

Projeto e Execução de Robô Terrestre Autônomo com Carregamento Solar Aplicado à Manutenção em Usinas Solares.

1st André Marcos Silvestre Pereira
Departamento de Engenharia e
Tecnologia
Universidade Federal Rural do
Semiárido
Mossoró, Brasil
andre.pereira05455@alunos.ufersa.edu.br

2nd Bruno Emmanuel de O. B. Luna
Departamento de Engenharia e
Tecnologia
Universidade Federal Rural do
Semiárido
Mossoró, Brasil
bruno.luna@ufersa.edu.br

Resumo — Com o avanço tecnológico cada vez mais a matriz energética mundial vem sendo substituída por meios de geração de energia limpa, com a participação cada vez mais expressiva da geração eólica e fotovoltaica na matriz energética. Assim como a inconstância na velocidade dos ventos está para a geração eólica, as interferências do meio estão para a geração fotovoltaica, seja com a deposição de resíduos minerais sobre as células, ou com o crescimento de vegetação nos arredores das placas, que gera sombreamento que por sua vez pode levar ao desligamento parcial, no caso de uma placa do tipo “half cut cell”, ou total da placa, caso esta seja comum. A fim de minimizar ao máximo os efeitos de sombreamentos causados pelo meio, cria-se a necessidade da limpeza constante das vias de circulação em suas redondezas e dos painéis, porém em grades usinas essa limpeza pode ser dispendiosa e demorada caso seja necessário remanejar uma equipe para realizá-la. Partindo dessa necessidade, o presente artigo tem como objetivo propor uma solução de baixo custo para o problema da obstrução das vias por meio de um projeto com o auxílio de robótica do protótipo de um sistema autônomo, destinados a realizar essa limpeza rotineira no solo das vias de circulação de usinas solares.

Palavras-Chave — *Arduino, automação, veículo, solar, manutenção, controladores.*

Project and Execution of an Autonomous Solar-Powered Ground Robot Applied to Maintenance in Solar Plants.

Abstract — *With the increasing technological advancements, the world's energy matrix is progressively being replaced by clean energy generation methods, with an increasingly significant contribution from wind and solar power in the energy mix. Just as the inconsistency in wind speed affects wind power generation, environmental interferences impact solar power generation, whether it's the deposition of mineral residues on the cells or the growth of vegetation around the panels, resulting in shading that can cause partial or complete shutdown of the panels, depending on whether they are "half-cut" or standard cells. In order to minimize the effects of shading caused by the environment, there is a need for constant cleaning of the panels and the pathways around them. However, in large-scale solar plants, this cleaning process can be costly and time-consuming, especially if it requires relocating a team to perform the task. Recognizing this need, this article aims to propose a low-cost solution to the issue of pathway obstruction through the design of a prototype autonomous robotic system intended to carry out routine cleaning on the ground of solar plant pathways.*

Keywords — *Arduino, automation, vehicle, solar, maintenance, controllers.*

I. INTRODUCTION

Os parques solares são uma fonte crescente de energia renovável em todo o mundo destacando-se ainda mais no Brasil devido sua proximidade à linha do equador e disponibilidade solar em todas as épocas no ano. No entanto, a manutenção dessas instalações pode ser um desafio, especialmente em áreas remotas ou de difícil acesso onde normalmente encontram-se as grandes usinas solares. Para enfrentar esse desafio, a automação e a robótica têm sido cada vez mais utilizadas, e os veículos autônomos se mostram uma solução promissora.

Neste artigo é discutido o projeto e a criação de um protótipo de veículo autônomo utilizando a plataforma Arduino para a manutenção em parques solares. O veículo seria capaz de se mover de forma autônoma pelo parque solar, e realizar tarefas de manutenção, como limpeza das vias de circulação por onde as equipes de manutenção deverão atuar.

Serão abordadas as etapas do projeto, incluindo a seleção de componentes, a programação do sistema de controle e a integração de sensores e atuadores. Também serão discutidos os desafios enfrentados durante o processo de criação e as soluções encontradas para superá-los.

Ao final deste artigo, espera-se fornecer uma visão geral do processo de criação de um veículo autônomo utilizando a plataforma Arduino para manutenção em parques solares. Com o avanço da tecnologia, acreditamos que a automação e a robótica serão cada vez mais importantes para tornar a manutenção de parques solares mais eficiente e sustentável.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Funcionamento de um Pannel Solar

Comumente chamado de painel solar, ou placa solar é um dos principais componentes de uma usina geração de energia fotovoltaica, ao contrario do que alguns acreditam, a temperatura não é fator decisivo para a geração de energia por esses sistemas. A partir da interpretação de sua nomenclatura, “photo” significa “produzido pela luz” e “voltaico” refere-se à “energia produzida pela luz” segundo

[1] tais dispositivos são os elementos básicos para a transformação de energia eletromagnética em energia elétrica e podem ser compreendidos como dispositivos semicondutores que produzem uma corrente elétrica quando expostos à luz.

Normalmente produzidos com silício (Si), elemento do grupo IV da tabela periódica, pela característica de possuir quatro elétrons em sua camada de valência, sendo, portanto possível a formação de quatro ligações covalentes, sendo assim denominado como um dopante doador de elétrons, ou dopante tipo N. Já átomo do grupo III como do elemento índio (In) liberam facilmente a lacuna extra para a banda de valência diz-se que um elemento do grupo III é um aceitador de elétrons ou um dopante P.

