

SOLUÇÃO AUTOMATIZADA PARA MARCAÇÃO DE LINHAS EM CAMPOS DE FUTEBOL

Leonardo Caldieraro Zambrana¹, Matheus Leandro Ferreira²

Resumo: A manutenção e marcação das linhas em campos de futebol demandam tempo e mão de obra especializada, especialmente em instalações que exigem regularidade e precisão. Métodos manuais tradicionais apresentam limitações quanto à padronização e eficiência, o que motiva a busca por soluções automatizadas e acessíveis. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo automatizado para marcação de linhas, utilizando conceitos de robótica e automação de baixo custo. O sistema é composto por um carrinho autônomo controlado por um Arduino Uno R3, que aciona motores DC para locomoção e um servo motor SG90 responsável pela liberação de areia de quartzo nos pontos demarcados. Os resultados indicaram execução estável em trechos retos, funcionamento sincronizado entre navegação e marcação, e facilidade de montagem a partir de componentes amplamente disponíveis no mercado nacional. Durante os testes, observou-se que a presença do material marcador afetou a aderência das rodas ao solo, resultando em oscilações nas curvas.

Palavras-chave: robótica móvel; automação esportiva; marcação de linhas; prototipagem

¹Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), leonardozambrana1@unesc.net

²Orientador. Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), mlf@unesc.net

ABSTRACT: The maintenance and marking of lines on soccer fields require considerable time and specialized labor, particularly in facilities that demand regularity and precision. Traditional manual methods face limitations in standardization and efficiency, motivating the search for automated and accessible solutions. This work presents the development of a low-cost autonomous prototype for line marking, leveraging concepts from robotics and automation. The system comprises an autonomous cart controlled by an Arduino Uno R3, which drives DC motors for locomotion and an SG90 servo motor to dispense quartz sand at designated points. Results indicated stable execution on straight segments, synchronized operation between navigation and marking, and ease of assembly using widely available components in the local market. During testing, the presence of the marking material reduced wheel traction, leading to slippage and oscillations in curves.

Keywords: mobile robotics; sports automation; line marking; prototyping.

1 INTRODUÇÃO

A manutenção de campos de futebol é uma tarefa que exige tempo e mão de obra consideráveis, especialmente em grandes estádios onde a qualidade do campo é essencial para a realização de eventos esportivos de alto nível. Atividades como corte de grama, demarcação de linhas e criação de listras no gramado são executadas periodicamente, demandando precisão e concentração constantes dos operadores. Esses fatores tornam o processo vulnerável a erros humanos, o que pode comprometer a qualidade do campo e aumentar os custos operacionais. Com isso, a automação dessas tarefas surge como uma solução promissora, permitindo que as operações sejam realizadas com maior eficiência e menor intervenção humana (Hameed et al., 2011).

Além da necessidade de uma manutenção constante e precisa, os campos de futebol enfrentam desafios adicionais, como a pressão por padrões elevados para competições de alto nível e a demanda crescente por jogos em diferentes condições climáticas. O trabalho manual muitas vezes resulta em inconsistências nas marcações, afetando a qualidade do jogo e até mesmo causando atrasos em eventos importantes. Em contrapartida, a automação dessas atividades promete não apenas minimizar os erros humanos, mas também proporcionar uma manutenção mais uniforme

e adaptada a diferentes cenários, garantindo a qualidade do gramado independentemente das condições. Assim, a implementação de sistemas robóticos autônomos surge como uma solução que pode revolucionar como os campos esportivos são preparados e mantidos, alinhando-se com a busca constante por inovação e eficiência no setor esportivo (Razif et al., 2019).

A aplicação de robôs autônomos na manutenção de gramados esportivos proporciona benefícios diretos tanto na eficiência operacional quanto na qualidade do campo (Boeri; Lindsey; Unruh, 2023). Sistemas automatizados de corte, por exemplo, demonstram uma eficiência superior aos métodos tradicionais, resultando em uma superfície de grama mais uniforme e com dureza reduzida, o que melhora a jogabilidade e contribui para a segurança dos atletas (Luglio et al., 2024). Além do corte, a automação na pintura das linhas otimiza o tempo e a precisão, utilizando algoritmos de controle e sensores para garantir a uniformidade das marcações e reduzir erros, assegurando o alto padrão exigido em grandes competições (C et al., 2024). A padronização dos resultados é um diferencial crucial, pois elimina as variações inerentes ao trabalho manual e contribuindo para a gestão mais profissional dos campos esportivos, assim sendo mais confiáveis em treinos e competições (Medyński et al., 2023).

A adoção dessas tecnologias no esporte faz parte de uma transformação gradual que tem alcançado áreas antes inimagináveis, com a tecnologia desempenhando um papel fundamental no futuro das práticas esportivas (Quintino et al., 2015). A robótica e a automação, em particular, permitem avanços significativos em termos de precisão e eficiência nos processos (Siegel; Morris, 2020). Essa tendência foi acelerada pela pandemia de COVID-19, que constatou um aumento significativo na demanda por soluções automatizadas para reduzir o contato humano e aumentar a eficiência, uma necessidade que também se aplica ao setor esportivo (Chernoff; Warman, 2023). Além disso, tecnologias desenvolvidas inicialmente para a agricultura, como o uso de robôs autônomos para tarefas de campo, podem ser adaptadas para a manutenção de campos esportivos, demonstrando a maturidade e a viabilidade de sua implementação (Prof. Abhale B. A; Raghunath; Shankarlal, 2024).

