

CONCEPÇÃO DE UMA PLATAFORMA MECÂNICA APLICADA A ROBÓTICA MÓVEL

DESIGN OF A MECHANICAL PLATFORM APPLIED TO MOBILE ROBOTICS

CONCEPCIÓN DE UNA PLATAFORMA MECÁNICA APLICADA A LA ROBÓTICA MÓVIL

Dr. Antonio Valerio Netto¹ (avnetto@hotmail.com)

¹Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora (DT) – CNPq

Resumo

Este artigo relata o desenvolvimento de uma plataforma mecânica aplicada a um robô móvel chamado RoboDeck. Este robô tem como objetivo permitir que alunos e pesquisadores possam desenvolver suas próprias soluções baseadas em uma arquitetura robótica de *software* livre e *hardware* aberto. Foram descritas as decisões referentes ao projeto mecânico com seu comportamento dinâmico e sua modelagem matemática analítica. Também são apresentadas questões envolvendo o projeto conceitual do chassi, a construção da carenagem e a concepção do design industrial do robô móvel para atender as necessidades de uma plataforma focada em educação e pesquisa.

Palavras-chave: Robô móvel, Edutainment, Robótica educacional, RoboDeck.

Abstract

This article reports the development of a mechanical platform applied to a mobile robot called RoboDeck. This robot aims to enable students and researchers to develop their own solutions based on a free software robotic architecture and open hardware. Decisions referring to the mechanical design with its dynamic behavior and its analytical mathematical modeling were described. Also presented are questions involving the conceptual design of the chassis, the construction of the fairing and the design of the industrial design of the mobile robot to meet the needs of a platform focused on education and research.

Keywords: Mobile Robot, Edutainment, Educational Robotics, RoboDeck.

Resumen

Este artículo relata el desarrollo de una plataforma mecánica aplicada a un robot móvil llamado RoboDeck. Este robot tiene como objetivo permitir que los estudiantes e investigadores puedan desarrollar sus propias soluciones basadas en una arquitectura robótica de software libre y hardware abierto. Se describieron las decisiones referentes al proyecto mecánico con su comportamiento dinámico y su modelado matemático analítico. También se plantean cuestiones relacionadas con el proyecto conceptual del chasis, la construcción del carenado y la concepción del diseño industrial del robot móvil para atender las necesidades de una plataforma enfocada en educación e investigación.

Palabras clave: Robot móvil, Edutainment, Robótica educativa, RoboDeck.

Introdução

O projeto robótico desenvolvido teve como objetivo criar uma plataforma universal que possua uma “arquitetura aberta”, possibilitando que o usuário (professor, aluno e pesquisador) desenvolva, ele mesmo, uma nova aplicação. Essa plataforma robótica, chamada RoboDeck, é

constituída por uma estrutura mecânica que possui interfaces para comunicação com o meio exterior e, internamente, com uma placa mãe com um barramento de expansão. A estrutura mecânica dá suporte a todo o circuito elétrico interno que se comunica com o exterior por meio de várias interfaces em que são conectados os acessórios como pinça mecânica para manipulação de objetos, mecanismos de movimentação (locomoção), visão, sensores, etc.

A plataforma também possui uma fixação mecânica, um conector, um barramento de comunicação, além dos protocolos de comunicação. Internamente, a placa mãe contém um processador com todos os periféricos necessários para o seu funcionamento, um *kernel* e um barramento que permite a instalação de placas de expansão (módulos) para implementação dos acessórios. Além disso, foi desenvolvido um ambiente modular de programação em “G” (blocos gráficos) e linguagem C++, que permite ao usuário criar novas programações para executar diferentes aplicações (PISSARDINI, 2014; WEI, 2015; ZANOLA, 2017). As aplicações da robótica móvel na área de educação estão voltadas, além da Matemática, para as disciplinas transversais, nas quais os alunos poderão aprender linguagem de programação direcionada para temas como educação no trânsito, seleção de lixo reciclável, ecologia (reconhecimento de águas), inclusão social e reconhecimentos de mapas, entre outros. No caso dos pesquisadores, a tecnologia pode ser utilizada para o desenvolvimento de novos módulos e aplicações mais sofisticadas, inclusive com soluções utilizando a teleoperação e a telepresença (BEZERRA, 2012; MENEZES et al., 2016; MOTTA, 2016).

