

PROJETO DE ROBÔ CORTADOR DE GRAMA AUTÔNOMO PARA USO RESIDENCIAL¹

*Eliseu Ferreira da Silva²
Victor Hugo de Oliveira Pinto³
Armando Carlos de Pina Filho⁴*

Resumo: O avanço da tecnologia é cada vez mais perceptível no cotidiano humano. Historicamente, é possível verificar que a automação de tarefas na indústria permitiu a substituição de uma força de trabalho humana pela máquina, que pode trabalhar por várias horas, demandando apenas sua manutenção periódica e aumentando significativamente o ritmo, a padronização e a qualidade da produção. Essa premissa da substituição do trabalho começa a se inserir no cotidiano do homem moderno a seu favor e serviço. A utilização de máquinas para realização de tarefas simples e periódicas permite ao usuário se dedicar a outras necessidades, de maior interesse ou mais urgentes, sem desistir e tendo o trabalho concluído. Nesse sentido, e mesmo sendo dispensável, um robô para cortar a grama pode significar maior conforto e otimização das tarefas diárias de uma pessoa comum. Este trabalho apresenta o projeto de um robô cortador de grama autônomo, através de estudos de seus principais sistemas e componentes, utilizando-se um programa de CAD para modelagem de sua estrutura.

Palavras-chave: automação urbana, cortador de grama, projeto mecatrônico.

Abstract: The advance of technology is increasingly perceptible in human daily life. Historically, it is possible to verify that task automation in the industry has enabled the replacement of a human workforce by the machine, which can work for hours, requiring only periodic maintenance and significantly increasing the pace, the standardization and the quality of the work production. This premise of the substitution of work begins to enter into the daily life of modern man in his favor and service. The use of machines for simple and periodic tasks allows the user to dedicate himself to other needs, of greater interest or more urgent, without giving up and having the work completed. In this sense and even being unnecessary, a robot to mow the grass can mean greater comfort and optimization of the daily tasks of an ordinary person. This work presents the design of an autonomous lawnmower robot through studies of its main systems and components, using a CAD software to model its structure.

Keywords: urban automation, lawnmower, mechatronics design.

¹ Artigo expandido a partir daquele apresentado no Graphica 2019: SILVA *et al.* (2019).

² Universidade Federal do Rio de Janeiro - DEM/POLI/UFRJ, eliseufer@poli.ufrj.br.

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro - DEM/POLI/UFRJ, victorhugo.op@poli.ufrj.br.

⁴ Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEU/POLI/UFRJ, armando@poli.ufrj.br.

1 Introdução

A área de automação residencial tem crescido consideravelmente nos últimos anos. A utilização de robôs em tarefas domésticas cotidianas apresenta inúmeras vantagens. Um robô bem projetado pode realizar o mesmo processo que um ser humano, de maneira mais eficiente, rápida e segura. Desta forma é possível isentar-se de trabalhos manuais, mecânicos e repetitivos, poupando tempo, esforço e, em última análise, aumentando a qualidade de vida do usuário.

Este trabalho busca socializar o projeto de robô cortador de grama autônomo, a partir do estudo e da análise de seus sistemas de locomoção, corte e sensores. O estudo prioriza a eficiência e o desenvolvimento de tecnologia nacional, de forma a otimizar os custos de produção de um robô real, considerando-se que a maioria dos exemplares existentes no mercado é importada, apresentando valores incompatíveis com a realidade média brasileira e, conseqüentemente, voltado para um público restrito. A Figura 1 apresenta alguns exemplos de robôs cortadores de grama atualmente comercializados.

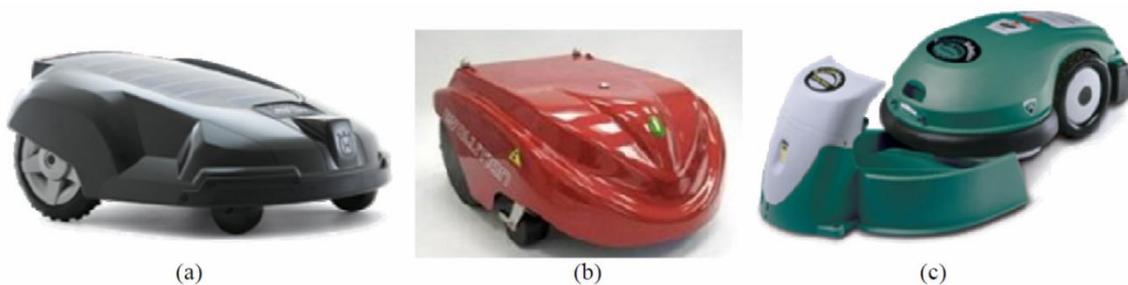


Figura 1 - Robôs cortadores de grama: (a) AutoMower⁵; (b) LawnBott⁶; e (c) Robomow⁷

Basicamente, o sistema de locomoção do robô projetado neste trabalho conta com quatro rodas, para melhor estabilidade e contato com o solo. O sistema de corte utiliza lâminas de aço e um mecanismo de regulagem da altura de corte. Sensores de cor, de proximidade, acelerômetro e giroscópio auxiliam o funcionamento do robô, para realização da tarefa de corte, por meio de uma trajetória em ziguezague quadrado. Todos os componentes do robô são montados em uma estrutura personalizada, com dimensões aproximadas de 40x30x15cm, pesando cerca de 5kg. Maiores detalhes serão apresentados nas seções subsequentes, ao longo do trabalho.

