segundo Dias-Filho (2011), a criação bovina a pasto é a atividade de ocupação agrícola mais utilizada no Brasil. Essa estratégia é tão empregada devido a característica de depender menos orçamento e cuidados em relação à criação por confinamento. De acordo com o portal MilkPoint (2015), Minas Gerais liderou com larga vantagem a pesquisa de estado com maior número de fazendas leiteiras entre as 200 maiores produtoras do Brasil, representando majoritariamente a região sudeste e quase se igualando sozinha à região sul, maior região produtora de leite do país, o que pode ser visto Figura 1.

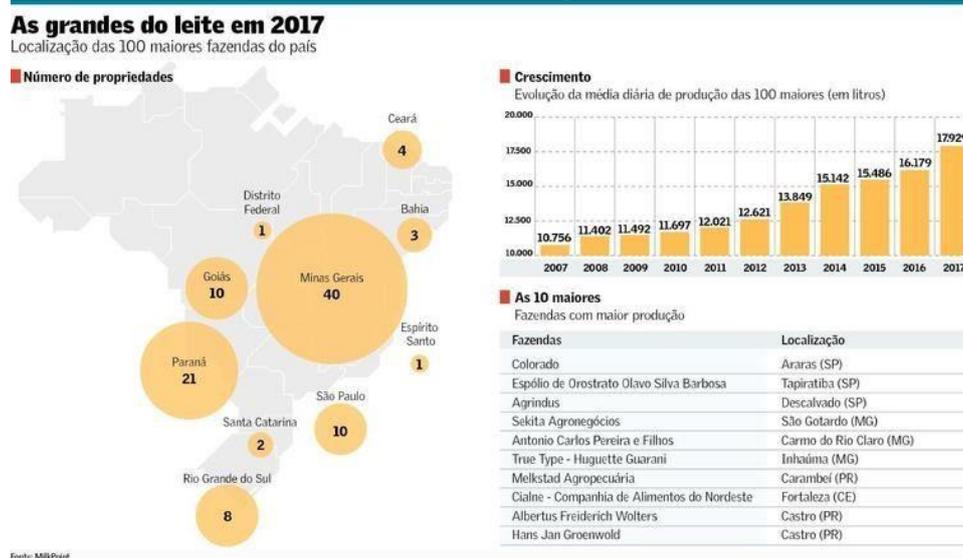
Figura 1: Número de municípios por estado, considerando os 200 municípios com maior produção em volume de leite no Brasil em 2014



Fonte: MilkPoint, 2015.

O estado mineiro manteve ainda uma larga vantagem, segundo a própria MilkPoint (2018), em relação ao Paraná, segundo colocada na pesquisa de 2017, para as 100 maiores produtoras de leite. Além disso, destaca-se o crescimento de produção diário das fazendas, sugerindo uma competição cada vez maior nesse mercado, evidenciado na Figura 2.

Figura 2: Localização das 100 maiores fazendas produtoras de leite do Brasil em 2017



Enxerga-se a partir disso que a utilização da automação pode potencializar o lucro de uma das maiores atividades produtivas no Brasil, otimizando o processo de cuidado do pasto substituindo a mão de obra humana, passível de erros e com pouca precisão, por máquinas programadas para efetuar as correções necessárias, assim obtendo maior controle da qualidade do pasto ingerido pelos animais, com impacto na produção do leite e no custo do processo. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo a idealização de um sistema automatizado de pastejo rotacionado, aplicando tecnologias de automação, apontando melhorias e necessidades para a aplicação prática desse sistema.

Teve-se como objetivos específicos (i) o planejamento de um sistema de porteiras automatizadas, que devem abrir em uma sequência predefinida guiando o gado pelos piquetes e (ii) a idealização de um sistema de controle para um veículo responsável por adubar e roçar os piquetes de forma autônoma.

2 REVISÃO DA LITERATURA

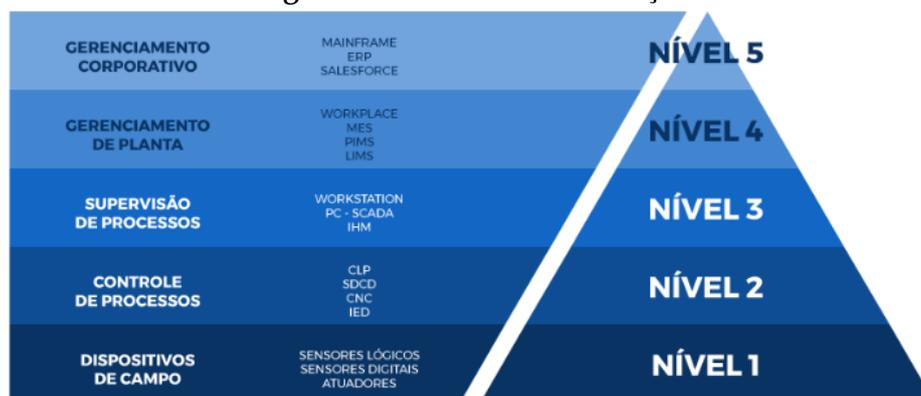
Michaelis (2017) apresenta a definição de *autonomia* como sendo a capacidade de se autogovernar, assim sendo, entende-se como um veículo autônomo aquele capaz de assumir o controle da própria direção. Veículos agrícolas baseados em autonomia já são lançados há mais de vinte anos, utilizando a tecnologia GPS para que os tratores sigam rotas pré-programadas (CAVALHEIRO, 2017). A Figura 3 mostra um exemplo de veículo autônomo, destacando a ausência de uma cabine para o operador, visto que o modelo é controlado à distância e o compartimento é desnecessário.