Inicialmente, foram definidas as especificações da plataforma robótica como ponto de partida. No caso das especificações de *design*, as aparências e condições de segurança se basearam nas normas Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Foram contemplados itens como robustez, segurança, usabilidade, meio ambiente, não ter aparência de brinquedo e também de robô militar. Nas especificações de características, as partes da plataforma robótica são relacionadas com cada parte do corpo humano. São elas: Chassi + Rodas = Tronco + Pés; Módulo Comunicação = Boca / Ouvidos; Módulo Pinça = Braços a Mãos; Módulo Visão = Olhos; Unidade Computacional = Cérebro.

As especificações técnicas definem os limites e orientam os projetistas sobre cada parte da plataforma robótica na fase de desenvolvimento. As principais especificações são:

- Autonomia diferenciada = 4h a 8h de funcionamento com recarga rápida;
- Precisão / repetibilidade nos movimentos / boa mobilidade;
- Apto para se locomover em ambientes fechados (*indoor*): pisos lisos;
- Ambientes externos (*outdoor*): terra batida e grama baixa;
- Subir rampa máxima de 30°;
- Peso para movimentação (Módulo Pinça): 400g;

- Peso máximo da plataforma robótica: 15kg;
- Dimensões básicas: 600mm x 400mm x 350mm.

Foram definidos modelos de robôs fabricados no exterior que serviram de *benchmarking* para a construção da plataforma. Da empresa K-Team, foram dois modelos, um chamado Khepera e o outro Koala e da empresa ECA, o modelo PEMD 1000. Na questão da concepção do produto, foi definido que a plataforma robótica teria quatro rodas com esterçamento independente sendo que as duas rodas traseiras são motoras. Além disso, foram concebidos: sistema de alimentação e de locomoção, chassi, carenagem, sistema de sensores e atuadores, módulos lógicos e a pinça mecânica.

1 Desenvolvimento do projeto mecânico

Foi realizado um estudo dos conceitos do RoboDeck por meio das análises da dinâmica do robô (comportamentos longitudinal, vertical e lateral) e do torque necessário para a movimentação do mecanismo (definição do motor a ser utilizado), além do estudo do ângulo de esterço permitido. A Figura 1 ilustra o modelo em multicorpos, feito em ambiente ADAMS/View®. O modelo foi dividido em quatro partes: Mecanismo moto-reductor: motor; Mecanismo de esterço: servo-motor + mecanismo quatro barras; Chassis: estrutura de fixação das partes (compreende a garra também); e Pneus e pista.

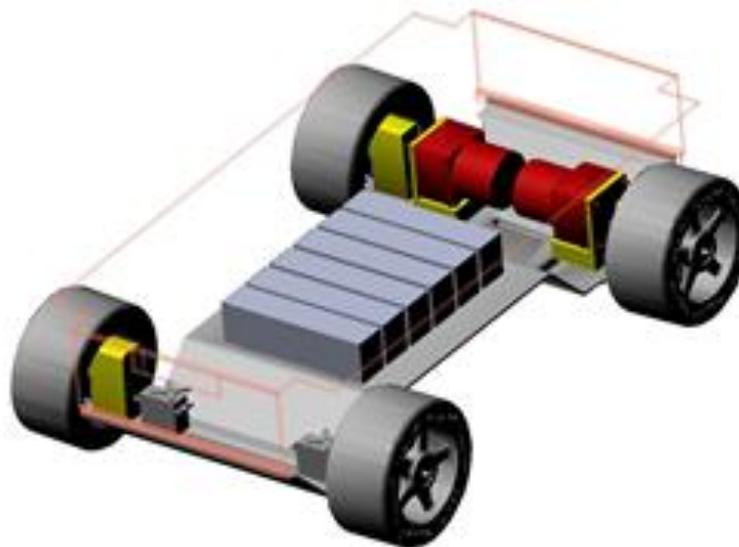


Figura 1 – Modelo do RoboDeck importado em ambiente Adams/View®
Fonte: Própria

O estudo focou somente o comportamento dinâmico do robô, não analisando possíveis interferências entre as partes durante o funcionamento. Para o estudo da dinâmica, foram realizadas as seguintes análises: de raio constante; de subida de rampa; e de passagem em