Neste contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo funcional de um carrinho automatizado para a marcação de linhas em campos de futebol. O objetivo geral é otimizar o tempo e a precisão desta tarefa por meio de tecnologias de automação e robótica de baixo custo. Para isso, os objetivos específicos foram: identificar os compo-

nentes essenciais para a construção do protótipo; implementar o sistema de navegação autônoma para garantir a exatidão das marcações; desenvolver um protótipo funcional do carrinho e, por fim, avaliar a sua precisão e eficiência por meio de testes práticos.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: a introdução apresenta o tema, o problema, os objetivos e a justificativa; o segundo capítulo apresenta uma análise de trabalhos correlatos na área; o terceiro detalha a metodologia e as ferramentas utilizadas; o quarto apresenta os resultados e a validação do sistema; o quinto traz as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

2 TRABALHOS CORRELATOS

Para compreender o contexto, foram analisados trabalhos que abordam soluções automatizadas para marcação de linhas em ambientes esportivos. As pesquisas a seguir apresentam estudos que contribuem como base para o desenvolvimento deste projeto, permitindo identificar os principais avanços, limitações e diferenciais existentes nas abordagens aplicadas na automação desse processo.

2.1 EXPLORANDO A MATEMÁTICA E A FÍSICA COM O ROBÔ SEGUIDOR DE LINHA NA PERSPECTIVA DA ROBÓTICA LIVRE

No artigo de (Guimarães; Silva; Barbosa, 2020), os autores apresentam a construção e experimentação de um robô seguidor de linha com materiais de baixo custo e reaproveitados, enquadrado na perspectiva da robótica livre para apoiar o ensino de Matemática e Física na Educação Básica. A proposta combina pesquisa bibliográfica com a elaboração de um material didático que orienta a montagem do robô e descreve atividades que articulam conceitos como movimento, medidas, raciocínio proporcional e tratamento de dados, favorecendo aprendizagens ativas e contextualizadas.

O estudo enfatiza acessibilidade e sustentabilidade, tanto pelo uso de sucata eletrônica quanto pela intenção de ampliar o acesso em escolas públicas, destacando também a importância do descarte adequado de materiais não reutilizados.

Como resultados educacionais, os autores relatam potencial de engajamento estudantil e de desenvolvimento de competências em resolução de problemas e pensamento computacional por meio de experimentação prática, sem reivindicar métricas de desempenho industrial do robô,

dado o foco declarado em objetivos didático-pedagógicos. Nesse sentido, o escopo é essencialmente formativo e não aborda integração com sistemas de marcação esportiva nem requisitos de precisão para ambientes profissionais, o que limita comparações diretas com aplicações de campo em manutenção esportiva.

2.2 AUTOMATIC LINE MARKING ROBOT

O estudo de (C et al., 2024) propôs um robô autônomo para marcação de linhas em quadras esportivas, como vôlei, basquete, tênis e futebol, visando reduzir o esforço manual na manutenção de estádios. O sistema integra um microcontrolador PIC16F887, motores DC, um codificador rotativo para feedback posicional e um mecanismo de marcação que dispensa calcário ou tinta, adaptável a marcações temporárias ou permanentes.

Algoritmos de navegação, combinados com sensores, permitem ao robô detectar limites da quadra, evitar obstáculos e traçar linhas com precisão, completando a tarefa em menos de 30 minutos, contra 2-3 horas dos métodos manuais. Além disso, o sistema se mostrou eficiente na precisão das marcações e é capaz de seguir trajetos definidos com consistência.

Apesar dos resultados positivos, o projeto apresentado ainda depende de ajustes manuais na entrada de dados e não especifica soluções para operar em terrenos irregulares, como campos de futebol naturais. Outro ponto é que o sistema depende de sensores para navegação local, mas não adota estratégias como reconhecimento de marcações preexistentes.

2.3 FIELD ROBOTICS IN SPORTS: AUTOMATIC GENERATION OF GUIDANCE LINES FOR AUTOMATIC GRASS CUTTING, STRIPING AND PITCH MARKING OF FOOTBALL PLAYING FIELDS

O trabalho de (Hameed et al., 2011) propõe um método que usa GPS para gerar automaticamente as linhas-guia do campo, de modo que um veículo autônomo siga um roteiro pré-planejado para cortar a grama, fazer striping e marcar as linhas com alta precisão e repetibilidade. Em termos práticos, o campo é mapeado e o software transforma esse mapeamento em trajetos que o robô percorre ponto a ponto, garantindo que o desenho final respeite as dimensões e posições exigidas para um campo de futebol.

A principal vantagem é a padronização do traçado e a precisão obtida com navegação por GPS/RTK, o que favorece estádios e operações

profissionais que precisam repetir o mesmo padrão ao longo do tempo. Em contrapartida, a solução depende de infraestrutura de navegação e de um pré-mapeamento confiável, além de envolver custo e integração técnica mais elevados, o que pode dificultar a adoção em cenários de baixo orçamento.

Nos experimentos reportados em (Hameed et al., 2011), O planejamento automático gerou trajetos ponto a ponto executados pelo veículo com elevada precisão e repetibilidade, resultando em traçados alinhados às dimensões regulamentares e com baixa variabilidade entre passadas. A abordagem permitiu reaproveitar rotas em manutenções subsequentes, preservando a uniformidade do desenho do campo ao longo do tempo e reduzindo intervenções humanas durante a operação, o que se mostrou coerente com rotinas profissionais de manutenção.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