⁵ HUSQVARNA. Disponível em: <http://www.husqvarna.com>. Acesso em: maio de 2018.

⁶ ZUCCHETTI. Disponível em: <http://www.lawnbott.com>. Acesso em: maio de 2018.

⁷ FRIENDLY ROBOTICS. Disponível em: <http://www.robomow.com>. Acesso em: maio de 2018.

2 Sistema de locomoção

Existem diversas maneiras de um robô se movimentar em ambiente terrestre. De acordo com Pieri (2002), as maneiras mais comuns de se realizar esta tarefa são por meio de pernas, esteiras ou rodas. Robôs com pernas, embora tenham a vantagem de poder se locomover em qualquer terreno sem muita dificuldade, são ainda demasiadamente caros, além de propiciarem um funcionamento mais lento, portanto não serão considerados neste trabalho. Robôs com esteiras são mais aconselháveis para terrenos irregulares, contudo possuem um grande problema relacionado ao gasto de energia, que acaba sendo dissipada pelo movimento de giro da própria esteira, pelas rodas em seu interior, sendo que esta energia poderia ser aproveitada, por exemplo, para operação de corte. Logo, a opção mais adequada ao robô cortador de grama seriam as rodas.

De construção relativamente simples e aliada à facilidade de obtenção no mercado, o uso de rodas reduziria o custo do robô. Além disso, o fato de rodas trabalharem bem em terrenos regulares (como os gramados) torna esta opção mais vantajosa. Logicamente, é necessário, para que ocorra o movimento, que além das rodas existam outras estruturas que possibilitem a determinação o estado dinâmico do robô. Deve existir algo que permita à roda e às outras partes móveis saírem de seu estado inercial e manterem-se trabalhando. Estas estruturas são os atuadores.

De acordo com Nehmzow (2003), os atuadores podem ser do tipo hidráulico, pneumático ou elétrico. Atuadores hidráulicos utilizam fluidos viscosos, como óleo e água, fornecendo movimentos rotacionais ou lineares de grande força e altas velocidades, porém com baixa precisão do controle dos movimentos. Atuadores pneumáticos funcionam de maneira similar aos atuadores hidráulicos, mas ao invés de fluidos viscosos, utiliza-se o ar, ainda mais difícil para implementação do controle. Além das dificuldades no sistema de controle, atuadores hidráulicos e pneumáticos necessitam da instalação de uma série de equipamentos, tais como bombas (ou compressores), cilindros, válvulas entre outros, demandando grande espaço, sendo, por este motivo, mais recomendados para robôs de grande porte, o que não é o caso do cortador de grama.

Apesar dos atuadores elétricos, em geral, não atingirem de maneira muito eficiente pressões e velocidades elevadas, eles são os mais confiáveis nos quesitos controle e precisão, quando comparados aos hidráulicos e pneumáticos, além de apresentarem vantagens em custo e manutenção. Somado a isso, os atuadores elétricos possuem variados tamanhos e capacidades, e não necessitam de todo o

aparato necessário aos demais atuadores citados. Considerando tais características, este tipo de atuador foi o escolhido para compor o robô cortador de grama.

Maiores detalhes sobre os tipos e disposição das rodas, além da escolha dos atuadores (motores elétricos) e a definição de trajetória do robô, são apresentados a seguir.

2.1 Tipos e disposição das rodas

Pensando em eficiência e economia, a configuração escolhida foi de duas rodas tracionadas na parte traseira e dois rodízios na parte dianteira (Figura 2). Essa disposição demanda apenas dois motores ligados diretamente nas rodas. Se houvesse mais motores, como no caso de uma configuração 4x4, ter-se-ia um acréscimo de peso, custo e consumo mais elevado da bateria. Os rodízios devem acompanhar o movimento das rodas traseiras, o que justifica a escolha da posição na parte frontal do robô, configurando uma melhor distribuição do peso.

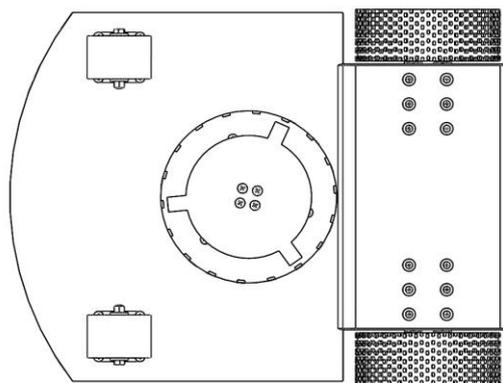


Figura 2 - Disposição das rodas (vista inferior do robô)
Fonte: Elaborado pelos autores

A escolha adequada do tipo de roda influencia diretamente na eficácia de locomoção do robô. A escolha inadequada pode resultar em esforços desnecessários e potencial diminuição da autonomia da bateria. Neste projeto, optou-se pela utilização de rodas do tipo *off-road* (Figura 3a) para as traseiras, que serão tracionadas, por apresentarem uma estrutura com “sulcos”, o que permite melhor desempenho em solos mais fofos, como a grama, onde rodas lisas tenderiam a deslizar. Este tipo de roda penetra o solo e o deforma, aumentando o contato e melhorando a tração. Na parte dianteira optou-se por rodízios (Figura 3b), de forma a permitir a entrada da grama na parte inferior do robô, onde será realizado o corte, auxiliando ainda em sua estabilidade (LUNA e PINA FILHO, 2012).