Ainda segundo [1], quando um cristal do tipo N é unido a um cristal do tipo P ocorre a formação de uma junção do tipo N-P. Como consequência desta união, é estabelecida em N uma carga positiva e em P uma carga negativa, surge assim um campo elétrico na região de junção.

No nível atômico a luz atua como um fluxo de partículas chamadas fótons. Quando a junção N-P é iluminada ocorre o fenômeno de absorção dos fótons por parte dos elétrons (efeito fotoelétrico), fazendo com que alguns passem da banda de valência para a de condução[1].

Os elétrons que atingem a banda de condução vagueiam pelo semicondutor até serem puxados pelo campo elétrico existente na região de junção. Através de uma ligação externa, os elétrons são levados para fora da célula e ficam assim disponíveis para o uso[1].

Gerando assim uma corrente elétrica da célula fotovoltaica, para a ampliação e melhor utilização dessa corrente obtida varias células são interligadas no interior da placa solar.

B. Usina Solar Fotovoltaica

De forma mais simples uma usina solar é composta por painéis, inversores, estruturas de fixação e condutores elétricos. Os painéis geram energia como foi citado anteriormente em concordância com [1], e por meio dos condutores levam a corrente contínua até o inversor, este responsável por fazer a conversão de corrente contínua para corrente alternada que por sua vez é interligada à rede de distribuição, quando o sistema é on-grid (ligado à rede). Para sistemas off-grid a energia é armazenada em baterias para que fique a disposição para ser utilizada quando necessário.

Usinas de solo de grande porte, onde o objetivo do presente trabalho pretende atuar, normalmente encontram-se distante dos grandes centros urbanos, principalmente devido à grande área necessária para sua implantação.

III. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Pelas próprias características de funcionamento dos sistemas solares existe a necessidade dos mesmos ficarem expostos às intempéries do clima local, como por exemplo, ventos, poeira, chuva, e a própria incidência de raios solares que com o tempo pode corroer e desgastar, por exemplo, o material isolante dos condutores expostos.

Tendo em vista tais características surge a necessidade de limpeza dos painéis, pois com a deposição de uma camada de poeira e sedimentos em sua face ocorre uma considerável

perda de eficiência na geração energética, além da limpeza dos painéis faz-se necessária também com alguma frequência a realização de manutenções preventivas em todo o sistema.

Além de limpeza das células, outras atividades de manutenção realizadas em sistemas solares são, verificação das conexões elétricas, substituição de peças danificadas, monitoramento da produção de energia, e inspeção visual a fim de identificar problemas em potencial antes que eles se tornem mais graves.

Para isso equipes especializadas devem deslocar-se ao local da instalação para realizar suas atividades. Porém como este pode ser um processo que não ocorre com um elevado grau de frequência, entre uma manutenção e outra pode haver crescimento da vegetação local no solo da usina, que por sua vez pode dificultar o acesso das equipes de manutenção, e em casos mais graves a vegetação pode crescer ao ponto de gerar sombras sobre os painéis, além de servir de abrigo para roedores que podem danificar os condutores da instalação e até causar acidentes ou mesmo o completo desligamento de parte da usina.

IV. PROBLEMATICA



Fig. 1. Parque Solar Dover, EUA.

É comum encontrar artigos e outras produções acadêmicas voltadas à solução do problema de acúmulo de detritos na superfície dos painéis, porém poucos abordam a desobstrução das vias de acesso dentro de uma grande usina solar.

A figura 1 ilustra o crescimento de vegetação rasteira em uma usina de solo nos Estados Unidos, tal vegetação como citada anteriormente além de gerar riscos à integridade física dos equipamentos, pode intervir na capacidade produtiva da usina, bem como trazer riscos aos profissionais responsáveis pela manutenção da mesma. Pois além de obstruir a passagem, a vegetação serve de abrigo e alimento para roedores que por sua vez atraem predadores, muitas das vezes animais peçonhentos como serpentes, aumento ainda mais o risco para os profissionais.

Um problema real e muito pouco abordado pela comunidade acadêmica, que pode ser solucionado de maneira relativamente simples com o auxílio de sistemas autônomos terrestres destinados a realizar uma limpeza contínua e automatizada nas vias de acesso.

Para realizar a prototipagem do veículo autônomo, será usada como base a plataforma Arduino, devido o baixo custo e facilidade de modelagem do protótipo.

V. O PROTÓTIPO

Alguns dos motivos que levaram à escolha do Arduino para o desenvolvimento do protótipo foram, a facilidade de programação, pois sua linguagem é baseada em C/C++ que é uma linguagem de programação amplamente utilizada. Custo da plataforma é bastante acessível, devido a sua facilidade de programação e baixo custo de aquisição o Arduino é uma plataforma com bastante adeptos, seja no meio acadêmico ou por hobby, a comunidade é bastante ativa, o que gera uma maior facilidade em tirar dúvidas e conseguir suporte [2].

Além desses benefícios a plataforma é bastante flexível, oferecendo uma ampla variedade de recursos e interfaces permitindo a conexão de sensores e atuadores para amplas aplicações

Em resumo, o Arduino é uma plataforma acessível, flexível e fácil de usar que pode ajudar os desenvolvedores a prototipar rapidamente soluções para veículos autônomos.