Figura 3: Trator autônomo Magnum - Case IH

Fonte: EaeMáquinas, 2017.

A máquina idealizada neste trabalho opera seguindo o mesmo conceito, assim o produtor pode substituir os operadores responsáveis pela manutenção do solo por um equipamento que realiza todo o trajeto requerido para o cuidado do pasto.

Tendo em vista o que dizem Moraes e Castrucci (2007), a arquitetura básica de um sistema automatizado é estruturada pela pirâmide de automação (Figura 4), que é composta por cinco níveis, e, para essa pesquisa, os dois primeiros devem ser levados em consideração, sendo o nível 1 referente aos dispositivos de campo, composto por atuadores e sensores que efetivamente realizam o trabalho no sistema; o nível 2, composto pelos dispositivos de controle, responsáveis pela lógica regente das operações no projeto.

Figura 4: Pirâmide de automação

Fonte: Altus, 2018.

Como o sistema de porteiros para esse projeto não demanda um controle minucioso da abertura e do fechamento, o acionamento convencional se faz suficiente para essa aplicação. Martins (2016) descreve esse tipo de acionamento como o acionamento de motores a partir de dispositivos eletromecânicos, como contadores e interruptores.

Contadores, segundo ele, são definidos como chaves de operação não manual, com acionamento proveniente da ação eletromagnética. Seus contatos abrem ou fecham, dependendo do seu estado inicial, a partir da energização da bobina eletromagnética do

contator, podendo ser utilizado para a energização e desenergização de motores elétricos a distância quando seus contatos principais são ligados a um motor, e ainda possuindo contatos auxiliares que são utilizados para aplicação da lógica de acionamento.

Ligados ao motor e ao contator, o acionamento elétrico ainda deve contar com dispositivos de segurança, como o relé térmico, o fusível e disjuntor termomagnético. Como diz Martins (2016), tanto o relé térmico quanto o disjuntor proveem o circuito de uma proteção contra sobrecarga, impedindo a passagem de energia elétrica através do rompimento da ligação entre duas lâminas de metal existentes dentro desses componentes quando a corrente elétrica se faz maior do que a corrente natural de trabalho dos motores dentro do circuito, porém, assim como o fusível, o disjuntor termomagnético também protege contra um possível curto circuito, que colocaria em risco os componentes e ocasionaria o risco de acidentes.

Para desenvolver um sistema capaz de controlar as propriedades do pasto fundamentais para a criação do gado, julga-se necessário ter conhecimento sobre quais são essas características e as técnicas utilizadas para a sua manutenção. O pastejo rotacionado é uma das principais técnicas adotadas para sistemas pastoris, em se tratando da divisão do pasto em áreas menores chamados de piquetes que deverão ser ocupados pelo gado de maneira rotativa, por um espaço de tempo adequado, sucessivamente.

O período em que os animais não estão ocupando um piquete é chamado de descanso, e deve ser utilizado para a adequação do pasto à sua posterior ocupação (BUENO *et al.*, 2003). Sabendo-se disso, um sistema que busca a automação dos portões dos piquetes deve possibilitar a sequência definida para a ocupação dos piquetes controlando a abertura e o fechamento das porteiras a partir da sua lógica de operação a fim de manter todo o rebanho reunido e guiá-lo para o próximo espaço corretamente.

As principais atividades do produtor numa área de pastejo são a calagem, ou gessagem, e a adubação, ou seja, a manutenção do nível de acidez do solo através da neutralização do alumínio tóxico e do fornecimento de nutrientes às forragens (MARTINS; CÓSER; DERESZ, 2004). Jochims, Silva e Portes (2018) complementam apontando outro fator de suma importância no manejo da pastagem, a altura do pasto, sendo esta característica um indicativo da quantidade de forragem presente no ambiente e demonstra de maneira prática o melhor momento para se colocar ou retirar os animais do local.

Tendo conhecimento das características que se deseja controlar no pasto, é necessário levantar algumas hipóteses sobre funcionamento dos mecanismos que atuarão no sistema para realizar a manutenção. Assumindo que o veículo fará a roçagem do pasto, controlando assim a altura das plantas, com uma hélice fixada abaixo do seu corpo, presume-se que ele percorrerá, obrigatoriamente, toda a área dentro do piquete.

Para a aplicação de adubo e calagem, o veículo idealizado deve ser dotado de mecanismos capazes de realizar a operação a lança, dessa forma, visto que a máquina percorrerá toda a extensão do piquete, garante-se que o produto atingirá efetivamente toda a área de pastagem. Ferreira *et al.* (2011) validam o uso desse tipo de adubação em capins na região de Minas Gerais quando realizadas adubações de manutenção, e Santos, Pimavesi e Bernardi (2010) complementam que o controle do pH no solo é garantido pela técnica de gessagem a lança, visto que, ainda que aplicado superficialmente, o gesso

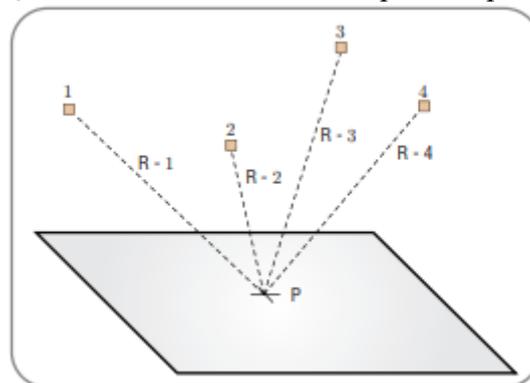
é capaz de controlar a acidez das camadas inferiores, diferentemente da calagem, favorecendo a produção das culturas.