(a) roda tipo *off-road*

(b) rodízio

Figura 3 - Tipos de rodas
Fonte: Elaborado pelos autores

2.2 Escolha dos motores

Uma vez definido o melhor tipo de roda, é necessário dimensionar o motor que será utilizado para a locomoção. Com o auxílio do Quadro 1, que discrimina a massa estimada dos componentes do robô, tem-se um valor aproximado para a massa total que será utilizada como base de cálculo, igual a 4,86kg.

Quadro 1 - Pesos estimados dos componentes

Componentes	Massa(g)
Rodas	900
Motores	710
Chassis e carcaça	2760
Bateria	370
Sensores e demais componentes eletrônicos	120

Fonte: Elaborado pelos autores

Observando a Figura 4, é possível visualizar com maior clareza as forças que atuam sobre a roda. Vale salientar que, para efeito de cálculo, será considerado que o robô tem sua massa igualmente distribuída em toda sua extensão, portanto, dada a simetria, cada roda estará carregada com o equivalente a 1/4 do peso total do robô, o que é uma hipótese aceitável, já que um bom balanço de massas contribui para um bom equilíbrio e deve ser um dos objetivos durante sua concepção. Como o somatório de forças no eixo y é igual a zero, tem-se que $P = N$. Isso ocorre pois $P = mg$ e $f_{at} = N\mu$, onde μ é o coeficiente de atrito médio entre a grama e o pneu, que com base em outros estudos sobre o assunto, tem valor aproximado de 0,8 (CENEK *et al.*, 2005). Através dessas relações, chega-se ao valor da força de atrito entre o solo e a

roda. Com $\tau = f_{at} \frac{\phi_{roda}}{2}$, calcula-se o torque necessário do motor de locomoção como sendo $\tau = 13,8\text{kgf.cm}$.

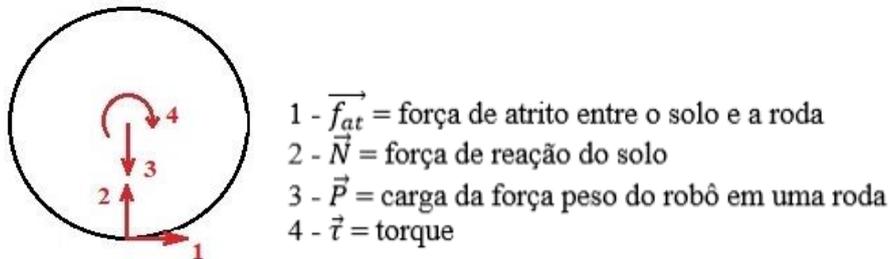


Figura 4 - Diagrama de corpo livre simplificado de uma roda
 Fonte: Elaborado pelos autores

O motor escolhido foi o Pololu 37Dx57Lmm, que apresenta 18kgf.cm e 80rpm⁸. Essa rotação permite que o robô tenha uma velocidade de aproximadamente 48cm/s, mesma faixa dos encontrados no mercado. O motor é acoplado à roda através de um hub e ao chassi através de um suporte (Figura 5).

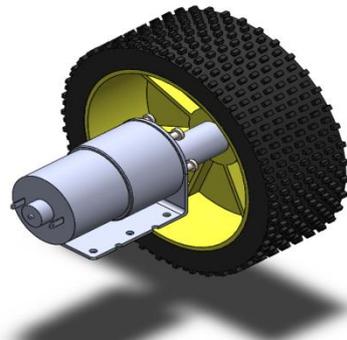


Figura 5 - Montagem do motor acoplado à roda
 Fonte: Elaborado pelos autores

2.3 Trajetória do robô

Existem diversas rotinas de trabalho em relação à trajetória realizada pelo robô: como em ziguezague, espiralar e aleatória, conforme apresentado na Figura 6. Contudo, segundo Proença e Pina Filho (2012), aquela que se mostra mais eficiente é a trajetória em ziguezague quadrado (Figura 6b), que se assemelha ao formato de uma

⁸ POLOLU Corporation. Disponível em: <https://www.pololu.com>. Acesso em: maio de 2018.

onda quadrada. Do ponto de vista matemático, é a que resulta na menor distância percorrida para cobrir uma determinada área e, do ponto de vista biológico, é a mais benéfica, pois ao percorrer cada coluna em trajetória quadrada, o robô cortará o gramado em sentidos opostos, o que reduz a compactação do solo, aumentando sua oxigenação e melhorando a qualidade do gramado.



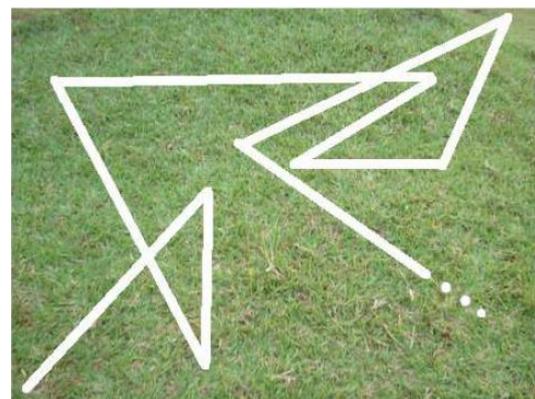
(a) ziguezague triangular



(b) ziguezague quadrado



(c) espiralar



(d) aleatória

Figura 6 - Trajetórias realizadas pelo robô

Fonte: Adaptado pelos autores a partir de Proença e Pina Filho (2012)

3 Sistema de corte

Dos diversos sistemas de corte, dois deles tem se consolidado como os mais populares nos últimos anos. Em primeiro plano, tem-se o sistema de corte tradicional. Nele, o corte ocorre através do cisalhamento por meio de um conjunto de lâminas giratórias. É o mais conhecido sistema de corte, usado em cortadores elétricos, à gasolina e manuais. Ele garante uma boa regulação com relação à altura da grama e possui uma fácil manutenção.