obstáculos. Com relação ao mecanismo propulsor do robô, ele foi constituído basicamente pelos motores e seus respectivos redutores. Foram analisados dois motores com torques diferentes. Os motores estão alocados na região posterior do robô (oposta à pinça), sendo dois: um esquerdo e outro direito; independentes entre si. Cada motor possui em seu eixo de saída um redutor acoplado, com relação de redução de 25:1. O torque do motor foi aplicado por uma equação contínua, levando em consideração a curva dos motores. Também foi aplicado um controle de tração simplificado para melhor aproveitamento dos motores.

O esterçamento das rodas do robô foi feito por meio de quatro servomotores. O modelo do servo utilizado foi o S3003 da marca Futaba. O ângulo de esterço máximo da roda é de 30°, tendo o robô esterçamento independente nas quatro rodas. A Figura 2 mostra o mecanismo de esterço. Para o esterço aplicou-se uma rotação nos servos, com o ângulo desejado nas rodas.

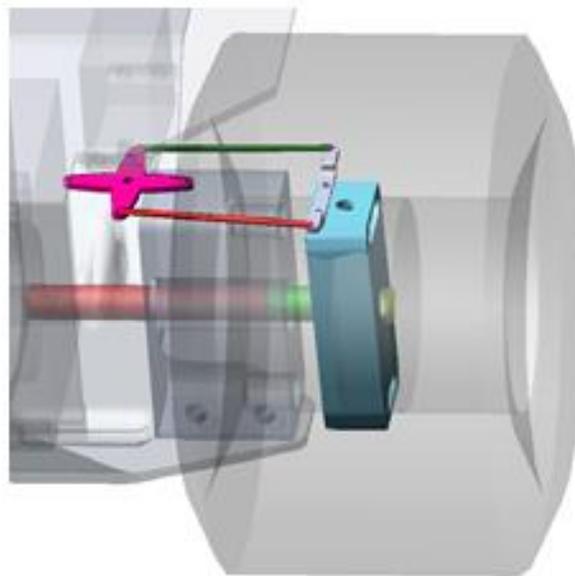


Figura 2 – Modelagem do mecanismo de esterço
Fonte: Própria

Para a modelagem do esterçamento das rodas, foi adotada a geometria de Ackerman, que por meio de análises cinemáticas proporciona as relações entre os ângulos de esterço das rodas internas com os ângulos das rodas externas, assumindo a hipótese de não escorregamento, o que é válido para baixas velocidades e, portanto, para o robô analisado. Na Figura 3, pode-se observar a configuração do esterço das rodas de um veículo segundo a Geometria de Ackerman.