Tendo conhecimento do comportamento da máquina no processo, é possível desenvolver o controle desse sistema. O nível de controle da automação é a parcela do sistema destinada ao comando das máquinas através de controladores numéricos, CLP's (Controladores Lógicos Programáveis) e controladores de processos, que atuam como os "cérebros" do sistema executando a programação com intuito de monitorar e controlar os processos (YAMAGUCHI, 2006). Portanto, a partir da definição do trajeto a ser percorrido o controlador do sistema autônomo deve fazer com que os atuadores guiem o veículo.

Tais controladores operam a partir de uma lógica de programação, definida como a ordenação das sequências de passos realizados pela máquina para se atingir um objetivo. Essa sequência, ou algoritmo, precisa ser escrita de uma forma interpretável pelo controlador, por isso utiliza-se uma linguagem de programação (CARVALHO, 2009).

A programação deve fazer com que, a partir dos dados inseridos, os atuadores sejam acionados para corrigir a situação. Em diversos projetos de veículos autônomos, são usados aparelhos de GPS como a fonte alimentadora de dados essenciais como a posição do veículo no mapa. Um dispositivo com essa tecnologia fundamenta-se na determinação da distância entre si e pelo menos três satélites diferentes, recebendo um sinal de cada um deles, enviados na velocidade da luz, e assim sendo capaz de calcular esse trajeto pelo tempo da viagem do sinal, tornando possível conhecer a posição relativa do aparelho através da interseção de três circunferências de raio igual ao valor dessas distâncias, como exemplifica a Figura 5 em um caso que utiliza quatro satélites (CARVALHO; CÉSAR, 2009).

Figura 5: Determinação das coordenadas de um ponto a partir de quatro satélites



Fonte: Carvalho; César, 2009.

Klaser (2014) descreve alguns dispositivos e técnicas empregados na navegação de veículos autônomos e ressalta a importância da localização do veículo para que ele se mantenha no curso e na trajetória determinada, pois, comparando as informações de latitude e longitude atuais com as mesmas variáveis do ponto a que se deseja chegar, é possível que o controlador tome as cabíveis decisões para que o veículo se dirija até essa posição.

Porém, ainda que seja conhecida a posição para onde o veículo deve se deslocar, é importante determinar o trajeto para se chegar até lá, e para tal a direção na qual o veículo está se locomovendo e a direção que ele deve tomar até o próximo ponto são de extrema importância. Nos dias atuais, é comumente utilizado um magnetômetro para essas aplicações, um dispositivo que, segundo Silva (2010), funciona a partir da identificação de campos magnéticos à sua face sensora, assim muitas vezes sendo aplicado como uma bússola para orientação.

3 METODOLOGIA

O protótipo do sistema foi feito pensando em um veículo que faria a manutenção em dois piquetes, o suficiente para verificar o seu funcionamento, já que a programação que determinará o comportamento do veículo será muito parecida para qualquer uma das áreas que requerem manutenção no seu período de descanso.

Inicialmente, foram escolhidos arbitrariamente seis pontos geográficos a partir do *Google Maps* que corresponderiam à delimitação desses dois piquetes, sendo utilizada para fins de teste a área localizada no campus do UNIPAM destinada ao campo de futebol. A delimitação do primeiro piquete pode ser vista na Figura 6, nos quatro pontos representados em azul. Utilizou-se da ferramenta de cálculo de distância do próprio *Google Maps* – ele tem aproximadamente 1142,44 m² de área, e um perímetro de 143,30 m.

Figura 6: Representação do piquete 1



Fonte: elaborada pelos autores, 2020.

Como diz Lal (1983), a largura teórica de trabalho para uma operação é geralmente prefixada e depende da operação, tipo e marca da máquina usada, variando, portanto, com o implemento utilizado. Imaginando para o corte, adubação e gessagem,

implementos que possuem disponibilizam uma largura de trabalho de dois metros, podendo ser qualquer outro valor para fins de teste, foram marcados, seguindo de forma paralela a uma linha traçada entre os limites dos piquetes, os pontos que, se ligados em sequência, definem o trajeto para a manutenção de forma autônoma do pasto, espaçados de aproximadamente dois metros entre si.

Para o cálculo da posição de cada um desses pontos foi feita a subtração entre as latitudes e longitudes dos pontos limites superiores do piquete 1, e divididos esses valores por 12, sabendo pela ferramenta de medição de distância que a distância entre esses pontos é aproximadamente 24 m. Assim, o primeiro ponto da sequência foi definido de forma arbitrária e os pontos subsequentes foram escolhidos somando os valores obtidos pelo cálculo, com a latitude e longitude do primeiro ponto e assim em diante até que fossem obtidos 12 destes em cada lado do piquete como exemplifica a Figura 6 com as marcações amarelas.

Nota-se ainda que foi definido um local de partida e de chegada, da máquina mantenedora, retratando uma garagem ou galpão onde o veículo seria abastecido de insumos e aguardaria até a solicitação de trabalho, destacada com a marcação de cor verde e iniciando a numeração que define a sequência do percurso que passa pelos pontos amarelos dando sequência aos pontos marcados de 2 a 7 descrevendo um “ziguezague”. Ao chegar ao ponto 26, o veículo tem de seguir até o ponto 27 e então retornar para o 1, pois é a entrada na garagem vindo dessa direção que informa ao sistema que o trajeto terminou.

De forma semelhante, foi definido o trajeto do veículo para o segundo piquete, como mostra a Figura 7. Nota-se que para esse percurso o veículo deve sair e entrar pelas mesmas aberturas da garagem da sequência anterior, e a movimentação entre os pontos marcados no mapa é exatamente a mesma, porém com sentido contrário.