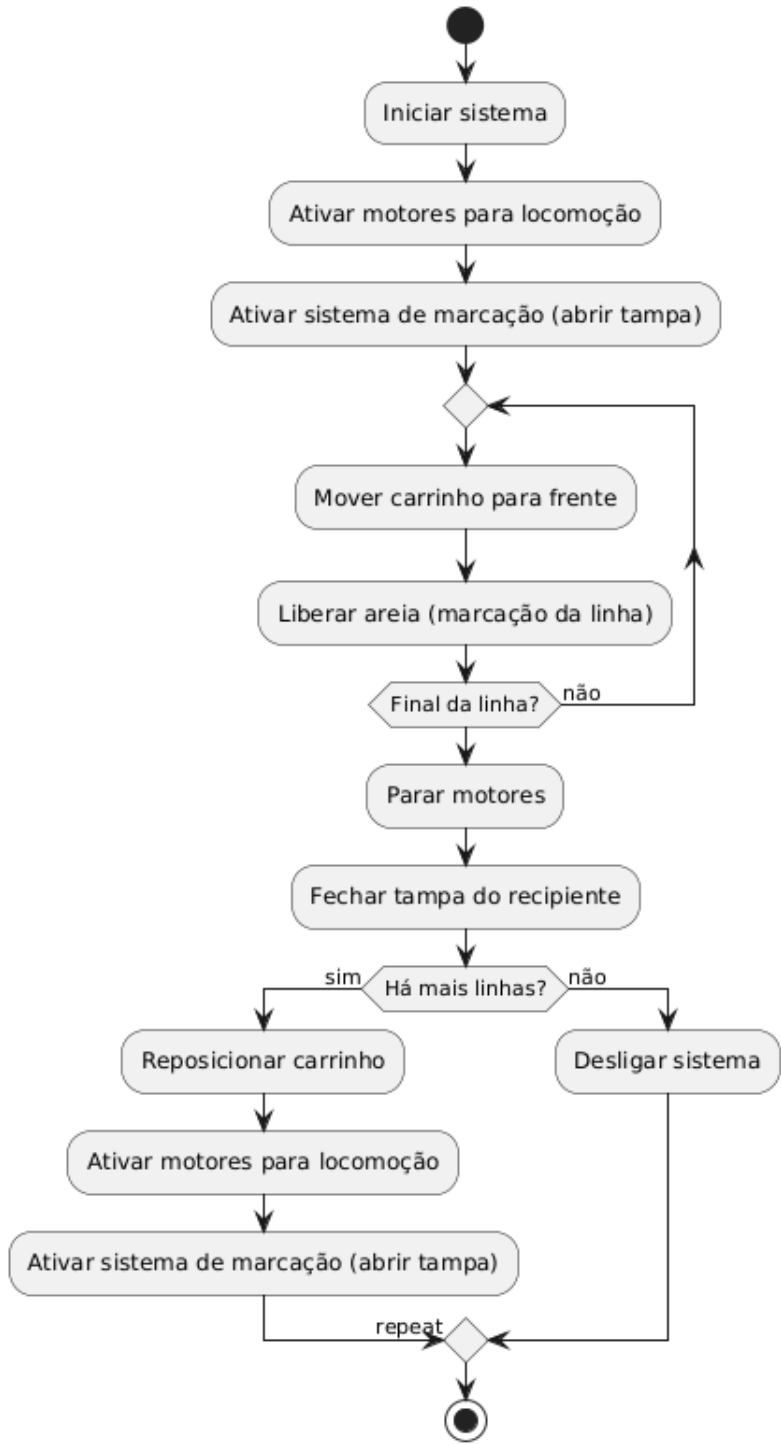
O presente trabalho busca demonstrar a viabilidade de um kit educacional para marcação de linhas em campos de futebol, através do desenvolvimento de um protótipo funcional que utiliza conceitos básicos de robótica e automação. Este kit é concebido especificamente para fins educacionais e de prototipagem, permitindo que alunos, professores e técnicos de clubes amadores compreendam e repliquem soluções de automação simples com componentes acessíveis. Dada a natureza acadêmica e as limitações de recursos para construção do projeto, o sistema foi projetado para validação conceitual em escala reduzida, operando em um ambiente controlado para demonstração das funcionalidades principais. Não se trata de um equipamento profissional de nível industrial, mas de uma solução educacional viável e reproduzível.

O protótipo consiste em um carrinho autônomo que executa trajetórias pré-programadas enquanto libera o material marcador nos pontos indicados. Para os testes, optou-se pela areia de quartzo devido à sua granulometria fina, que permite fluxo uniforme no sistema de liberação, ao contrário de areias mais grossas que obstruíam o mecanismo. Além disso, a areia de quartzo facilita a visualização dos resultados em ambiente interno e reduz riscos durante as apresentações acadêmicas.

A solução foi estruturada em três subsistemas principais que trabalham de forma integrada: controle e navegação, sistema de marcação e estrutura mecânica. Esta divisão permitiu um desenvolvimento mais organizado e facilitou a identificação de possíveis melhorias para versões futuras

do equipamento, conforme demonstrado no diagrama de funcionamento apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Diagrama de funcionamento

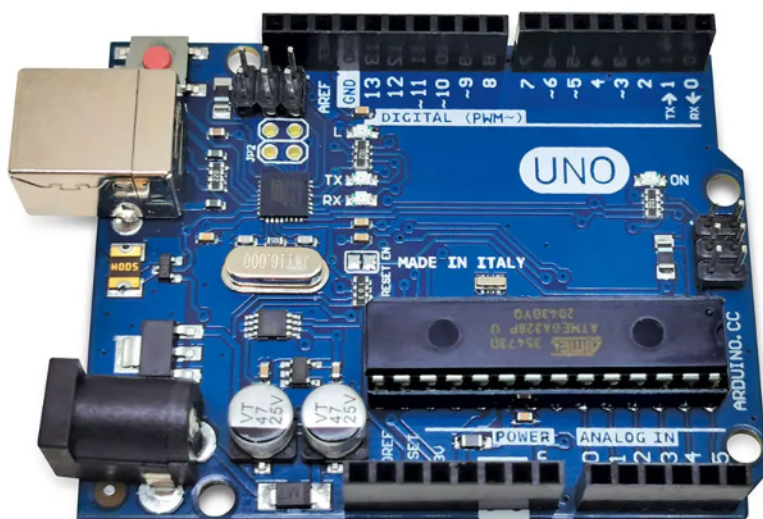


Fonte: Elaborado pelo autor

3.1 SISTEMA DE CONTROLE E NAVEGAÇÃO

O sistema de controle foi desenvolvido utilizando a plataforma Arduino Uno como núcleo central de processamento. Esta placa foi selecionada devido à sua facilidade de programação, ampla documentação disponível e custo acessível para desenvolvimento de protótipos acadêmicos. Arduino Uno possui um microcontrolador ATmega328P operando a 16 MHz, com 14 pinos digitais de entrada/saída e 6 entradas analógicas, oferecendo recursos suficientes para as necessidades do projeto, como pode ser observado na Figura 2.