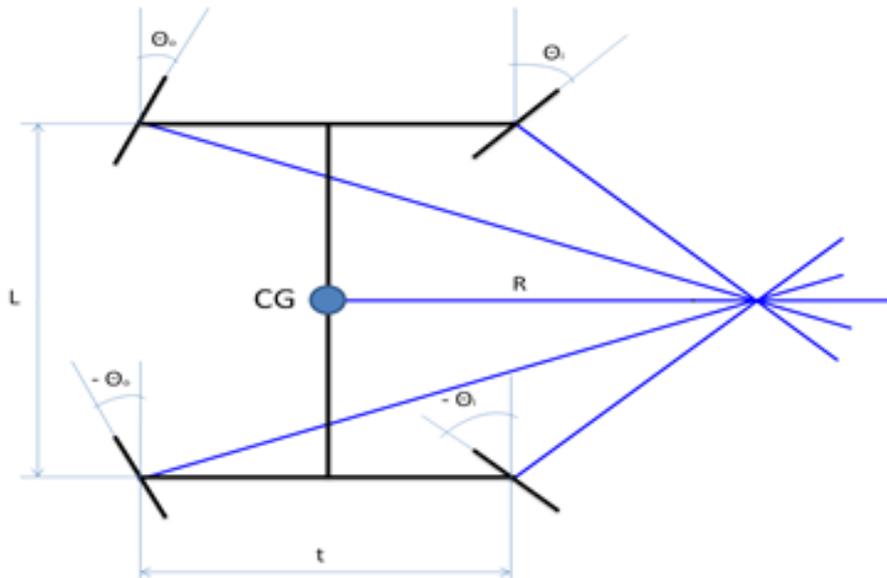


Figura 3 – Geometria de Ackerman
Fonte: Própria

A partir da configuração acima e, considerando que as rodas externas ao movimento têm o mesmo esterço (θ_o), assim como as internas (θ_i), para que não haja escorregamento lateral, as rodas internas ao movimento devem apresentar um esterço maior que o das rodas externas. A partir da configuração acima, deduz-se que o esterço que cada roda deve apresentar é dado pelas seguintes equações:

$$\tan(\theta_i) = \frac{L}{2 \cdot R - t} \quad (1) \quad \tan(\theta_o) = \frac{L}{2 \cdot R + t} \quad (2)$$

Onde: R = Raio da manobra; L = Distância entre-eixos do robô; t = bitola do carro.

A partir das duas equações acima, pode-se obter uma relação entre o esterço externo e o interno das rodas, de tal modo a garantir que não ocorra escorregamento lateral, dado por:

$$\theta_i = \arctan \left[\frac{L \cdot \tan(\theta_o)}{L - 2 \cdot t \cdot \tan(\theta_o)} \right] \quad (3)$$

Para que não ocorra escorregamento na direção longitudinal, os motores devem aplicar torques de tal forma que as rotações das rodas obedeçam às seguintes relações:

$$\omega_i = \frac{V_i}{r} \quad (4) \quad \omega_o = \frac{V_o}{r} \quad (5)$$

Onde: ω_i = Rotação da roda interna ao movimento;

ω_o = Rotação da roda externa ao movimento;

V_i = Velocidade longitudinal do CG da roda interna ao movimento;

V_o = Velocidade longitudinal do CG da roda externa ao movimento;

r = raio da roda.

Através de relações cinemáticas, chega-se às seguintes expressões para V_i e V_o :

$$V_i = V_{CG} \cdot \left[1 - \frac{t}{2 \cdot R} \right] \quad (6) \quad V_o = V_{CG} \cdot \left[1 + \frac{t}{2 \cdot R} \right] \quad (7)$$

Onde V_{CG} é a velocidade longitudinal do robô e R pode ser determinado em função do esterço aplicado às rodas externas ao movimento:

$$R = \frac{L - t \cdot \tan(\theta_o)}{2 \cdot \tan(\theta_o)} \quad (8)$$

Por meio da implementação das correlações acima na modelagem, garantiu-se que o não escorregamento nas direções lateral e longitudinal.

Com relação ao chassi, as partes não possuem movimento relativo entre si, podendo ser unidas em um único corpo. O modelo de pneu utilizado para as análises foi o *University of Arizona Tire (UAT)*, com os parâmetros ajustados conforme características do pneu utilizado no projeto. As pistas utilizadas nas análises foram: Raio constante: *mdi_2d_flat.rdf*, Subida de rampa: *2d_ramp.rdf*, e Passagem por obstáculos: *2d_pot_hole.rdf*.

1.1 Simulação e comportamento dinâmico

A seguir são descritas as análises realizadas no ambiente ADAMS/View®, e os resultados obtidos em cada uma delas. A velocidade de operação do robô foi considerada entre 400 mm/s e 600 mm/s. Para a análise de subida de rampa, foi utilizada uma pista com inclinação de 30° (inclinação máxima desejada), e altura infinita.