Figura 7: Representação do piquete 2



Fonte: elaborada pelos autores, 2020.

Após definidos os pontos de interesse para o percurso, foi necessário o cálculo dos ângulos, em relação a um dos eixos terrestres, para que o controlador fizesse com que o veículo tomasse a direção correta quando chegasse a um ponto programado para tal. Para isso, utilizou-se de trigonometria com base no que diz Alves (2014), usando a inclinação que descreve a direção de uma reta, conhecida como coeficiente angular (a) ou tangente, definida de acordo com a Equação 1, e posteriormente fazendo uso da função inversa da tangente, utilizada para encontrar o ângulo que representa tal coeficiente, nomeada como Arco Tangente, essa calculada através da ferramenta para tal cálculo disponível no *software* Microsoft Excel.

Equação (1):

$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Como exemplo, tem-se o cálculo, mostrado na Equação (2), para a reta entre os pontos 2 e 3 da Figura 7, evidenciados na Tabela 1, onde os valores de Latitude e Longitude representam y e x na equação, respectivamente.

Tabela 1: Pontos 2 e 3 do piquete 2

Ponto	Latitude	Longitude
2	-18.572798	-46.513766
3	-18.572967	-46.513395

Fonte: elaborado pelos autores, 2020.

Equação (2):

$$a = \frac{-46,513766 - (-46,513395)}{-18,572798 - (-46,513395)} = -0.455525606$$

Segundo o cálculo do *software*, o ângulo que é representado por esse valor de tangente é de $-24,49048^\circ$. Portanto, partindo do ponto 2 para o ponto 3 no segundo piquete, o veículo deve apresentar uma direção de $335,50955^\circ$ (devido ao sentido ser o contrário do calculado) em relação ao eixo que corta a terra horizontalmente. Esse procedimento foi repetido para todos os pares de pontos em sequência.

Com os pontos dos trajetos de cada piquete definidos, foi escrita enfim em linguagem C++ a programação do controlador Arduino UNO, utilizando o *software* do próprio desenvolvedor do equipamento, o Arduino IDE. Foi escolhido esse dispositivo devido à facilidade de programação e comunicação com outros componentes que foram utilizados para esse projeto, e podem ser implementados em projetos futuros. Segundo o desenvolvedor, Arduino (2020), o *hardware* precisa ser alimentado por até 12 V, o que torna o seu emprego relativamente barato e de fácil instalação em qualquer veículo usando sua bateria, além de possuir 14 portas digitais, por onde os demais dispositivos devem se comunicar com o controlador.

Os demais componentes utilizados para a simulação foram:

- ✓ Dois servo motores, escolhidos, como indica Matos (2012), pela ótima opção para o controle de posição, controlados por PWM (*Pulse Width Modulation*), uma

técnica de controle que varia a tensão recebida pelo componente para o controle preciso, no caso do motor, da posição em que ele se estabelecerá. Esses são os responsáveis pela aceleração e direção do veículo;

- ✓ Um módulo GPS para Arduino, que simula a aplicação de um módulo capaz de informar ao Arduino, via comunicação serial, a latitude e longitude atual do veículo;
- ✓ Um sensor magnetômetro, que informa por uma das portas digitais do controlador o ângulo que o veículo se encontra em relação aos eixos terrestres;
- ✓ Uma chave seletora de três posições para selecionar qual dos dois trajetos é o escolhido para o veículo.

A partir do *software* de simulação elétrico Proteus 8, quase todos os componentes desse sistema puderam ser fielmente testados, com exceção do magnetômetro e do sensor indutivo, posteriormente adicionado ao projeto para que o controlador tivesse a informação de que o veículo chegou ao fim do trajeto escolhido. Ambos os componentes não estão inclusos na biblioteca desse *software*, porém ainda foram adicionados na programação, possibilitando seu teste sendo inserido manualmente o valor do ângulo que o veículo estaria descrevendo, no caso do magnetômetro, e substituído por um botão pressionado manualmente, no caso do sensor indutivo.

O tipo do sensor foi escolhido de forma que a máquina de manutenção parasse apenas quando chegasse ao final do seu percurso, por isso, tendo em vista o funcionamento do sensor indutivo segundo explicam Thomanzini e Albuquerque (2005), em que a comutação do seu sinal de saída acontece pela excitação causada pela proximidade de um material metálico; esse modelo foi adotado ao projeto, pois ainda que o veículo se aproxime de objetos durante o trabalho, o veículo só encerrará sua atividade quando entrar na garagem pela porta correta, onde um objeto metálico aguardará para ser detectado pelo sensor.