Com a plataforma sendo usada para o controle, outros componente foram usados para o desenvolvimento do protótipo.

A. Arduino Uno



Fig. 2. Arduino Uno.

Um microcontrolador é um conjunto de circuitos interconectados em um único chip, cada sub circuito é responsável por uma determinada função. O microcontrolador é constituído por uma unidade central de processamento (CPU) e por seus circuitos periféricos, como pode ser observado na Figura 3 [4].

Alguns dos circuitos adjacentes serão discutidos nos pontos abaixo [2]:

- **Memória RAM:** é conhecida como uma memória de curto prazo ou ainda de memória aleatória, nela se armazena informações temporárias que podem ser acessadas de forma mais rápida tornando o processo de busca ou escrita de informações mais rápidas e eficientes.
- **Clock:** ele é utilizado para fornecer uma maneira de executar as instruções, ou seja, controla uma

sequência de instruções da CPU, com isso ele gera uma sincronia de funcionamento através de pulsos.

- **Memória FLASH:** esse tipo de memória tem por finalidade apagar ou escrever diversos endereços com uma única operação. Ela é considerada uma memória não volátil, e não possui partes móveis.
- **Conversor A/D:** O conversor possui portas de entradas e saídas, a entrada recebe um sinal analógico, ou seja, um sinal elétrico e contínuo o qual possui uma faixa de trabalho, geralmente de 0 a 5v. Na saída se obtém um sinal digital, que nada mais é do que um sinal amostrado em pulsos e em um dado intervalo de tempo.
- **Porta Serial:** é o meio responsável pela comunicação entre o microcontrolador e o meio externo, sendo esse meio externo um computador, um pendrive ou qualquer outro dispositivo

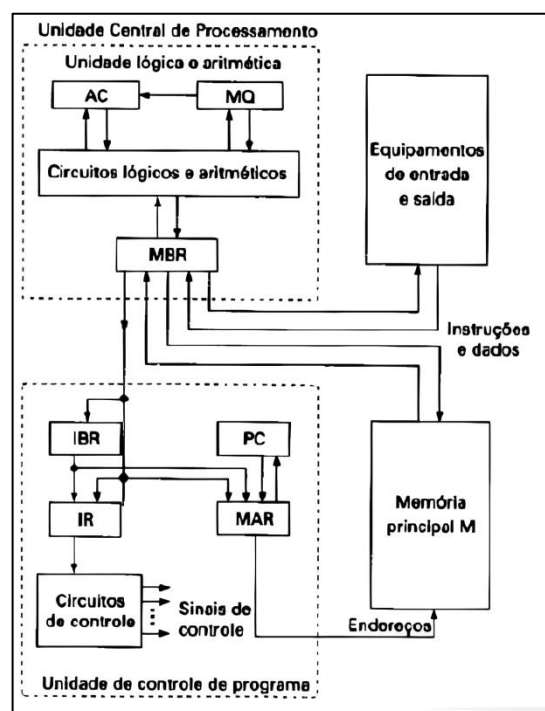


Fig. 3. Arranjo de um Microcontrolador

Arduino é uma plataforma de eletrônica aberta para a criação de protótipos baseada em software e hardware livres, flexíveis e fáceis de usar. Foi desenvolvida para artistas, designers, hobistas e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. O Arduino pode adquirir informação do ambiente através de seus pinos de entrada, para isso uma completa gama de sensores pode ser usada. Por outro lado, o Arduino pode atuar no ambiente controlando luzes, motores ou outros atuadores.

O modelo Uno é uma das placas de desenvolvimento de hardware mais populares da plataforma Arduino. É uma placa de circuito impresso com um microcontrolador ATmega328P da Atmel (agora Microchip Technology), entradas e saídas digitais e analógicas, interface USB, um oscilador de cristal de 16 MHz e vários conectores para expansão e comunicação. Mais especificamente, conta com 14 pinos digitais de entrada / saída (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 pinos analógicos, um botão de

reset; conexão por USB, entrada e saída serial, e jack de alimentação 5V.

Segundo [6], Arduino é um sistema embarcado, ou seja, que pode interagir com seu ambiente por hardware e software incorporados a um dispositivo com um objetivo pré-definido. Trata-se de um projeto de código livre que pode ser “clonado” tanto em software (que utiliza linguagem de programação em C/C++) quanto em hardware.

O Arduino, assim como um CLP (controlador lógico programável), controla sistemas industriais. A plataforma tem como principal finalidade facilitar, a nível doméstico, comercial ou móvel, a automação e controle nestes ambientes.

A placa Arduino Uno é compatível com a maioria dos shields (placas de expansão) do Arduino, permitindo que os desenvolvedores ampliem facilmente as capacidades da placa.

B. Ponte H



Fig. 4. Shield Ponte H

A Ponte H L298N, ilustrada na figura 4, é um componente eletrônico utilizado para controle de motores, principalmente em robótica e automação. É um circuito integrado que atua como um amplificador de potência bidirecional, permitindo que um microcontrolador ou outro circuito de controle digital possa controlar a direção e velocidade de rotação de um motor DC, motor de passo ou outros dispositivos que exigem alta corrente.