As análises foram realizadas com o robô a uma velocidade longitudinal de 400 mm/s e 500 mm de *start* (distância percorrida até a rampa). A Figura 4 mostra o comportamento da velocidade longitudinal do centro de massa do robô pelo tempo durante a subida da rampa. A perda de velocidade durante a subida da rampa para o motor 1 é de cerca de 40% e, para o motor 2, é de 88%. Ambos os motores superaram a rampa com inclinação de 30°.

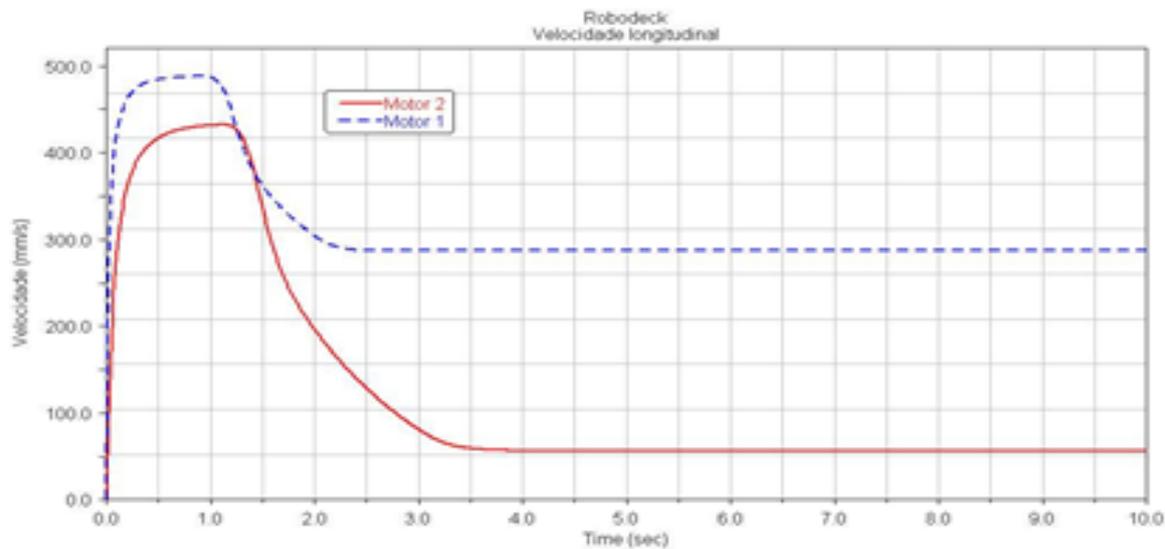


Figura 4 - Gráfico da perda de velocidade durante a subida de rampa
Fonte: Própria

A análise de passagem por obstáculo foi dividida em duas partes: *Pot Hole* que é a passagem por depressão (retangular) no pavimento, e *Lombada*, que é a passagem por saliência (arredondada) no pavimento.

Na análise do *Pot Hole*, o robô faz uma passagem em depressões com diferentes profundidades. É analisada a profundidade que a plataforma consegue vencer. Foram estudadas três profundidades: 15mm, 25mm e 37mm, com duas velocidades de passagem: 400 mm/s e 600 mm/s. Para uma depressão de 15 mm, por exemplo, o torque necessário para vencer o obstáculo é inferior ao torque máximo disponível em ambos os motores (Motor 1 e Motor 2). A maior depressão que o robô consegue superar é de 37mm, porém, já com alguma dificuldade. Com um obstáculo de 38mm de profundidade, o robô perde estabilidade, tomba devido ao impacto das rodas dianteiras com o degrau.

A análise de lombada consiste na passagem em saliências com diferentes alturas. As rodas passam nos obstáculos em momentos diferentes, ou seja, fora de fase. É analisada a maior altura que o robô é capaz de superar. Foram estudadas três alturas: 10mm, 25mm e 35mm, com duas velocidades de passagem: 400 mm/s e 600 mm/s. A maior altura que o robô consegue superar é de 35 mm, porém, já com alguma dificuldade. Com um obstáculo de 36 mm de altura, o robô perde estabilidade, tomba devido ao impacto das rodas dianteiras com o degrau.