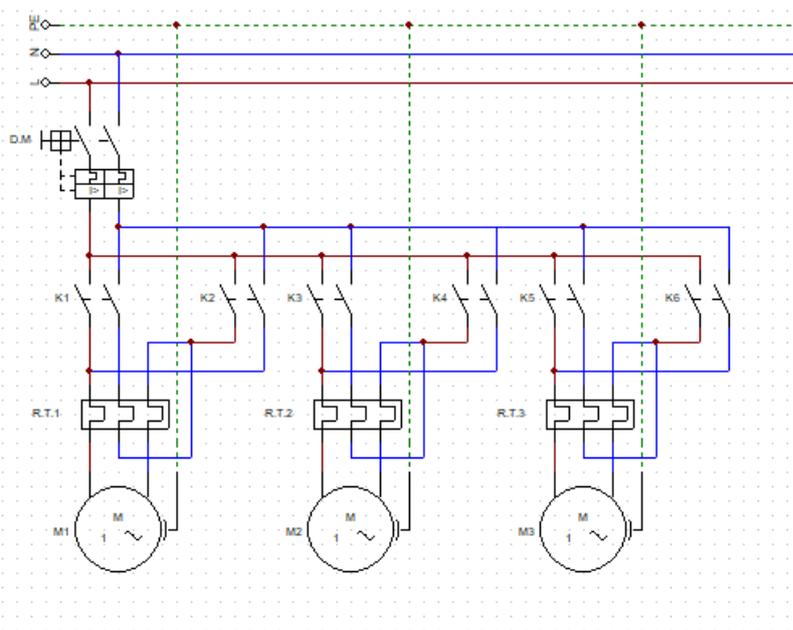
Para o sistema automático de porteiros, com foco na facilidade de projeto e na interação com o produtor em relação ao controle desse sistema, foi definido para o controle das porteiros automáticas a utilização de um painel de controle elétrico via botoeiras, baseado no diagrama elétrico para partida de motores com reversão da WEG (2013, p.18), de maneira que cada portão possa ser aberto ou fechado a partir do comando manual do operador de maneira intuitiva, sendo alertado visualmente sobre o estado de cada porteira para o controle preciso da maneira desejada. O projeto foi desenvolvido em um diagrama elétrico multifilar e testado via software a partir do Cade Simu 3.0, um programa que permite o desenho e a simulação de circuitos elétricos.

Além de necessária a presença de uma porteira exclusiva para cada piquete, por onde o veículo deverá entrar e sair para realizar a manutenção do pasto no período de descanso, faz-se preciso o uso de uma porteira que para intermediar as duas áreas, por onde o gado transita na troca do período de ocupação. A cada piquete adicionado devem surgir, portanto, mais duas porteiros para que o gado transite entre os piquetes, o que culmina no acréscimo de mais dois motores e seus respectivos dispositivos de proteção e controle no painel de comando.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O esquema de ligação elétrica do painel de controle para um sistema com apenas dois piquetes é mostrado nas Figuras 8, 9 e 10, sendo o circuito de força, comando e alerta respectivamente.

Figura 8: Esquema de ligação elétrica do circuito de força das porteiras

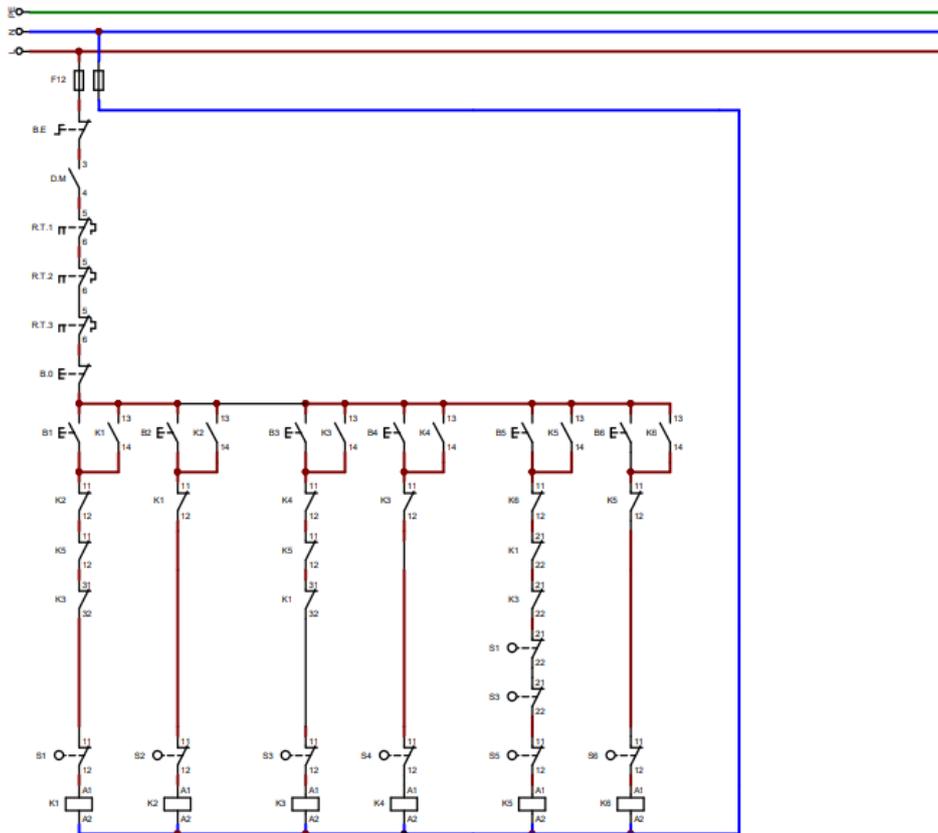


Fonte: elaborada pelos autores, 2020.

É utilizado um motor para cada porteira, sendo que é necessária uma porteira para entrada do veículo no primeiro piquete, assim como para o segundo, além de uma porteira para intermediar os dois, por onde o rebanho transita na mudança de ocupação.