Por outro lado, tem-se uma alternativa mais atual e que tem sido bastante utilizada: o sistema de roçadeiras. Neste sistema, o motor da roçadeira produz a

rotação de um eixo ao qual está acoplada uma lâmina (em geral de três pontas, como um ventilador) ou um conjunto de fios de nylon. A lâmina ou os fios realizam o corte da grama a partir de determinada velocidade de rotação. Deve-se tomar um cuidado especial em relação ao isolamento do aparato de corte, utilizando-se telas ou grades, pois existe certa facilidade no arremesso de pedras a longas distâncias, podendo causar acidentes.

Considerando esses aspectos, nas seções subsequentes são apresentados detalhes sobre os tipos de grama e altura de corte, a definição do aparato de corte, bem como a estrutura e funcionamento do sistema de corte projetado para o robô.

3.1 Tipos de grama e altura de corte

Existem diferentes espécies de grama, com características diversas de forma, sendo algumas melhores que outras para determinada aplicação (GURGEL, 2003). Dado o foco desse estudo, serão consideradas apenas espécies cujo emprego seja residencial.

No Quadro 2, são apresentados os quatro principais tipos de grama de interesse, e pode-se inferir que para que o robô possa atender às necessidades do maior número de usuários possível, ele deve ser capaz de cortar grama entre 2,0 e 5,0cm de altura.

Quadro 2 - Principais espécies de grama e altura relacionada

Tipo de Grama	Nome Científico	Altura de Corte (cm)
Esmeralda	Zoysia japônica	2,5 – 5,0
São Carlos	Axonopus compressus	3,0 – 4,0
Santo Agostinho	Stenotaphrum secundatum	2,5 – 6,0
Coreana	Zoysia Tenuifolia	2,0 – 4,0

Fonte: Adaptado pelos autores a partir de Gurgel (2003)

3.2 Aparato de corte

Lâminas e fios de nylon são os elementos mais utilizados no corte da grama. Lâminas demandam uma rotação menos elevada do motor por possuírem fio, forma e resistência adequadas para realização da tarefa. Normalmente são feitas de aço carbono e apresentam boa durabilidade, sendo largamente utilizadas no corte de médias e grandes áreas de gramado.

Fios de nylon são resistentes à tração e não à flexão. Portanto, para que o golpe na grama resulte em seu corte, é necessária uma rotação muito mais elevada do motor. Além disso, possuem menor durabilidade por se desgastarem mais facilmente

que o aço. Por outro lado, sua flexibilidade permite o corte próximo a pedras, raízes de árvore, muros, calçadas e afins, sem muita preocupação com sua ruptura. Logo, são utilizados para pequenas áreas e acabamento.

Como o robô deve cobrir a maior área possível, respeitando a autonomia de sua bateria, e é capaz de desviar de obstáculos, não tendo contato com situações críticas que resultariam na ruptura, empeno ou desgaste e perda prematuros de seu fio, o elemento mais adequado é uma lâmina.

Com o elemento de corte definido, pode-se então definir o motor. Cortadores de grama convencionais operam na faixa de 2000 a 4000 rotações por minuto. O motor escolhido para o corte foi o Pololu 25Dx48Lmm, que fornece 2250rpm⁹.

3.3 Estrutura e funcionamento do sistema

A estrutura do sistema é composta de nove partes: um motor de passo, um motor de corte e seu suporte, dois acopladores, uma barra rosqueada, um mancal, um disco e lâminas rotativas. A Figura 7 representa o mecanismo proposto para regulagem de altura e corte da grama.

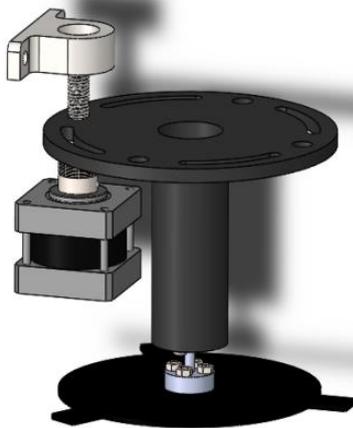


Figura 7 - Mecanismo de regulagem da altura e corte da grama
Fonte: Elaborado pelos autores

O motor de passo transmite sua rotação para a barra rosqueada através do acoplador, estando apoiado pelo mancal, para garantir a fixação do eixo. A barra rosqueada está associada ao suporte do motor de corte, de forma a transformar sua rotação em torno do eixo vertical em variação da posição do suporte, no mesmo eixo, e, conseqüentemente, da altura de corte. Essa variação está atrelada ao valor do

⁹ POLOLU Corporation. Disponível em: <https://www.pololu.com>. Acesso em: maio de 2018.

passo da barra rosqueada, como descrito pela relação $D = -p \frac{\theta}{2\pi}$, onde D representa a variação da posição, p representa o passo da barra rosqueada, e θ representa o ângulo que o motor de passo rotacionou. O sinal negativo da equação se deve ao fato de que quando a barra roda no sentido positivo de seu eixo, o suporte vai para baixo, logo tem-se uma variação negativa de sua altura e vice-versa. Por fim, as lâminas estão aparafusadas no disco, que, por sua vez, está associado ao motor de corte através do acoplador, permitindo a transmissão do seu movimento.