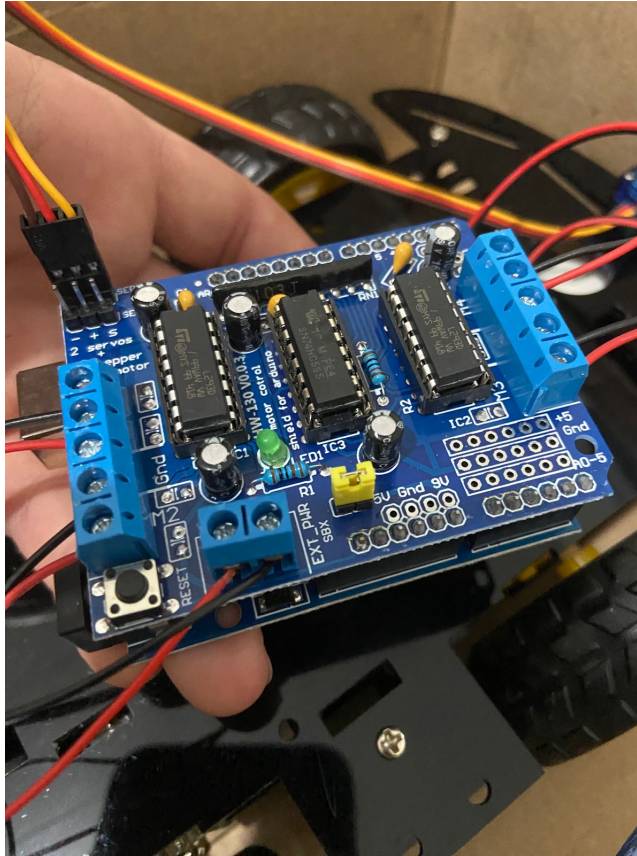
Figura 2 - Arduino Uno



Fonte: Componentes (n.d.)

A locomoção do carrinho é realizada por meio de quatro motores DC, cada um deles controlado de forma independente pelo Motor Shield L293D acoplado ao Arduino Uno. Essa configuração possibilita a atuação individual de cada motor, permitindo manobras precisas, curvas suaves e variações de velocidade entre eixos, o que é essencial para manobras complexas em ambientes de campo. O Shield facilita a interface entre o Arduino e os motores, reduzindo a quantidade de componentes adicionais e simplificando o diagnóstico de falhas durante a bancada de testes. Além disso, o uso combinado do Arduino Uno com o Shield assegura modularidade e expansibilidade futuras, possibilitando ajustes simples na lógica de controle sem a necessidade de reconfigurar toda a eletrônica. A Figura 3 ilustra o Motor Shield utilizado neste projeto, destacando a disposição dos conectores de alimentação e de controle para os quatro motores.