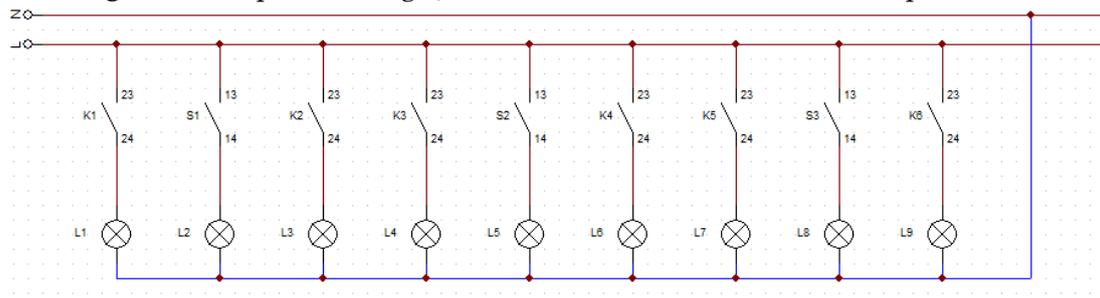
Assim como na partida direta com reversão, cada motor é pilotado por dois contadores (K), um para cada direção de rotação, e o sistema é protegido pela presença de um disjuntor termomagnético (D.M), que protege o circuito contra curto-circuito e sobrecarga térmica, e um relé térmico para cada motor (R.T), para proteção individual de sobrecarga.

Considerando a instalação desse sistema em Patos de Minas (MG), e sabendo que a distribuição de energia é comumente feita em 127 V e 60 Hz para circuitos monofásicos na região, os motores para o diagrama acima devem apresentar a tensão de operação de 127 V monofásico e a mesma frequência. De acordo com o catálogo da WEG (2019, p. 8), um motor com essas características e recomendado para uso em portões eletrônicos apresenta potência de ¼ CV.

Figura 19: Esquema de ligação elétrica do circuito de comando das porteiras

Fonte: elaborada pelos autores, 2020.

Os botões B1, B3 e B5 comandam a abertura das porteiras, enquanto os botões B2, B4 e B6 fecham, energizando e desenergizando, respectivamente, as bobinas dos contadores (K). É importante notar que existem sensores de fim de curso (S) que limitam o curso dos motores, assim fazendo com que o portão pare de abrir ou fechar quando chega ao fim do seu curso. Além disso, o projeto é feito de maneira que não permita a abertura de uma porteira enquanto outra está abrindo ou completamente aberta, isso evita que o gado caminhe para fora do piquete durante a transição em caso de erro de comando do operador no painel ao pressionar um botão por equívoco. Diferentemente do circuito de potência, o circuito de comando é protegido apenas contra curto-circuito por dois fusíveis (F12), mas também é ligado à rede de energia em 127 V.

Figura 10: Esquema de ligação elétrica do circuito de alerta das porteiras

Fonte: elaborada pelos autores, 2020.

A partir de sinalização luminosa, o operador do painel consegue saber se os três portões estão abrindo, com as lâmpadas L1, L4 ou L7 ligadas, totalmente abertas, com as lâmpadas L2, L5 ou L8 ligadas, ou fechando, com as lâmpadas L3, L6 ou L9 ligadas. Os contatos auxiliares normalmente abertos dos contatores que pilotam os motores habilitam a energização das lâmpadas. Esse circuito também trabalha em 127 V.

Para implementar a automação nesse sistema de modo que as porteiças sofressem essa mudança automaticamente, poderia ser utilizado um controlador, que deveria atuar monitorando a data atual e tomando as decisões de abertura e fechamento a partir disso. O modelo escolhido perde em nível de automação quando comparado ao emprego de um CLP para a comutação dos portões de forma automática, visto que o responsável pela manutenção do pasto deve interagir com o painel para que ocorra a mudança, mas é um sistema mais barato por não possuir um controlador que exige grande potência e que deveria estar constantemente ligado para a averiguação da data atual em comparação com a estipulada.

Para o sistema do veículo autônomo desenvolvido, a programação foi escrita de forma que os atuadores se posicionassem em ângulos que fizessem com que o veículo se dirigisse para o próximo ponto da sequência no trajeto de forma correta. Para isso, tomando como base servo-motores que variam sua posição de 0 a 180°, foram implementados dois desses motores, um responsável pela variação angular do pedal de aceleração, e o outro pela variação angular do volante de direção.

O motor da aceleração se posiciona em 65° normalmente, o ângulo foi definido de forma arbitrária, podendo ser qualquer um para fim de teste, e é esse para representar uma aceleração maior enquanto o veículo apenas deve seguir uma linha reta enquanto efetua a manutenção do pasto. Já quando o veículo se encontra em um dos pontos definidos pelo trajeto, esse servo toma um ângulo de 50° para representar uma aceleração quase nula, apenas para manter o veículo em movimento, assim sendo para que o veículo possa descrever uma curva.

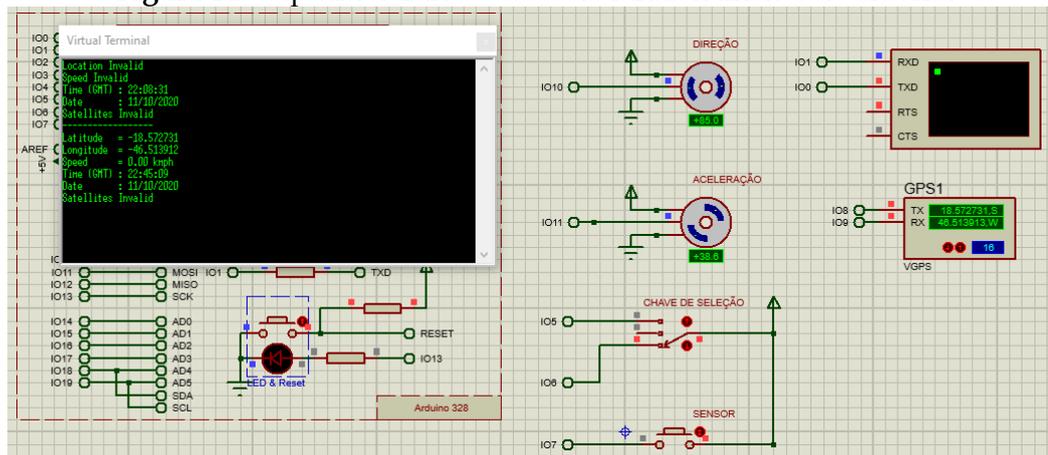
O outro servo motor naturalmente deve ser estabilizado pelo controlador no ângulo de 90°, assim o volante estaria posicionado para que o veículo não desviasse de uma linha reta. Com a chegada do veículo a um dos pontos marcados, esse motor varia sua posição para 0° ou 180°, dependendo de qual direção o veículo deve adotar para seguir até o próximo ponto. Quando atinge o ângulo correto seguindo em linha reta para o próximo ponto, monitorado pelo sensor magnetômetro, o servo motor retorna para a posição original.