O motor de passo escolhido foi o modelo NEMA 17, por apresentar torque suficiente para a movimentação e fixação da estrutura, precisão do posicionamento e, ao mesmo tempo, apresentar uma estrutura compacta e compatível com as dimensões do robô. O controle será feito através de um driver que, no caso deste motor, para desempenho “ótimo”, deve ser o driver DM322E¹⁰.

4 Sensores

A interação com o ambiente é um aspecto importante do funcionamento de um robô cortador de grama. Ele deve ser capaz de reconhecer obstáculos e limites de um ambiente para que possa realizar seu trabalho de forma adequada, desviando e tomando outros caminhos quando necessário. Este é um meio de evitar danos ao patrimônio e até mesmo à integridade física dos habitantes de uma casa. Além disso, o robô deve de ser capaz de determinar sua posição no gramado. Para possibilitar a realização destas tarefas será utilizado um dos recursos bastante comuns na área de robótica: o sensoreamento.

Segundo Siegwart e Nourbakhsh (2004), sensores são dispositivos projetados com a finalidade de obter informações sobre o robô e o ambiente com que interage, podendo ser externos ou internos, ativos ou passivos. Na medição de variáveis internas do robô, tais como níveis de energia, posição, velocidade e aceleração das lâminas e rodas, têm-se os sensores internos. Já os sensores externos possibilitam a medição e interpretação de variáveis do ambiente externo, tais como sinais sonoros e luminosos. Sensores externos e internos ainda permitem uma subdivisão em ativos e passivos. Sensores ativos são aqueles que emitem energia e medem a reação do ambiente a esses sinais, enquanto os sensores passivos utilizam a energia do próprio meio para a medição das variáveis ambientais.

¹⁰ ROBOCORE Tecnologia Ltda. Disponível em: <https://www.robocore.net>. Acesso em: maio de 2018.

Neste trabalho, foram utilizados alguns tipos de sensores, tais como: sensor de cor, para reconhecimento do gramado; sensores de proximidade, para detecção de obstáculos e de altura do robô em relação ao solo; um acelerômetro, para controle de aceleração do robô; e um giroscópio, para controle de posicionado do robô no ambiente.

4.1 Sensor de cor

Este sensor será utilizado para informar ao robô se ele está sobre a grama ou não, pois é possível que ele, ao seguir em linha reta, encontre uma passagem, uma garagem ou algo parecido que esteja no mesmo nível do gramado. Nesta situação, ele deve corrigir sua rota de forma a não invadir o outro espaço e continuar realizando seu trabalho.

O sensor de cor trabalha com um LED RGB (*Red, Green, Blue*) que emite as cores vermelha, verde e azul, uma a uma, e um fotosensor avalia o retorno (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2011). O sinal enviado pelo sensor da detecção ou não da cor verde deve ter como resultado a manutenção do movimento ou a alteração de sua rota.

4.2 Sensor de proximidade

Neste projeto, optou-se pela utilização de dois desses sensores. Seu princípio de operação consiste na emissão de um sinal sonoro inaudível e na percepção do tempo que leva para o sinal retornar ao sensor. Com o valor da velocidade do som no ar, a partir da equação de movimento $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ (LUZ e ÁLVARES, 2006), obtém-se o valor de duas vezes a distância real (tempo de ida e de volta), logo a distância real é o valor de Δs da fórmula dividido por 2.

O primeiro sensor será utilizado para a detecção de obstáculos na frente do robô, a fim de evitar uma colisão e manter sua integridade. Ao atingir um limite de distância crítico, mas ainda seguro, o sinal enviado deve resultar na execução da rotina de desvio do robô seguida do prosseguimento normal de sua atividade.

O segundo sensor será utilizado por uma questão de segurança na detecção de altura do robô em relação ao solo. Caso haja uma alteração nessa altura relativa, o sinal enviado deve resultar na parada do motor de corte. Essa medida pode evitar acidentes em situações como: uma pessoa que suspenda o robô em funcionamento poderia se cortar, ou um cachorro pode tombá-lo, expor a lâmina e inocentemente se machucar.

4.3 Acelerômetro e giroscópio

O acelerômetro tem como função informar ao robô as acelerações sofridas nas três direções dos eixos coordenados. Integrando a aceleração no tempo, pode-se obter uma equação para a velocidade e, ao integrá-la, chega-se a uma equação para a posição. Com as equações de movimento, valores iniciais para $S_o = 0$ e $V_o = 0$, e os valores medidos das acelerações, podem-se realizar sucessivas iterações nas equações de movimento no decorrer do tempo, de forma a obter a posição do robô a cada instante (PIERI, 2002).