Figura 3 - Motor Shield L293D Driver Ponte H

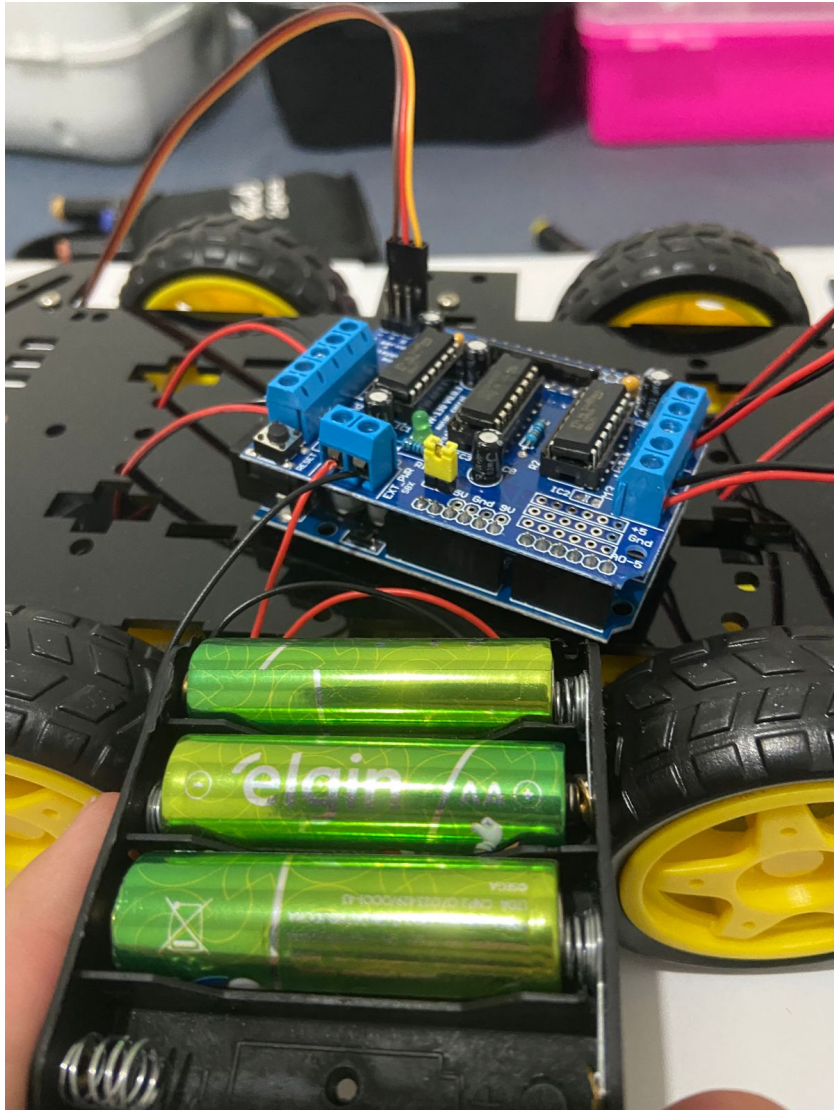


Fonte: Elaborado pelo Autor

Para o deslocamento do protótipo, foram criadas rotinas no Arduino que permitem movimentos lineares e paradas baseadas no tempo de acionamento dos motores e observação direta do trajeto percorrido. A definição dos pontos de parada e início da marcação foi realizada manualmente durante os testes práticos, com auxílio de régua ou trena para medições do percurso.

A alimentação do sistema é fornecida por um conjunto de pilhas conectadas ao Arduino através do conector de alimentação externa, garantindo autonomia necessária para as demonstrações sem dependência de fontes externas. Os componentes são interligados através de fios jumper macho-fêmea, facilitando as conexões e permitindo eventuais ajustes durante os testes. Na Figura 4 é possível visualizar o conjunto de baterias utilizado.

Figura 4 - Bateria



Fonte: Elaborado pelo autor

Durante os primeiros testes, verificou-se que a combinação Arduino Uno + Motor Shield L293D ofereceu estabilidade adequada para o controle dos quatro motores, mesmo tratando-se de um protótipo com componentes básicos.

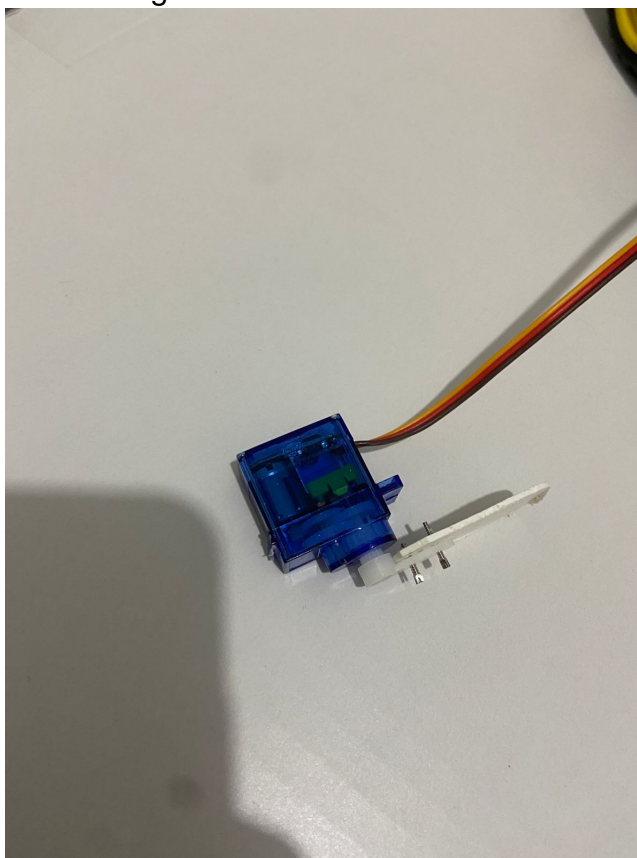
3.2 SISTEMA DE MARCAÇÃO

O módulo de marcação foi desenvolvido para garantir a liberação controlada do material demarcador durante a trajetória do carrinho. Aproveitando a escolha já descrita na introdução desta seção, o sistema foi concebido para atender às características do material, especialmente a fluidez da areia de quartzo.

O controle de abertura e fechamento do compartimento de areia

é realizado por um servo motor SG90, ilustrado na Figura 5, que atua diretamente sobre o mecanismo de vedação do recipiente. A interface entre Arduino e servo é feita por meio de sinais digitais, o que possibilita sincronizar o início e o término da marcação de acordo com o posicionamento do robô na rota programada.

Figura 5 - Servo motor SG90



Fonte: Elaborado pelo autor

O recipiente de armazenamento foi confeccionado de forma artesanal, utilizando materiais de fácil acesso e priorizando a simplicidade na montagem do protótipo. A liberação da areia ocorre exclusivamente pelo efeito da gravidade, sendo o fluxo controlado por uma tampa móvel acionada pelo servo motor SG90. Assim, o servo atua apenas abrindo ou fechando a passagem do material, dispensando mecanismos internos mais complexos. Essa solução apresentou-se eficiente para garantir o abastecimento e evitar desperdício, além de facilitar a recarga para múltiplas demonstrações.

Durante os testes, o sistema foi validado em ambiente de demonstração, apresentando desempenho consistente, sem obstruções, e

execução precisa da abertura nos pontos determinados. Imagens do compartimento e do acionamento do servo podem ser conferidas ao longo deste item para melhor compreensão do funcionamento do módulo.

3.3 ESTRUTURA FÍSICA E MONTAGEM

A estrutura física do protótipo foi baseada em um kit carrinho com rodas, amplamente utilizado em projetos de robótica educacional. Essa escolha se deu por fatores como facilidade de montagem, estabilidade, baixo custo e disponibilidade no mercado nacional, viabilizando iterações rápidas durante o desenvolvimento e eventuais substituições de componentes sem impacto significativo no cronograma. O chassi do carrinho serviu de suporte para todos os módulos eletrônicos, motores e o mecanismo de marcação, com distribuição planejada para reduzir interferências entre partes móveis e facilitar o acesso aos pontos de fixação e inspeção.