A Ponte H L298N é capaz de fornecer corrente de até 2 A em cada uma das suas duas saídas para o motor, com um pico de corrente de até 3 A, e sua tensão de operação é de 5 V a 46 V.

É também capaz de controlar a direção de rotação do motor por meio da polaridade aplicada às suas entradas. Além disso, o L298N inclui proteções contra curto-circuito, sobrecarga térmica e sobretensão.

Segundo [7], O uso de Ponte H é interessante para diversas implementações com motores, porque estes componentes permitem uma série de facilidades. Então, o primeiro ponto a citar é que a ponte H nos permite girar o motor para ambos os sentidos, com um circuito que funciona segundo a figura 5.

Ainda segundo [7], para explicar o funcionamento do circuito: se queremos que o motor funcione em um sentido, fechamos somente as chaves CH AD e CH BE. Se caso queremos que gire no outro sentido, abrimos as anteriores e fechamos CH AE e CH BD.

Então, por meio de comutação de chaves, a ponte H consegue fazer o motor ficar em vários estados diferentes de rotação. Como no módulo Ponte H L298N essa comutação não é feita de forma física, existe um chip embarcado na placa que faz essa comutação de chaves de forma eletrônica, que é mais eficiente do que uma comutação mecânica [8].

Uma das principais vantagens de se ter um circuito assim está associado a ele permitir uma maior dissipação de potência em relação ao acionamento direto por portas de circuitos microprocessados, que só conseguem fornecer alguns mA de corrente, contra 2A por canal da ponte H L298N.

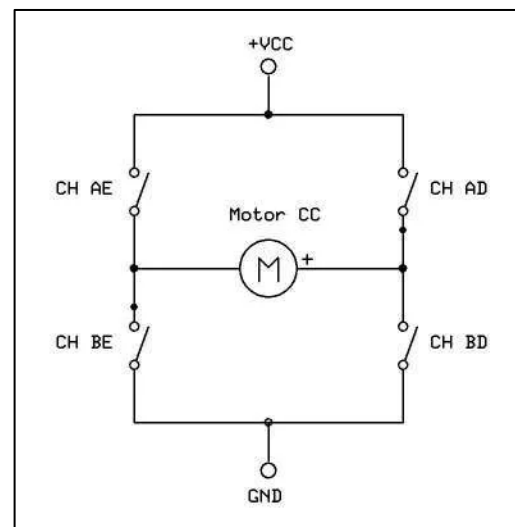


Fig. 5. Circuito interno da Ponte H

C. Motor CC

Um motor CC (corrente contínua) é um tipo de motor elétrico que converte energia elétrica em movimento rotativo. O motor CC é amplamente utilizado em uma variedade de aplicações, incluindo robótica, como poder ser visto na figura 6.



Fig. 6. Rodas e Motor CC, 3 a 6 V.

Seguindo [9], o princípio básico de funcionamento do motor CC é dado da seguinte forma e representado na figura 7: “Sempre que um condutor conduzindo uma corrente elétrica (em vermelho) é colocado em um campo magnético (em azul), este condutor experimenta uma força mecânica (em verde)”, gerando o torque e o giro do eixo do motor.

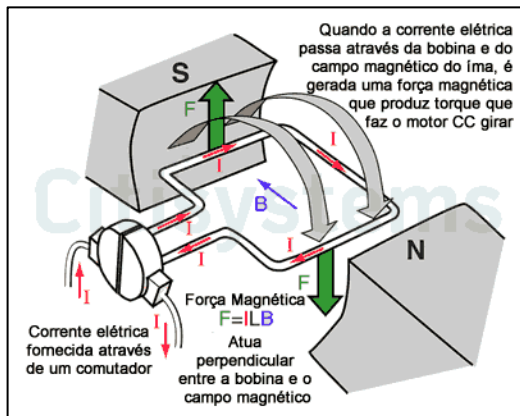


Fig. 7. Princípio de funcionamento de um motor CC [9]

Em resumo, o motor CC aplicada para execução do protótipo é um tipo de motor elétrico bastante comum que pode ser facilmente controlado por meio de uma Ponte H ou módulo de controle de motor CC para Arduino.

D. Encoder

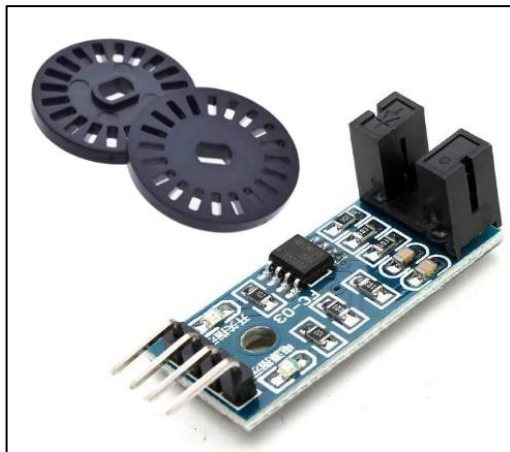


Fig. 8. Sensor de Velocidade (Encoder).

Segundo Autocore [8], o sensor de velocidade é utilizado para realizar medições de rotação de motores, contagem de pulsos e como controlador de posicionamento.

O encoder é um dispositivo que mede a velocidade de rotação de um eixo ou motor. Ele funciona usando um disco com marcações especiais que são lidas por um sensor óptico.