O giroscópio informa como o robô está posicionado no espaço, ou seja, suas inclinações lateral e frontal e a direção em que se está se movimentando. Com a associação destes dois sensores, têm-se todas as informações necessárias para que o robô seja capaz de determinar sua posição e seu deslocamento.

4.4 Lógica de funcionamento

Primeiramente, o robô, através do sensor de proximidade, deve identificar se está no chão ou não. Caso não esteja, deve interromper o corte e seu deslocamento por motivos de segurança e economia de sua bateria; caso esteja, deve identificar se há algum obstáculo a sua frente e se está sobre a grama.

Através da leitura do outro sensor de proximidade, caso não haja nenhum obstáculo, deve prosseguir com sua rotina de deslocamento normal; caso haja, ele deve iniciar sua rotina de desvio e continuar a leitura até que não haja obstáculo e ele possa prosseguir normalmente.

Através da leitura do sensor de cor, o robô deve identificar se está sobre a grama ou não. Caso esteja, o motor de corte deve estar ligado e, caso não esteja, desligado. Após estas leituras, o robô deve se perguntar novamente se está no chão e realizar novas leituras de forma a estabelecer um ciclo e sempre ter a informação certa para saber o procedimento a adotar. Essa lógica de funcionamento é apresentada na Figura 8.

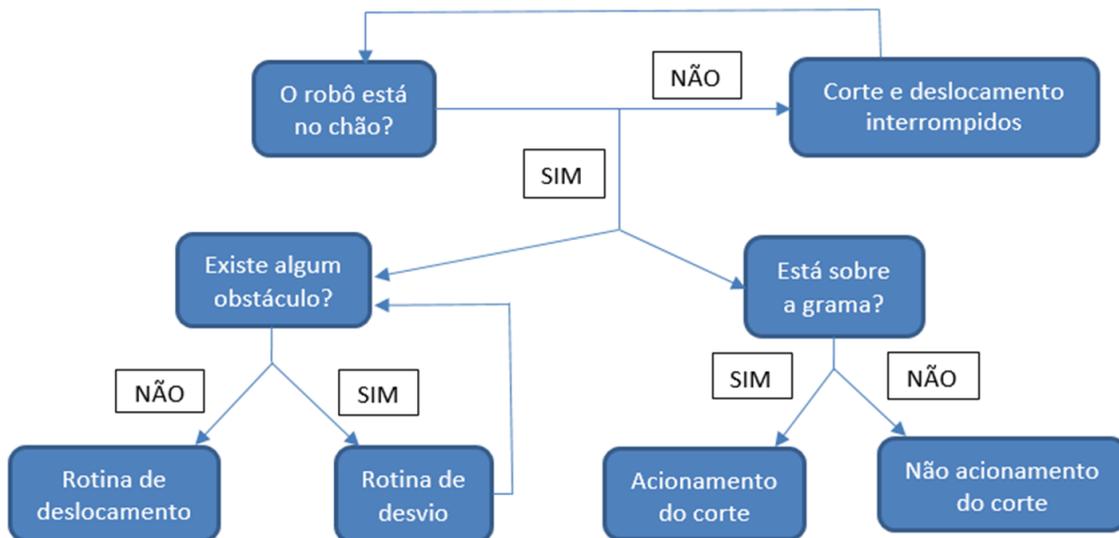


Figura 8 - Lógica de funcionamento do robô
Fonte: Elaborado pelos autores

5 Modelagem final e custo de fabricação

Para possibilitar a futura construção de um protótipo do robô cortador de grama, foi realizada a modelagem computacional do robô, para avaliar a estrutura do mesmo. Para tanto, fez-se uso de um software de CAD (do inglês *computer-aided design* ou desenho assistido por computador). Esse tipo de software, já bem conhecido e introduzido no mercado na década de 1980, melhorou a produtividade e a qualidade dos desenhos mecânicos, permitindo ainda uma melhor comunicação entre os setores de projeto e de produção. Paralelamente ao desenvolvimento da computação, programas de CAD facilitaram o surgimento de estruturas e de montagens mecânicas cada vez mais complexas, normalmente presentes na robótica.

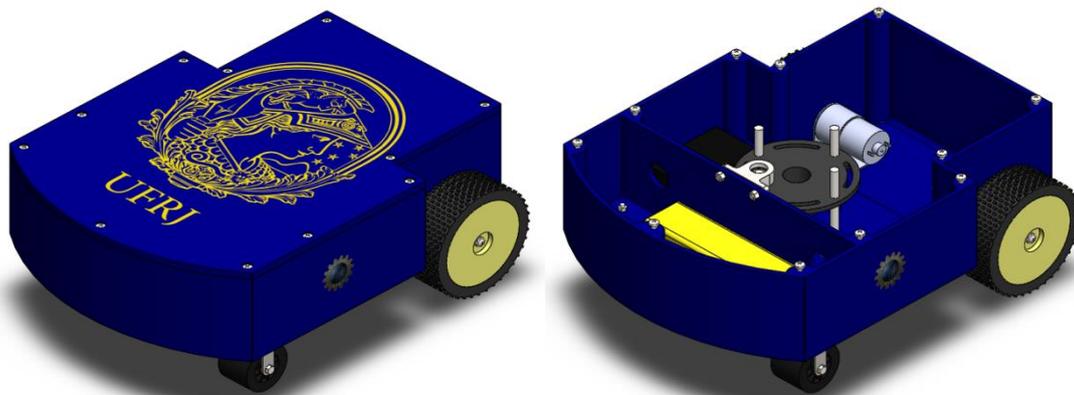
A partir da modelagem computacional da estrutura do robô, bem como da definição dos diversos componentes ao longo do trabalho, apresenta-se, nesta seção, o cálculo do custo aproximado para fabricação do robô. Vale ressaltar que ainda é cedo, no entanto, para que sejam estabelecidos valores quantitativos de custo de produção em série e preço de venda final do produto. Para isso, seria necessário um estudo mais aprofundado de diversos aspectos não apresentados neste trabalho.