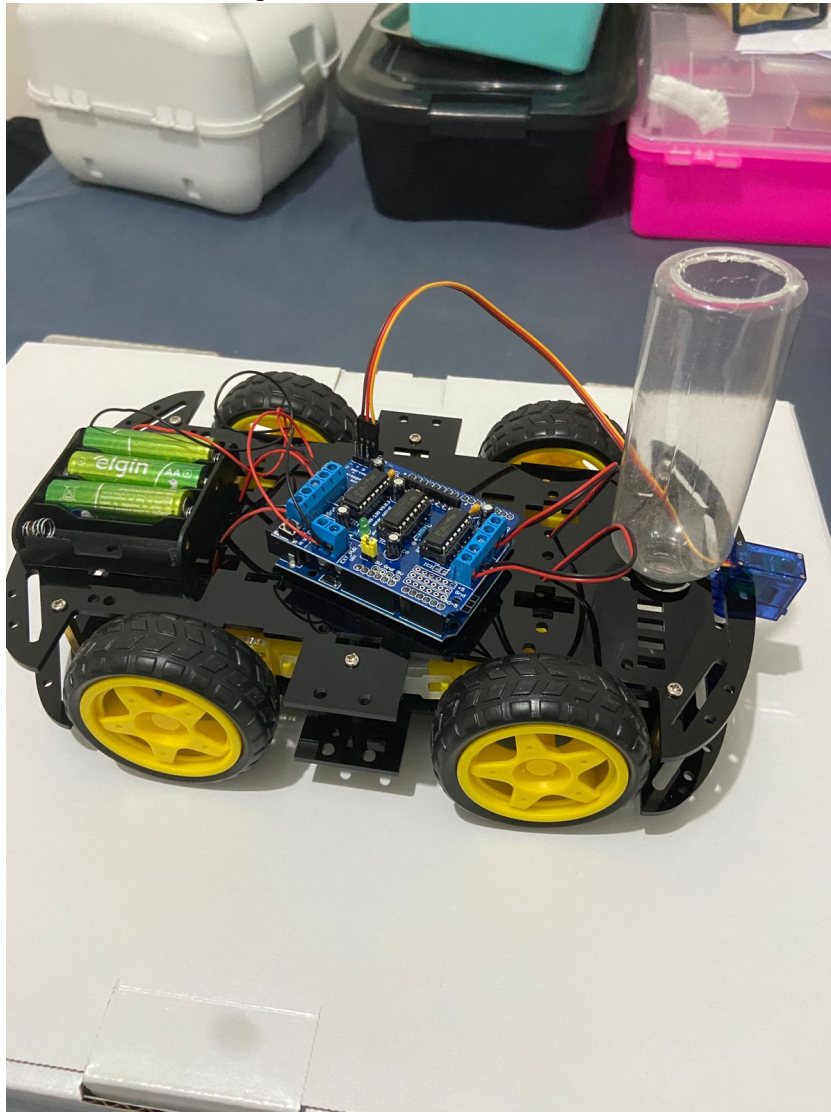
Os quatro motores DC foram facilmente acoplados à estrutura do kit, permitindo deslocamentos em linha reta e manobras básicas para a execução das tarefas de demonstração. Os demais módulos eletrônicos e o recipiente de areia foram fixados de acordo com a disposição dos espaços disponíveis no chassi, visto que seus pesos são baixos e não influenciam na estabilidade geral do protótipo durante os testes.

Para a montagem dos componentes eletrônicos, foram utilizadas fitas dupla-face, parafusos e suportes plásticos, priorizando sempre a estabilidade e a segurança no transporte do protótipo. Os fios jumper garantiram flexibilidade nas conexões, permitindo pequenos ajustes no layout do circuito sempre que necessário. O porta-pilhas foi acomodado em posição acessível, facilitando trocas e recargas durante as demonstrações.

O reservatório e o mecanismo de marcação receberam atenção específica para manter repetibilidade. A fixação firme ajudou a preservar o ponto de descarga do material, contribuindo para um traçado mais uniforme ao longo da rota. A saída da areia foi orientada de modo a reduzir sua deposição diretamente diante das rodas, o que diminui a chance de perda de aderência em trechos onde o material marcado permanece sobre o piso.

O resultado foi uma estrutura compacta, funcional e de fácil transporte, adequada tanto para experimentações acadêmicas quanto para demonstrações práticas dos conceitos de automação e robótica aplicados à marcação de linhas esportivas, como evidência a Figura 6.

Figura 6 - Carrinho montado



Fonte: Elaborado pelo autor

3.4 Portal de Configuração do Carro Autônomo

Com o objetivo de facilitar o uso por pessoas com pouca familiaridade em programação e agilizar a etapa de calibração, foi desenvolvido um front-end denominado “Portal de Configuração do Carro Autônomo”. A aplicação foi construída em React.js com TypeScript e estilização via Tailwind CSS, priorizando uma interface simples e responsiva, na qual o operador ajusta os parâmetros essenciais de navegação (tempos de avanço de cada lado do trajeto e *delay* aplicado às curvas) e visualiza, em tempo real, a pré-visualização do código que será executado no microcontrolador Figura 7.

Figura 7 - Portal de configuração



Fonte: Elaborado pelo autor

O portal foi pensado principalmente para quem não programa: em vez de editar o firmware, o usuário informa os valores diretamente na interface, confere a prévia do sketch e, com um clique, baixa o arquivo `.ino` já formatado para Arduino. Esse fluxo reduz erros de digitação, padroniza nomes e unidades e economiza tempo a cada ajuste fino, tornando a calibração mais acessível e reproduzível no dia a dia.