À medida que o eixo ou motor gira, as marcações passam pelo sensor óptico e são convertidas em pulsos elétricos que são contados pelo Arduino. Com base na frequência dos pulsos, o Arduino pode calcular a velocidade de rotação do eixo ou motor.

Para o projeto serão utilizados dois encoders, sendo um para cada motor conectado à respectiva roda, a fim de manter uma velocidade constante entre as rodas para o que o veículo

não desvie da sua rota e possa assim manter o curso previamente programado da melhor maneira possível.

E. Protoboard e Conexões

Jumpers são condutores isolados e com terminações apropriadas para conexão nos pontos da protoboard, podendo estes variar nas configurações macho-macho, fêmea-fêmea ou macho-fêmea, facilitando o processo inicial de montagem do protótipo por economizar o tempo que seria gasto com soldas entre as conexões. Protoboard (ou placa de ensaios em inglês) é uma matriz de contato, uma placa com furos de conexões condutoras para montagem de circuitos elétricos experimentais. Quando disposta na orientação retrato, as linhas de pontos internos são conectadas na horizontal, e as externas são conectadas na vertical e destinadas à alimentação do circuito.

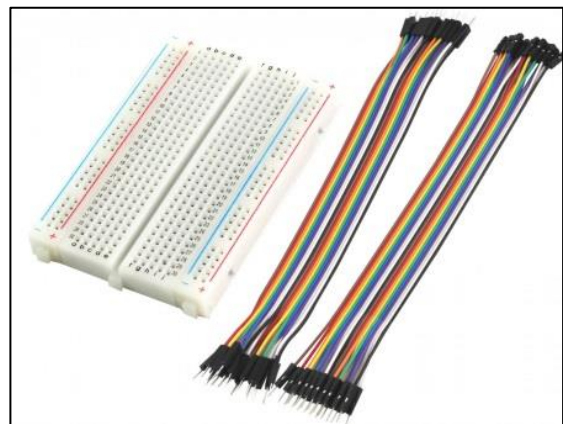


Fig. 9. Protoboard de 400 pontos e Jumpers

Modelos comerciais de protobards são encontrados com 80, 400, 1660, e 3220 pontos, já os jumpers são comumente encontrados com 10 ou 20 centímetros de comprimento. Para a execução do projeto será utilizada uma protobard de 400 pontos e jumpers de 10 centímetros.

F. Alimentação

Para viabilizar a alimentação elétrica do protótipo, é necessário pensar em sistemas de armazenamento de energia eficientes e que possam ser recarregados facilmente, além ter suas dimensões reduzidas e ser de fácil implantação. Além do armazenamento, a duração da alimentação é fator primordial para a viabilidade do projeto, pensando nisso, é interessante implementar um sistema de realimentação para a bateria.

A bateria do tipo power bank, como ilustrada na figura 10, é uma opção compacta e prática para armazenar energia, enquanto o mini painel solar, figura 11, é responsável por recarregar essa bateria de forma autônoma, permitindo que o veículo possa ser usado em diversas situações, sem a necessidade de estar conectado a uma fonte de energia convencional.

Segundo Autocore [8], o Mini Painel Solar 5V 200mA é um painel capaz de gerar energia elétrica a partir da incidência de energia solar sobre si. Uma ótima opção para protótipos e projetos, pois é sustentável e de fácil uso, podendo realizar várias funções simples ou complexas como ligar LEDs, alimentar circuitos de baixo consumo, carregar baterias de lítio e chumbo, entre outros.

O Mini Painel Solar 5V 200 mA por seu fácil manuseio, pode ser ligado em série ou em paralelo, caso seja necessário o aumento da tensão ou corrente para alimentação do seu circuito eletrônico, fornecendo energia renovável e sustentável.



Fig. 10. PowerBank de 5000 mAh



Fig. 11. Mini Painel Solar 5V 200mA

Sua finalidade é a de manter o veículo em operação pela maior quantidade de tempo, visto que, sem a alimentação da placa solar o protótipo precisaria ser recolhido com uma maior frequência pra que suas baterias sejam recarregadas, já com a placa o carregamento seria contínuo durante o dia.

VI. A EXECUÇÃO

A. Locomoção

Analisando o modelo construtivo escolhido, nota-se que se trata de um veículo de três rodas, com tração dianteira, onde as funções de movimentação e direção são desempenhadas pelos motores, visto que a roda traseira é do tipo castor não fixa atuando de forma passiva, ou seja, não motorizadas, podendo girar livremente em torno de seu eixo vertical, como ilustra a figura 13.

Segundo [2], um robô móvel necessita de mecanismos de locomoção que permitam o movimento em seu meio. Existindo uma grande variedade no modo de locomoção dos robôs autônomos, como a possibilidade de andar, pular, correr, rastejar, nadar, voar e rodar, e grande parte desses mecanismos foram baseados em sistemas biológicos reais. Apesar de conhecido as forças e movimentos que envolvem os sistemas reais, promover a réplica destes sistemas é algo

extremamente difícil, devido à diversas razões, como a complexidade mecânica e a fabricação individual de partes, que afetam diretamente o fator econômico de um projeto.

Alguns exemplos de modos de locomoção para robôs são: pernas, nadadeiras, asas ou hélices, esteiras e rodas. Como meios mais viáveis para a aplicação podemos citar esteiras e rodas.