5.1 Estrutura do robô

Para finalizar a estrutura do robô, foi realizada a modelagem do chassi, último componente necessário para dar forma e servir de suporte para todos os sistemas do

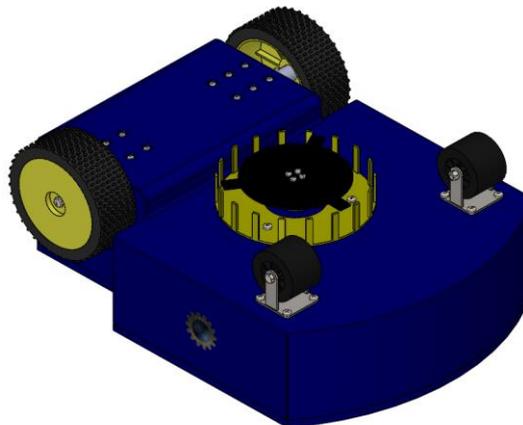
robô, chegando-se ao seu formato final. A modelagem de todos os sistemas e seus componentes foi realizada através de um programa de CAD.

Na Figura 9, são representadas vistas em perspectiva da modelagem final do robô. A Figura 10 mostra as vistas principais do robô, enquanto a Figura 11 apresenta o robô em corte, para melhor visualização dos componentes internos. Em amarelo, é representada a bateria e em preto, ao lado do mecanismo de regulagem da altura de corte, o drive do motor de passo. Esses elementos são comerciais e não foram modelados em detalhes. Foi adicionada, também, uma proteção para o sistema de lâminas.



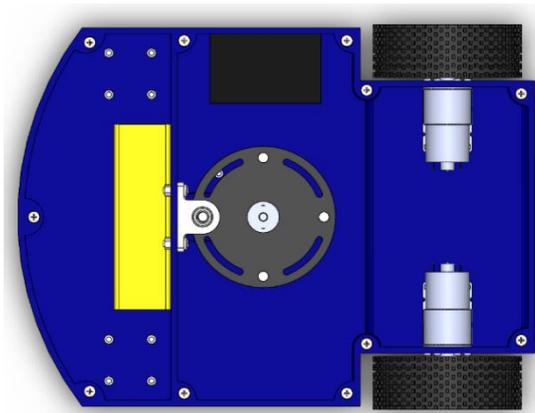
(a) vista em perspectiva (com tampa)

(b) vista em perspectiva (sem tampa)

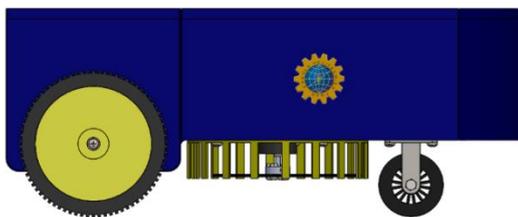


(c) vista em perspectiva (parte inferior)

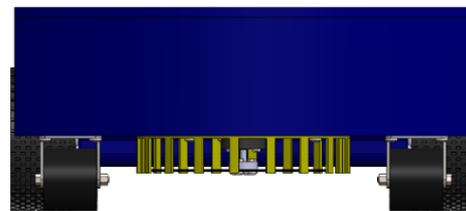
Figura 9 - Vistas em perspectiva do robô
Fonte: Elaborado pelos autores



(a) vista superior (sem tampa)

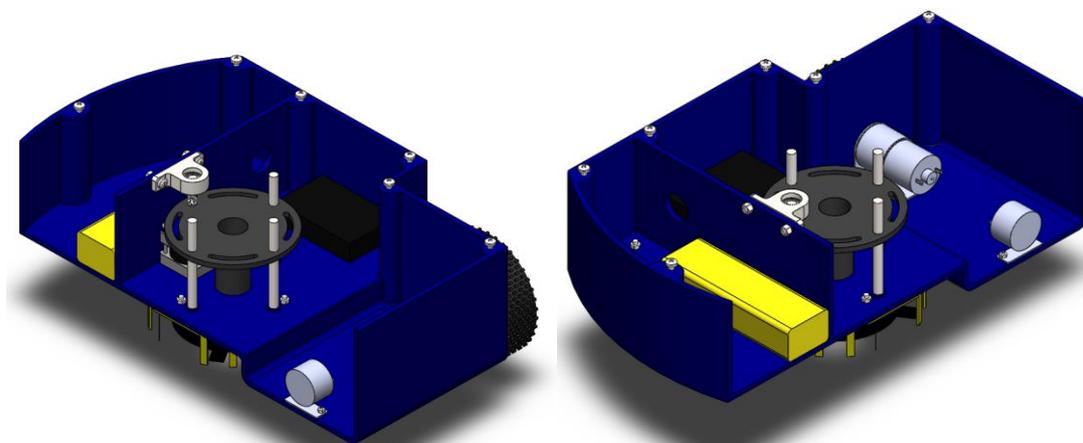


(b) vista lateral



(c) vista frontal

Figura 10 - Vistas principais do robô
Fonte: Elaborado pelos autores



(a) vista em corte 1

(b) vista em corte 2

Figura 11 – Vistas em corte do robô
Fonte: Elaborado pelos autores

5.2 Custo aproximado de fabricação

O Quadro 3 mostra um custo de fabricação de aproximadamente R\$1.500,00, o que parece promissor, tendo em vista que o valor atual de mercado de um robô cortador de grama autônomo gira em torno de R\$5.000,00.