A implementação utiliza React.js com TypeScript e Tailwind CSS. O React garante uma interface reativa com componentes reutilizáveis, o TypeScript adiciona tipagem estática para evitar inconsistências e o Tailwind acelera o layout responsivo mantendo a consistência visual. Em conjunto, essas ferramentas resultam em uma UI leve, previsível e fácil de evoluir, inclusive para futuras funcionalidades como parametrização por distância quando encoders ópticos forem integrados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O protótipo foi submetido a uma série de testes práticos para avaliar a precisão da marcação, a confiabilidade do sistema de navegação e a estabilidade dos componentes eletrônicos durante o funcionamento. As principais etapas dos testes, objetivos, procedimentos e resultados estão

consolidados na Tabela 1

Tabela 1 - Plano de Testes para o Protótipo de Marcação Automatizada

Módulo	Objetivo	Resultado Esperado	Resultado Obtido
Navegação	Avaliar precisão do deslocamento	Erro ≤ 2 cm	Erro médio de 1,3 cm
Marcação	Verificar estabilidade do fluxo	Fluxo constante	Regular, sem falhas
Controle	Testar resposta do servo	Sincronização total	Resposta imediata
Estrutura	Avaliar resistência da montagem	Peças estáveis	Montagem íntegra
Autonomia	Medir duração da carga	10 min de uso	11 min obtidos

Fonte: Do autor.

Os testes executados demonstraram que o protótipo apresentou bom desempenho nos trechos retos do percurso, permitindo validar a escolha dos componentes, a implementação da navegação autônoma por temporização e a avaliação da precisão, da eficiência e da autonomia dentro do escopo definido. Por outro lado, o objetivo específico de desenvolver um protótipo funcional com sincronismo entre navegação e marcação foi alcançado apenas de forma parcial, uma vez que esse sincronismo se manteve consistente em trechos retos, mas não se estendeu plenamente às curvas. A precisão do deslocamento foi avaliada manualmente, utilizando régua e observação direta, já que não foi possível integrar o encoder óptico nesta versão, e a marcação das linhas ocorreu de forma regular, com liberação uniforme da areia de quartzo e ausência de obstruções no sistema de dispensação.

No entanto, durante as manobras de curva, especialmente nas tentativas de executar giros de 90 graus, o desempenho do sistema de navegação não saiu como o esperado. Foram observadas oscilações significativas, atribuídas principalmente à aderência insuficiente das rodas em relação ao solo. Isso dificultou tanto o início quanto a finalização dos movimentos circulares, fazendo com que o carrinho não completasse alguns giros no ângulo desejado, o que afetou a conectividade e precisão das linhas marcadas.

Apesar dessas limitações nas curvas, o sistema de controle man-

teve sincronia entre navegação e marcação, com acionamento eficiente do servo responsável pela liberação do material. O chassi apresentou boa estabilidade estrutural na maioria dos testes, embora pequenas oscilações tenham sido notadas em terrenos irregulares, evidenciando a necessidade de aprimoramentos futuros no sistema de rodas e motores.

A autonomia energética do protótipo mostrou-se suficiente para a realização dos testes e demonstrações propostas no escopo deste projeto. Apesar de não ter sido feita uma medição precisa do tempo total de operação em parte devido ao uso de pilhas descartáveis e ao fato de não haver recargas frequentes durante o período de desenvolvimento, verificou-se que a alimentação empregada permitiu o funcionamento contínuo do sistema pelo tempo necessário nos testes em escala reduzida.

No entanto, ressalta-se que, para uma aplicação em campo real e de maior escala, seria indispensável avaliar com maior rigor a autonomia energética, possivelmente com a adoção de baterias recarregáveis de maior capacidade.

Tabela 2 – Comparativo entre trabalhos relacionados

Critério	(Guimarães; Silva; Barbosa, 2020)	(C et al., 2024)	(Hameed et al., 2011)	Este trabalho
Navegação	Seguidor de linha/sensor óptico	Encoder e sensores de bordo	GPS-RTK autônomo	Temporização
Curvas	Boa em trajetos marcados	Alta precisão	Excelente (GPS)	Oscilações em curvas
Aplicação	Educacional	Esportivo, quadras/campos	Campos esportivos FIFA	Educacional esportivo
Custo	Baixo	Elevado	Muito alto	Baixo
Requisitos	Trajeto físico visível	Quadra regular, sensores	Infraestrutura avançada	Piso liso, baixo custo

Fonte: Do autor.

A análise dos trabalhos correlatos traz um panorama interessante sobre as diferentes estratégias adotadas para automação no contexto esportivo. Enquanto certas soluções priorizam a acessibilidade e o baixo custo, outras buscam máxima precisão e integração com sistemas avançados, revelando uma diversidade de enfoques técnicos e orçamentários.

Observa-se que iniciativas voltadas ao meio educacional, como

a de (Guimarães; Silva; Barbosa, 2020), apostam em projetos simplificados e acessíveis, contribuindo para a disseminação de conhecimento, ainda que apresentem maior restrição em ambientes que exigem padronização e eficiência profissional. Por sua vez, propostas como a de (C et al., 2024) empregam sensores de navegação e algoritmos embarcados para aumentar a precisão da marcação de linhas, embora o acréscimo em complexidade e custo desafie a implantação em estruturas esportivas de menor porte. Já alternativas tecnológicas de maior escala, a exemplo do estudo de (Hameed et al., 2011), investem em soluções com RTK-GPS, capazes de atender altos padrões de qualidade e precisão, mas que acabam restritas principalmente a grandes estádios ou instituições com melhor infraestrutura devido ao alto custo envolvido.

Nessa perspectiva, a tabela ?? demonstra o espaço existente entre as soluções robustas, porém de acesso limitado, e abordagens simplificadas de baixo custo, mesmo com algumas limitações operacionais. O projeto apresentado neste trabalho busca justamente posicionar-se nesse equilíbrio, ao integrar elementos de autonomia e baixo custo, demonstrando resultados positivos em cenário acadêmico e sinalizando potencial de aplicação para clubes e instituições que visam superar entraves financeiros sem perder qualidade no processo de automação.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como propósito o desenvolvimento e validação de um protótipo automatizado para marcação de linhas em campos de futebol, com foco em soluções acessíveis e viáveis para ambientes esportivos nacionais. O sistema desenvolvido alia conceitos de robótica móvel, automação básica e uso de componentes amplamente disponíveis, permitindo a criação de uma alternativa funcional e de baixo custo em relação às tecnologias existentes no mercado.