2 Análise de giro e de *turn-in-place*

Na análise de raio constante, é aplicado um ângulo de esterço nas rodas do robô simulando uma pista com raio constante. Dessa forma, foi analisado o comportamento lateral do robô. As análises foram feitas com o robô operando a 500 mm/s, e com ângulo de esterço (nas

quatro rodas) de 30° (ângulo máximo). A Tabela 1 mostra uma comparação entre os raios percorridos e os torques aplicados nesta análise.

Tabela 1 - Tabela de resultados da análise de giro

		Motor 1	Motor 2
Raio executado (mm)		406	406
Torque aplicado (N.mm)	Direita	6,26	6,19
	Esquerda	5,73	6,82

Na análise de *turn-in-place* o robô executa giros em torno de seu próprio eixo. Para isso, é necessário que os motores direito e esquerdo operem com rotação em sentidos opostos, e as rodas sejam esterçadas conforme ilustra a Figura 5. Para esta análise, foi constatada que a manobra não pode ser realizada com um ângulo de esterço maior que 20°, porque o robô passa a não se comportar como deveria. Os resultados obtidos nesta análise podem ser vistos na Tabela 2.

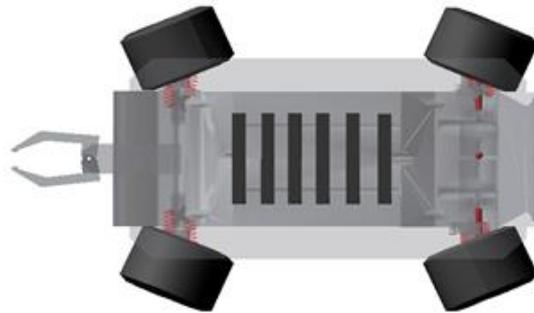


Figura 5 - Análise de Turn-in-place: disposição das rodas
Fonte: Própria

Tabela 2 - Tabela de resultados da análise de Turn in place

		Motor 1	Motor 2
Raio executado (mm)		194	173
Torque aplicado (N.mm)	Direita	203	74
	Esquerda	199	75

2.1 Modelagem matemática analítica

Para o desenvolvimento do controlador de trajetória do robô, foram fornecidas as matrizes de estado A , a matriz de controle B e a matriz de saída C . A matriz D é a matriz de realimentação.

$$\dot{x} = [A]x + [B]u$$

$$y = [C]x + [D]u$$

A linearização do modelo no *software* Adams foi realizada para quatro pontos de operação, relativo a quatro atitudes do robô (0°, 90°, 180° e 370°). Esse modelo linearizado poderá ser importado para dentro do ambiente do *software* Matlab/Simulink, Octave ou SCiLab para a sintetização do controlador. O modelo do robô possui 42 estados, portanto, a matriz característica A gerada pela linearização do modelo é uma matriz de 42 x 42 elementos. Foram também geradas as matrizes B, C e D do modelo linearizado nas quatro posições. As entradas e saídas definidas no modelo podem ser vistas na Tabela 3.

Tabela 3 - Tabela com as entradas e saídas do modelo linearizado

Entradas da planta do modelo linearizado Adams	Saídas da planta do modelo linearizado Adams
1) Velocidade do motor direito	1) Velocidade da Roda direita
2) Velocidade do motor esquerdo	2) Velocidade da Roda esquerda
3) Torque do motor direito	3) Posição roda FD (frente-direita)
4) Torque do motor esquerdo	4) Posição roda FE
5) Posição roda FD (frente-direita)	5) Posição roda AD
6) Posição roda FE	6) Posição roda AE
7) Posição roda AD	
8) Posição roda AE	

Um modelo matemático analítico de sete graus de liberdade do robô foi desenvolvido para ser utilizado para o desenvolvimento de um simulador para a determinação da trajetória do robô. O modelo simplificado de veículo, com sete graus de liberdade. As variáveis de movimento que descrevem a atitude do modelo de sete graus de liberdade do veículo são: ângulos de esterçamento das rodas dianteira e traseira, deslocamento lateral, deslocamento longitudinal, velocidade em guinada (em torno do eixo z do veículo). A correta representação do comportamento do pneu é de suma importância no modelo do robô. Dois efeitos do pneu são importantes na modelagem: a rigidez vertical e a rigidez em curva. A rigidez em curva do pneu é que gera as forças laterais para esterçar o robô e, conseqüentemente, permitir que o robô siga uma trajetória em curva.