O único problema encontrado nessa parte da simulação foi que os atuadores não se posicionavam no ângulo exato que era proposto pelo controlador, como, por exemplo, normalmente o motor utilizado para o controle de direção se posicionava no ângulo de 85° quando deveria estar em 90°. Essa interferência comprometeria totalmente o funcionamento do sistema em campo, já que uma variação angular desse atuador faria com que o veículo não prosseguisse até o próximo ponto em linha reta. Assim, uma tática que poderia ser utilizada para contornar esse problema seria a instalação do servo motor defasado de 5°.

O componente que informa ao controlador a posição do veículo para que os motores possam se posicionar de forma correta é o módulo GPS. A alimentação de

informações por parte do GPS é fornecida via comunicação serial, o que fez com que, na programação do Arduino, os pinos digitais 8 e 9 fossem transformados em pinos capazes de receber esse tipo de informação, e os pinos 0 e 1, que naturalmente podem ser utilizados para tal, foram utilizados para a visualização dessas informações através de um monitor ligado ao controlador, como mostra a Figura 11, um imagem da tela de simulação capturada durante um dos testes de funcionamento do sistema.

Figura 11: Captura durante o teste de funcionamento do sistema



Fonte: elaborada pelos autores, 2020.

Através do simulador, é possível que seja escrito manualmente o valor de latitude e longitude que o módulo transmite para o controlador, dessa forma foi possível comprovar a reação que os atuadores tomavam para cada valor de latitude e longitude, em que se provou com sucesso que o sistema com esses componentes é capaz de operar segundo a lógica implementada para a manutenção do pasto. A lógica se baseia em duas situações: (1) quando o Arduino recebe a informação de uma combinação de latitude e longitude que não está escrito na sua lógica, ele comanda os atuadores a se posicionarem de forma a guiar o veículo em linha reta; (2) quando é lido pelo controlador que o veículo está em uma posição predeterminada (um dos pontos marcados no mapa), o veículo diminui sua velocidade e começa a virar até se encontrar em linha reta em relação ao próximo ponto.

Dito isso, é importante que o módulo GPS do sistema esteja sempre calibrado, já que, se o veículo se encontrar em um ponto geográfico onde o controlador deveria realizar uma tomada de decisão e o módulo GPS não fornecer essa informação corretamente, ocorrerá um acidente durante a operação, visto que o veículo prosseguirá em linha reta.

Além disso, foi necessária a implementação de um componente no sistema, que faz com que veículo entenda que concluiu o trajeto, se não ele seguiria, em loop, refazendo seu trajeto até não ser mais fisicamente possível. Assim foi inserido o sensor indutivo, que, ao identificar um objeto metálico, presente obrigatoriamente apenas na entrada correta da garagem, como dito anteriormente, faz com que os atuadores se posicionem em 0°, assim retirando a aceleração da máquina.

A simulação desse sensor foi feita através de uma chave mecânica adicionada em uma das portas digitais do Arduino, não havendo diferença alguma na programação para essa troca de dispositivos, já que ambos funcionam de maneira semelhante, quando apertado o botão, ou acionado o sensor, a entrada digital do controlador receberá o indicativo de que deve tomar a decisão de parar. Para esse subsistema, é importante salientar a importância de que em todo o trajeto de manutenção o sensor não poderá identificar nenhum objeto metálico, se não, assim como se tivesse chegado ao destino, o veículo parará de se locomover.

Para a comunicação entre o veículo e o operador, foi simplesmente inserida uma chave seletora de 3 posições. Na primeira posição, o veículo adota a parte da programação responsável pela manutenção do primeiro piquete; na segunda, ele adotará o trajeto para o segundo piquete e, na posição central, ele não fará nenhum movimento. Portanto, para que o veículo não comece a se locomover assim que seja ligado, é importante fazê-lo com a chave na posição intermediária, para então selecionar qual será o piquete que receberá a manutenção naquele momento.

Ainda que a simulação valide o funcionamento do sistema com possíveis erros corrigíveis, como os apresentados até então, é importante ressaltar que, pela existência do raio de giro, que é um parâmetro que define o raio geométrico apresentado por um carro enquanto realiza uma curva, um item influenciado pelo ângulo das rodas de direção de um veículo e a distância entre suas rodas frontais e traseiras, é impossível que o veículo aqui idealizado consiga realizar as curvas necessárias para prosseguir no trajeto definido sem sair do percurso, utilizando a programação desenvolvida, em aplicações reais.

Outra melhoria que pode ser feita é a implementação de um sistema supervisor que mostre ao produtor as condições do veículo durante o processo em tempo real. Ainda que considerado, esse sistema não foi desenvolvido no presente trabalho devido à impossibilidade de teste do sistema. Porém, foi estudado e constatado que, segundo seu desenvolvedor, *Espressif* (2020), o módulo ESP8266 é capaz de se conectar a uma rede Wi-Fi e trocar informação de forma serial com outros dispositivos, assim sendo possibilitaria a emissão de informações para um site na internet, do controlador desse sistema, o Arduino UNO, quando trabalhando em conjunto.