Para esteiras são aplicadas pra terrenos irregulares ou inclinadas como terrenos rochosos ou neve, pois usa superfície de contato com o solo é maior, proporcionando uma maior estabilidade.

Já robôs com rodas são comuns em ambientes com superfícies regulares e lisas, como pisos de fábricas ou ruas pavimentadas. Eles podem ter uma ou mais rodas e serem controlados por um joystick ou através de algoritmos de inteligência artificial.

Para a realização da montagem do protótipo, foi utilizado um kit de chassi para carro robótico de dois motores, como o mostrado na figura 12.

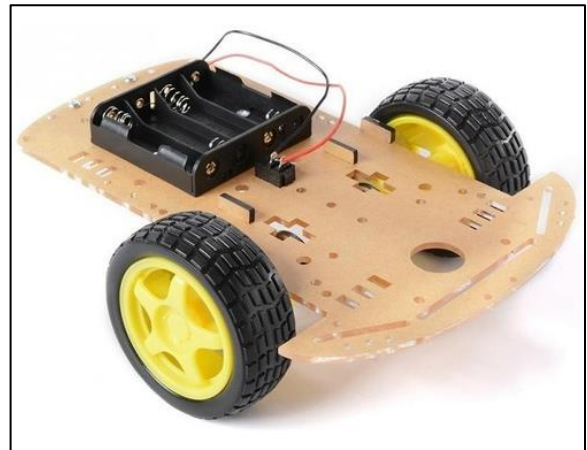


Fig. 12. Chassi para Carro Robótico



Fig. 13. Roda traseira tipo Castor.

Sabendo disso nota-se que para o robô possa exercer suas atividade de forma autônoma será necessário um sistemas para controle de posição e velocidade, visto que para o mesmo mover-se em linha reta ambas as rodas devem estar à mesma velocidade, caso contrario sua rota será distorcida

podendo curvar-se na direção da roda com menor velocidade.

Para tal controle será utilizados os sensores de velocidade, encoders, detalhados no item D da seção V. Para que o mesmo manter o motores à mesma velocidade foi utilizado um controlador PID, para que a partir dos valores de saída obtidos gere novos valores de entrada alterando a tensão nas saídas da ponte H, e consequentemente variando a velocidade dos motores.

B. Controlador PID

O controle PID é uma ferramenta muito utilizada no controle automático de processos industriais, sua função é manter o valor de uma variável de um processo no valor desejado [10].

O funcionamento de um controlador PID é dado da seguinte forma: o sinal aplicado na entrada do processo como sinal de controle ou variável manipulada (MV); e o sinal de saída do processo como variável controlada ou variável de processo (PV). Para alcançar a máxima eficiência da planta, é utilizado um controlador na entrada do processo, que recebe a referência de entrada ou setpoint (SP), e garante a estabilidade do sinal de saída [11].

Em sistemas com realimentação da saída, é formado um laço no processo. Esta disposição é chamada de malha-fechada. No sistema de malha-fechada o controlador recebe constantemente a diferença entre o SP e o valor real da PV. Esta diferença é chamada de Erro e, com base nela, o equipamento gera um sinal de controle para diminuir o erro a um valor muito pequeno ou nulo, independente se há sinal de perturbação no processo ou não. O controle em malha-fechada proporciona ganhos como aumento da precisão do sistema de controle, rejeição dos efeitos de perturbação sobre PV e diminuição da variação mediante instabilidades (aumenta robustez) [11]. Tal processo pode ser melhor visualizado na figura 14.

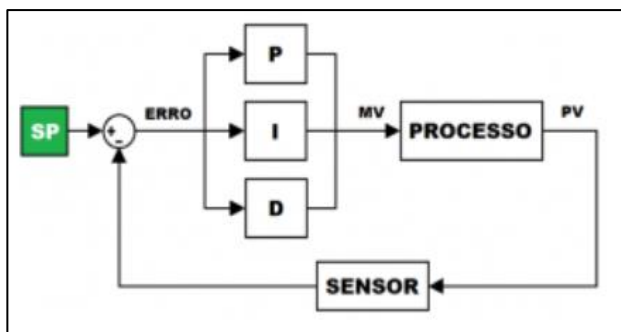


Fig. 14. Modelagem de Sistema de Controle em Malha Fechada [11].

C. Trajetória

Para que o robô realize sua tarefa da melhor maneira possível, determinou-se que o trajeto que ele deveria seguir, para um determinado conjunto de painéis dispostos em linhas horizontais, deve ser o que se apresenta na figura 15. A representação visual do trajeto foi realizada através do software de modelagem 3d [12].

De modo que no primeiro momento, representado à esquerda na figura acima, o veículo deve mover-se entre os painéis horizontalmente.

Para o segundo momento representado à direita, o veículo mover-se-á verticalmente, a fim de percorrer as “bordas” do arranjo, ou seja, os trechos não percorridos na primeira parte do deslocamento.

E por fim, voltar ao início do processador que será repetido novamente em um loop enquanto o robô estiver em atividade.