Para representar o efeito da alteração da rigidez em curva do pneu com o carregamento lateral, há diversos modelos na literatura que representam esse fenômeno (DUGOFF, 1970; PACEJKA, 1991; ELLIS, 1994). O modelo analítico é não linear e inclui as não linearidades do pneu. O pneu é responsável por o robô fazer curvas, acelerar (pois é ele que transmite as forças) e, portanto, é o elemento mais importante da dinâmica do robô com relação à manobrabilidade

(dinâmica lateral e longitudinal). O modelo linearizado, como o próprio nome diz, é linear e não inclui essa dinâmica do pneu e é válido em torno de um ponto de operação.

O modelo utilizando no projeto foi baseado no citado em Pacejka (1991). Foi assumido que para ângulos de deriva de até 5° do pneu, o comportamento da curva da rigidez em curva do pneu é linear para uma dada força normal; isto é, o modelo de rigidez em curva do pneumático é em função da carga normal, assumindo que os ângulos de deriva não ultrapassam o valor de 5° no pneu. A equação de Pacejka para a rigidez em curva do pneu é:

$$F_z = a_3 + a_4 \left(\frac{F_z}{a_4} \right)^{a_3}$$

O máximo valor da rigidez em curva é a_3 para uma força normal $F_z = a_4$.

3 Projeto do chassi

Considerando que a plataforma foi focada em um público estudantil jovem (escolas técnicas, graduação, etc.) que irão manuseá-lo, desmontá-lo, agregar modificações, o conceito robustez foi tratado como elemento importante. Buscou proporcionar ao produto aspecto de resistência física, formas encorpadas, volume, não ser um produto “leve”, que ao ser utilizado ou manuseado tenha a sensação de peso, materiais com espessuras adicionais, aspecto reforçado, etc. Na mesma linha de robustez, o chassi também foi desenvolvido como elemento estrutural importante no projeto.

Considerando os vários elementos de locomoção, um chassi em aço com vincos diversos, garantindo maior resistência mecânica ao conjunto, foi a alternativa definida. A opção por *pack* de baterias recarregáveis contribuiu para consolidar o conceito, aliado ao *design* final, rodas grandes, chassi metálico e carenagem com sobre-espessura, garantiram o aspecto de robustez objetivado. Foi concebida uma distribuição das funções do RoboDeck em diversos níveis verticais:

- Nível I – Fontes de Energia = Baterias = maior peso = maior estabilidade;
- Nível I – Mecanismos de movimentação = sistema mecânico + moto-redutores;
- Nível I – Módulo Pinça – Garra Frontal Tipo Mandíbula;
- Nível II – Inteligência e Elementos de Potência;
- Nível III – Topo = Plataforma Universal para agregar os Módulos: Visão + Comunicação + Opcional cliente.

Como resultado desse estudo, foi construído um chassi em aço espessura 2mm, com desenho (vincos) que aumentem sua resistência mecânica. Presença de uma pinça frontal em aço tipo mandíbula. Existência de uma divisão intermediária em Alumínio espessura 1,2mm, com

vincos de reforço e com carenagem em poliestireno de alto impacto (PSAI) moldado, espessura 4mm. Na Figura 6, são mostrados o chassi e o destaque da roda que recebe o servomotor responsável pelo deslocamento do RoboDeck.