Quadro 3 - Custo aproximado dos componentes

Componentes	Preço	Quantidade	Total
Motor de passo	R\$ 99,00	1	R\$ 99,00
Motor elétrico	R\$ 83,00	1	R\$ 83,00
Motor locomoção	R\$ 100,00	2	R\$ 200,00
Lâmina	R\$ 26,00	3	R\$ 78,00
Drive motor passo	R\$ 199,00	1	R\$ 199,00
Rodízio	R\$ 11,00	2	R\$ 22,00
Roda	R\$ 74,00	2	R\$ 148,00
Bateria	R\$ 150,00	1	R\$ 150,00
Sensores	R\$ 214,00	-	R\$ 214,00
Fabricação	R\$ 300,00	-	R\$ 300,00
		Total	R\$ 1.493,00

Fonte: Elaborado pelos autores

No entanto, não se pode esquecer o valor da mão de obra empregada no processo, o que elevaria o custo de fabricação. Por outro lado, o fato de que o produto seria fabricado em larga escala, com custo por peça menor que o encontrado no mercado para venda unitária, reduziria o custo de fabricação. Logo, considerando que um fator aumentaria o valor e outro diminuiria, em proporções possivelmente não muito distintas, então o custo apresentado consiste em uma boa aproximação.

6 Conclusão

Neste trabalho, foi realizado o estudo e detalhamento dos sistemas necessários para o funcionamento de um robô cortador de grama. O foco foi o desenvolvimento de um produto eficiente e competitivo dentro de seu mercado.

Para locomoção, optou-se pela utilização de um sistema 4x2, onde as rodas traseiras seriam do tipo *off-road* e tracionadas, e as dianteiras seriam rodízios. Em seguida, realizou-se o dimensionamento e especificação do motor necessário para seu deslocamento. Por último, definiu-se o tipo de trajetória adequada a ser realizada pelo robô para cobrir a maior área cortada com deslocamento mínimo.

Para o sistema de corte, primeiramente identificou-se as espécies de grama mais comumente utilizadas em áreas residenciais, para definir a altura de grama que o robô deveria cortar. Em seguida, a partir da escolha de uma lâmina para o corte, encontrou-se um exemplar de motor disponível no mercado, que atendesse às especificações de velocidade de rotação necessárias. Por último, detalhou-se a estrutura e funcionamento do sistema de ajuste da altura e corte da grama.

Foram definidos, então, os sensores necessários para que o robô atuasse de forma autônoma, explicitando-se a lógica de funcionamento, ou seja, a maneira como, a partir dos dados, o robô tomaria suas decisões.

Realizou-se a modelagem e montagem dos elementos mecânicos do robô por meio de um *software* de CAD, chegando-se a seu formato final. Para concluir, foi feito um estudo da viabilidade de fabricação do robô. Encontrou-se um valor aproximado de fabricação muito atrativo, quando comparado ao preço praticado pelo mercado, alcançando os objetivos do projeto.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal do Rio de Janeiro, por meio de seu Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC-UFRJ), e também da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

Referências

CENEK, Peter D., JAMIESON, Neil J., MCLARIN, Maurice W. **Frictional Characteristics of Roadside Grass Types**. Opus International Consultants, Central Laboratories, Gracefield, New Zeland, 2005.

GURGEL, Roberto Guerra Amaral. **Principais Espécies e Variedades de Grama**. In: Simpósio Sobre Gramados (SIGRA), 2003.

LUNA, André Luiz Carvalho, PINA FILHO, Armando Carlos de. **Cinemática e Dinâmica de um Robô Móvel para Corte de Grama**. In: VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM), São Luís, Maranhão, 2012.

LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da, ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. **Curso de Física (Volume 1)**. 1a ed., São Paulo: Editora Scipione, 2006.

NEHMZOW, Ulrich. **Mobile Robotics: A Practical Introduction**. New York: Springer-Verlag, 2003.

PIERI, Edson Roberto de. **Curso de Robótica Móvel (Apostila)**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

PROENÇA, Rafael Rocha da Silva, PINA FILHO, Armando Carlos de. **Estudo das Trajetórias de Movimentação de um Robô Cortador de Grama**. In: VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM), São Luís, Maranhão, 2012.

SIEGWART, Roland, NOURBAKSH, Illah R. **Introduction to Autonomous Mobile Robots**. MIT Press, 2004.

SILVA, Eliseu Ferreira da, PINTO, Victor Hugo de Oliveira, PINA FILHO, Armando Carlos de. **Robô Cortador de Grama Autônomo para Uso Residencial**. In: XIII

International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design (Graphica 2019), Rio de Janeiro, 2019.

THOMAZINI, Daniel, ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 8a ed., Fortaleza: Editora Erica, 2011.