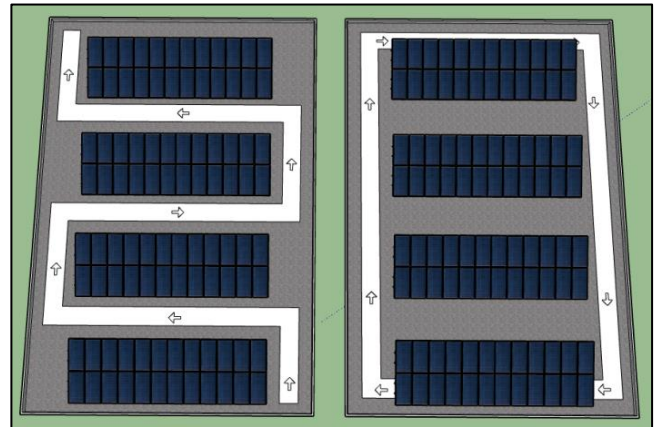


Fig. 15. Visualização de trajetória a ser percorrida pelo robô

Para que tal regulamentação no direcionamento e tráfego seja possível, é utilizado um sistema de controle em malha fechada do tipo PID com citado anteriormente para programar o código do arduino, cujo esquema gráfico simplificado pode ser visto na figura 16.

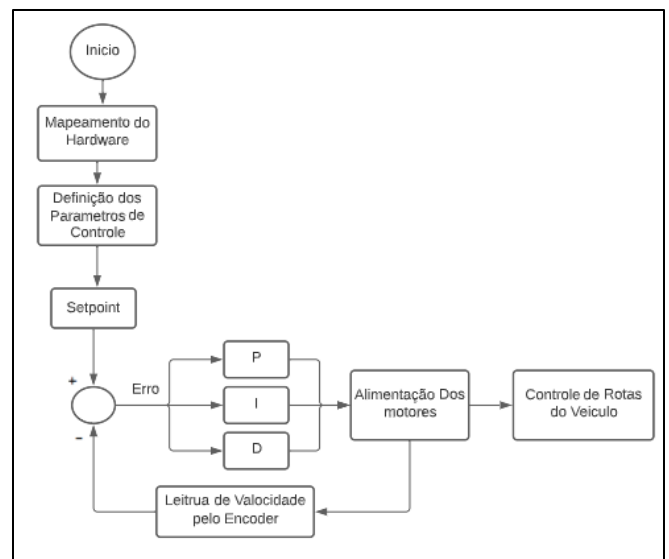


Fig. 16. Diagrama de funcionamento do controle do veículo.

D. Cálculo do Controlador PID

O método utilizado para determinar os valores dos ganhos proporcional, integral e derivativo do controlador PID, foi como o descrito por [13].

Segundo [13], um método mais fácil de determinar manualmente os valores P, I e D é zerar os termos Integral e Derivativo e definir um valor pequeno para o Proporcional a fim de obter a Banda Proporcional a um mínimo. A largura de oscilação resultante X_{osc} e o período de oscilação T_{osc}

podem então ser usados para determinar as configurações de PID utilizando as fórmulas abaixo em (1), (2) e (3).

$$P = 2 * X_{osc} \quad (1)$$

$$I = 1,5 * T_{osc} \quad (2)$$

$$D = I / 5 \quad (3)$$

VII. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As figuras 17 e 18 mostram o resultado final da montagem do protótipo. A título de comparação o mesmo foi posto em operação sem a atuação dos encoders, e em seguida com a os mesmos atuando.

Nota-se que sem o controlador a única maneira de traçar rotas e mudança de direção do veículo é através da ponte H, variando o tempo em que cada motor permanece ligado em determinada direção, além de não ser possível igualar com precisão a velocidade das rodas, pois sem o sinal de saída para realimentação não é possível programar o controlador PID fazendo com que a trajetória do robô seja distorcida visto que as rodas podem ter velocidades de diferentes, e portando o veículo sequer consegue permanecer em linha reta durante a movimentação.

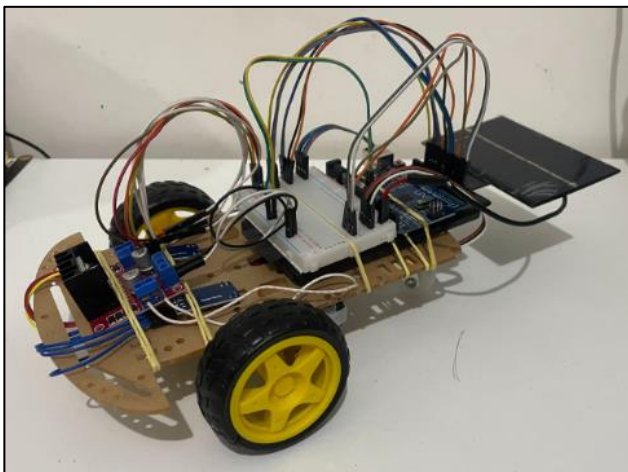


Fig. 17. Vista Frontal Direita do Protótipo Concluído.

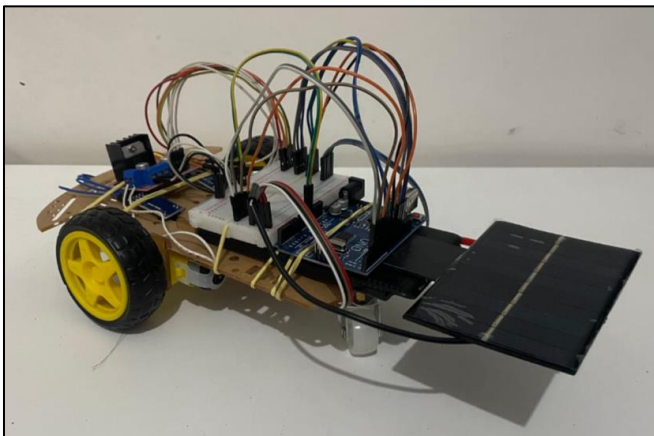


Fig. 18. Vista Lateral Direita do Protótipo Concluído.