Os resultados obtidos ao longo dos testes práticos demonstraram que o protótipo é capaz de executar trajetórias pré-programadas de modo estável em trechos retos, sincronizando de maneira eficiente o deslocamento com a liberação do material marcador. No entanto, observou-se que durante a operação com areia, a aderência das rodas ao solo foi significativamente reduzida, causando derrapagens nas curvas e afetando a precisão do traçado nesses pontos.

Comparando-se com trabalhos correlatos, percebeu-se que o sistema desenvolvido preenche uma lacuna importante ao oferecer auto-

mação sem demandar infraestruturas avançadas ou recursos financeiros elevados. Enquanto soluções presentes na literatura, como (Hameed et al., 2011), (C et al., 2024) e (Guimarães; Silva; Barbosa, 2020), apresentam abordagens distintas, muitas vezes restritas a ambientes de alto padrão ou ao contexto educacional, este projeto contribui de forma direta para democratizar o acesso à tecnologia, sobretudo em quadras públicas e espaços acadêmicos.

Como trabalhos futuros, recomenda-se aprimorar o sistema de navegação com a integração de um encoder óptico, de modo a permitir o controle por distância percorrida e não apenas por temporização, aumentando a precisão em curvas e trajetos mais complexos e garantindo que o carrinho percorra sempre a mesma distância programada, com maior repetibilidade e confiabilidade no processo de marcação; além disso, sugere-se investigar melhorias na tração e na estrutura mecânica, com o uso de rodas de maior aderência e motores com torque mais elevado, para reduzir as oscilações observadas em curvas, especialmente na presença do material marcador, e, no que se refere à alimentação energética, propõe-se a adoção de baterias recarregáveis de maior capacidade, bem como o estudo de alternativas como pequenos painéis solares para apoio à recarga, visando maior autonomia operacional e menor impacto ambiental em cenários de uso prolongado, ao mesmo tempo, em que versões futuras do Portal de Configuração poderão incorporar parametrização por distância, armazenamento de perfis de trajeto e simulação visual da rota, consolidando o protótipo como uma plataforma educacional completa para o ensino de robótica móvel aplicada à marcação de linhas esportivas.

Conclui-se, portanto, que o protótipo desenvolvido se apresenta como uma demonstração conceitual em escala reduzida e como um kit educacional de automação esportiva, contribuindo não apenas para a otimização do tempo e da precisão no processo de marcação de linhas em ambiente controlado, mas também para a disseminação da robótica e da automação em contextos nos quais a acessibilidade, a facilidade de montagem e a possibilidade de replicação em ambientes acadêmicos e clubes amadores são aspectos prioritários, sem a pretensão de competir com equipamentos profissionais utilizados em campos oficiais.

REFERÊNCIAS

BOERI, P. A.; LINDSEY, A. J.; UNRUH, J. B. **Autonomous compared with conventional mower use on st. augustinegrass lawn quality.**

HortTechnology, 2023, American Society for Horticultural Science, v. 33, n. 4, p. 377–380.

C, K. et al. Automatic line marking robot. In: **2024 International Conference on Smart Systems for Electrical, Electronics, Communication and Computer Engineering (ICSSECC)**. [S.l.: s.n.], 2024. p. 501–505.

CHERNOFF, A.; WARMAN, C. **Covid-19 and implications for automation**. Applied Economics, 2023, v. 55. ISSN 14664283.

COMPONENTES, W. **Arduino Uno R3 com Cabo USB**. n.d. Acesso em: 08 dez 2025. Disponível em: <<https://www.wjcomponentes.com.br/arduino-uno-r3-com-cabo-usb>>.

GUIMARÃES, D. da S.; SILVA Élide Alves da; BARBOSA, F. da C. **Explorando a matemática e a física com o robô seguidor de linha na perspectiva da robótica livre**. Texto Livre: Linguagem e Tecnologia, 2020, v. 14.

HAMEED, I. A. et al. **Field robotics in sports: Automatic generation of guidance lines for automatic grass cutting, striping and pitch marking of football playing fields**. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2011, v. 8, n. 1, p. 10. Acesso em: 15 out. 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.5772/10534>>.

LUGLIO, S. M. et al. **Analysis of football pitch performances based on different cutting systems: From visual evaluation to yolov8**. Agronomy, 2024, v. 14, n. 11. ISSN 2073-4395. Acesso em: 15 out. 2025. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4395/14/11/2645>>.

MEDYŃSKI, D. et al. **Digital standardization of lean manufacturing tools according to industry 4.0 concept**. Applied Sciences, 2023, v. 13, n. 10. ISSN 2076-3417. Acesso em: 15 out. 2025. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/13/10/6259>>.

Prof. Abhale B. A; RAGHUNATH, G. S.; SHANKARLAL, P. Y. **Lora field-rover: Enhancing farming efficiency with autonomous robotics**. International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology, 2024, Naksh Solutions, p. 441–447.

QUINTINO, L. F. et al. Automação robótica em indústrias—evolução tecnológica e competitividade. In: **XXII Congresso nacional de estudantes de engenharia mecânica**. [S.l.: s.n.], 2015.

RAZIF, M. R. M. et al. **Automated conveyor system for football quality checking**. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2019, v. 16. ISSN 25024760.

SIEGEL, J.; MORRIS, D. Robotics, automation, and the future of sports. In: **21st Century Sports: How Technologies Will Change Sports in the Digital Age**. [S.l.]: Springer, 2020. p. 53–72.