5 CONCLUSÃO

Concluiu-se que o sistema idealizado e desenvolvido neste trabalho, apesar de funcionar segundo propõe a programação para o veículo autônomo, de acordo com os testes simulados, requer ainda melhorias para adequá-lo aos veículos reais. Ao apontar melhorias e dispositivos que podem auxiliar na inserção da tecnologia de automação no processo de criação de gado, alavancando uma das atividades produtivas mais importantes da região de Minas Gerais, o presente trabalho concluiu sua meta, sendo ponta pé inicial e servindo como fonte de pesquisa para projetos futuros que têm objetivos semelhantes.

REFERÊNCIAS

- ALTUS. **Curso de introdução à automação [aula 01]**. Altus, 25 de janeiro de 2018. Disponível em: <https://www.altus.com.br/blog/categoria/10/detalhe/100/curso-de-introducao-a-automacao--5Baula-01-5D>.
- ALVES, A. F. **Fundamentos de Cálculos**. Salvador: UNIFACS, 2014. v. 1. 228 p.
- BUENO, G. M. J. *et al.* **Área do piquete e taxa de lotação no pastejo rotacionado**. EMBRAPA. Planaltina – DF, dezembro de 2003.
- CARVALHO, E. A. de; CÉSAR, P. A. **Leituras cartográficas e interpretações estatísticas II**. Natal, RN: EDUFRRN, 2009. 244 p. 12 v.
- CARVALHO, V. A. **Lógica de programação**. Colatina: CEAD / Ifes, 2009.
- CAVALHEIRO, L. R. **Fundamentos, tecnologias e aplicações de veículos autônomos**. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná Campus Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.
- DIAS-FILHO, M. B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. **R. Bras. Zootec.**, v. 40, p. 243-252, 2011 (supl. especial). Disponível em: http://diasfilho.com.br/Desafios_producao_animal_a_pasto_frenteira_agricola_Moacyr_%20B_%20Dias-Filho.pdf.
- EAEMÁQUINAS. **Trator autônomo da CASE IH antecipa o futuro do agronegócio**. Editora Taboca, ano XIV, n. 89, 2017.
- ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP8266EX**: Datasheet. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf.
- FERREIRA, A. B. *et al.* **Adubação de capins do gênero Brachiaria**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2011.
- JOCHIMS, F.; SILVA, P. A. P.; PORTES, V. M. Utilizando a altura do pasto como ferramenta de manejo de pastagens. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 31, n. 2, p. 42-44, maio/ago. 2018.
- KLASER, R. L. **Navegação de veículos autônomos em ambientes externos não estruturados baseada em visão computacional**. Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. 81 p.

LAL, H. Modelo matemático simples do rendimento operacional e quantificação dos seus parâmetros para chassi porta-implementos atração animal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 6, p. 649-656, junho 1983.

MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; DERESZ, F. **Formação e utilização de pastagem manejada em sistemas intensivos de produção de leite**. EMBRAPA, Juiz de Fora (MG), nov. 2004.

MARTINS, M. T. **Comandos elétricos industriais: teoria**. Instituto Federal de Santa Catarina, março 2016.

MICHAELIS. **Autonomia**. Editora Melhoramentos Ltda./UOL: 2017. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=autonomia>.

MILKPOINT. **Produção por município: MG tem mais municípios entre os maiores, RS lidera nas cidades com maior produtividade**. MilkPoint, 28 out. 2015. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/noticias-e-mercado/giro-noticias/producao-por-municipio-mg-tem-mais-municipios-entre-os-maiores-rs-lidera-nas-cidades-com-maior-produtividade-97540n.aspx>.

MILKPOINT. **Top 100 2018: produção dos líderes de leite cresceu 10%**. MilkPoint, 22/03/2018. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/noticias-e-mercado/giro-noticias/producao-das-lideres-do-leite-cresceu-10-207378/>.

MORAES, C. C. de; CASTRUCCI, P. de L. **Engenharia de Automação Industrial**. [S. l.]: Editora LTC, 2007.

ROGGIA, L.; CARDOZO, R. F. **Automação industrial**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, 2016.

SANTOS, P. M.; PRIMAVESI, O. M.; BERNARDI, A. C. C. Adubação de pastagens. *In*: PIRES, A.V. (Ed.). **Bovinocultura de corte**. Piracicaba: Fealq, 2010.

SILVA, E. C. **Desenvolvimento de transdutor baseado na fase da magnetoimpedância gigante para medição de campos biomagnéticos**. PUC, Rio de Janeiro, 2010.

THOMANZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. de. **Sensores Industriais Fundamentos e Aplicações**. 4. ed. São Paulo? Editora Erica, 2015.

WEG. **Automação: guia de seleção de partidas**. Grupo WEG - Unidade Automação Jaraguá do Sul, Santa Catarina, ago. 2013. Disponível em: <https://drb-m.org/WEG-guia-de-selecao-de-partidas.pdf>.

WEG. **Motores**: aplicações comerciais e residenciais. Grupo WEG - Unidade Motores Jaraguá do Sul, Santa Catarina, março 2019. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h05/h31/WEG-motores-aplicacoes-comerciais-e-residenciais-50041418-brochure-portuguese-web.pdf>.

Yamaguchi, M. Y. **Sincronização das bases de tempo de clps distribuídos numa rede de automação de processo industrial**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. v. 1.