O percurso realizado pelo veículo com e sem o controlador pode ser visto nas figuras 19, 20 e 21.



Fig. 19. Ponto de Partida do Veículo.



Fig. 20. Percurso Com e Sem a Atuação do Encoder.



Fig. 21. Resultado da Rota Traçada.

Após a aplicação dos encoders e atuação do controlador é possível melhorar significativamente a sua capacidade de realizar as rota com maior precisão. Isso ocorre porque o sistema de controle permite que o robô realize ajustes mais precisos na sua trajetória, levando em conta possíveis desníveis do solo.

Com um sistema de controle mais preciso, é possível obter uma maior estabilidade no movimento do robô, reduzindo os erros e melhorando a sua capacidade de chegar ao seu destino com maior eficiência. Além disso, um sistema de controle mais preciso também pode contribuir para reduzir o desgaste mecânico dos componentes do robô, aumentando a sua vida útil e garantindo um melhor desempenho em longo prazo.

VIII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho mostrou que foi possível desenvolver um veículo autônomo de baixo custo, utilizando equipamentos e sistemas acessíveis que mostrou ter um desempenho satisfatório para as funções a quais deve executar.

Além de importância de um eficiente sistema de alimentação pensado de forma a manter o veículo o maior tempo possível em atividade contínua, foi possível também perceber a importância de um adequado sistema de controle, visto que pequenas alterações de velocidade entre os motores podem gerar distorções em sua rota.

Como sugestões para futuros trabalhos, recomenda-se a implementação de um sistema de geolocalização, para que o controlador possa acompanhar em tempo real a localização exata do veículo, bem como um sistema de controle remoto que possa ser atuado a distância e interromper a rota predefinida do veículo fazendo o mesmo passar a ser controlado pelo operador. Além disso, com a implantação de uma interface homem máquina e aumentando a robustez do veículo é possível embarcar ainda mais sistemas no mesmo, como, por exemplo, câmeras para realização de inspeção visual nas instalações, e sensores destinados à manutenção preventiva.

REFERÊNCIAS

- [1] DE SOUZA, Cássio Marques. Estudo e Análise de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. Monografia de graduação. Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Minas Gerais, Brasil, 2011. Disponível em: https://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf. Acesso em: 09 maio 2023.
- [2] MALVINO, A. P. Microcomputadores e Microprocessadores. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.
- [3] MARQUES, R. C.; SANTOS, M. Energia solar fotovoltaica e perspectivas de autonomia energética para o Nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Energia Solar, v. 3, n. 2, p. 45-52, ago. 2021. DOI: 10.1109/RBES.2021.12345.
- [4] BARROS, Ítalo Renan da Costa. Projeto de um Robô Móvel Autônomo Terrestre de Pequeno Porte. Monografia de graduação. Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Rio Grande do Norte, Brasil, 2018.
- [5] Multilogica Shop. "Guia Arduino Iniciante Multilogica Shop". [Online]. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3252633/mod_resource/content/1/Guia_Arduino_Iniciante_Multilogica_Shop.pdf. Acesso em: 01/05/2023
- [6] Ferroni, E. H., et al. A PLATAFORMA ARDUÍNO E SUAS APLICAÇÕES. Nome do periódico, volume, número, páginas, mês e ano de publicação.
- [7] ELETROGATE. Guia definitivo de uso da ponte H L298N. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/guia-definitivo-de-uso-da-ponte-h-l298n/>. Acesso em: 05 maio 2023.
- [8] AUTOCORE ROBÓTICA. Autocore Robótica. Disponível em: <https://www.autocorerobotica.com.br/>. Acesso em: 05 maio 2023.
- [9] Citisystems. "Motor CC - Citisystems". Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/motor-cc/#:~:text=O%20princ%C3%ADpio%20b%C3%A1sico%20de%20funcionamento,giro%20do%20eixo%20do%20motor>. Acesso em: 10 de maio de 2023.
- [10] TECNOLOG. O Controlador PID. Disponível em: <https://www.tecnolog.ind.br/content/28-o-controlador-pid>. Acesso em: 10 maio 2023.
- [11] NOVUS. Controle PID: Rompendo a barreira do tempo. Disponível em: <https://www.novus.com.br/blog/artigo-controle-pid-rompendo-a-barreira-do-tempo/>. Acesso em: 10 maio 2023.
- [12] AUTODESK. SketchUp [Software]. Disponível em: <https://www.sketchup.com/>. Acesso em: 8 de maio de 2023.
- [13] CITISYSTEMS. "6.1 - Método Prático para Determinar Banda Proporcional a um mínimo", Controle PID, disponível em: <https://www.citisystems.com.br/controle-pid/#:~:text=6.1%20%E2%80%93%20M%C3%A9todo%20Pr%C3%A1tico%20para%20Determinar,Banda%20Proporcional%20a%20um%20m%C3%ADnimo>, acessado em: maio 08, 2023.