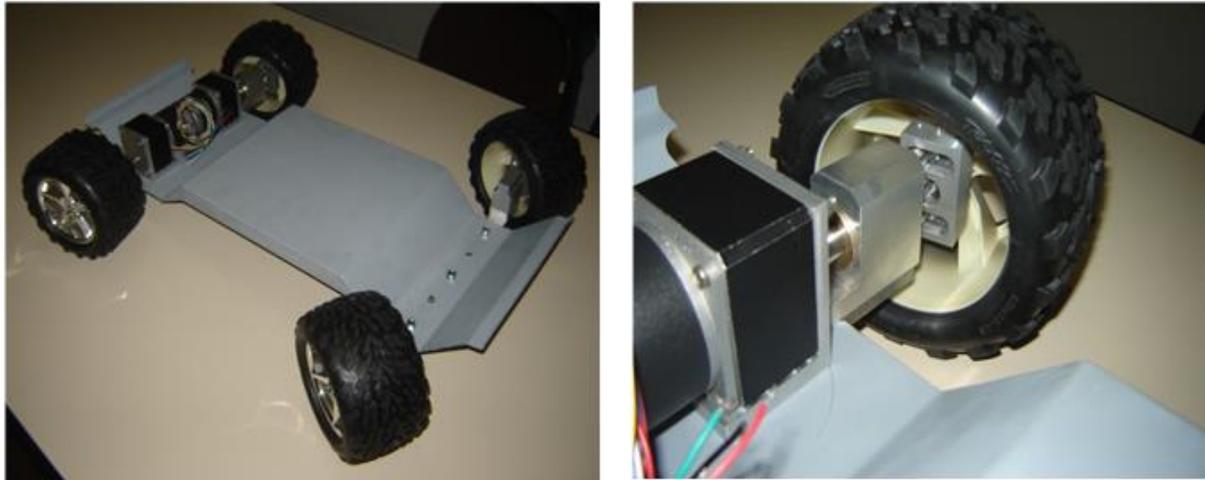


Figura 6 - Foto mostrando o chassi e o detalhe do mecanismo de locomoção
Fonte: Própria

4 Metodologia e resultados

O RoboDeck visou desenvolver um modelo conceitual para um robô com função educacional, ou seja, sua função é ser parte do contexto de escolas, universidades e instituições de ensino que precisem do equipamento para que seus alunos possam desenvolver módulos, programas e interfaces que conversem e comandem o robô para ações variadas. Na fase do Projeto Informacional, foi realizada a aquisição de toda uma gama de informações sobre o tema de projeto em questão e sua posterior interpretação. Os procedimentos de projeto recaem, principalmente, no levantamento com os clientes das necessidades e desejos a serem atendidos pelo projeto, além das características do processo produtivo e suas restrições. Estas necessidades foram analisadas e transformadas em especificações técnicas que foram seguidas pelo projeto. Nesta fase foi preenchido um documento denominado *briefing*, que contém informações relacionadas à fabricante, seu posicionamento estratégico, objetivos do produto, restrições, entre outros, e também as considerações iniciais da equipe de *design*. Este documento foi acordado entre as partes e serviu como guia para todo o desenvolvimento posterior.

A pesquisa e análise de similares teve a função de agrupar informações que serviram de referência e ponto de partida para o desenvolvimento das características e funções do equipamento. Foram escolhidos três robôs com as formas similares ao projeto em questão (Figura 7).



Figura 7 - Três robôs de referência para o projeto RoboDeck
Fonte: K-Team.com

Foi montada uma lista contendo os objetivos, os requisitos e as restrições para o projeto. O objetivo pré-determinado foi gerar a percepção de um equipamento de alta tecnologia, de fácil operação e manutenção, que represente para os usuários vantagem tecnológica durante seu aprendizado. Sobre os requisitos, foram analisadas características funcionais de *hardware* e “interface humana X máquina”, em que foram detectadas importantes ações. A primeira ação concluiu que deveria existir um *deck* (superfície lisa e ampla), nessa superfície é possível ser instalados de forma livre equipamentos como braços mecânicos, câmeras wi-fi ou qualquer outro dispositivo que seja necessário. Os conceitos podem ser desenvolvidos com 6 ou 4 rodas. Devem existir três níveis na estrutura básica do robô (1. Mecânica, 2. PC01, 3. PC03 – Interface Externa). O equipamento deveria ser capaz de subir e transpor obstáculos com até 40°, para cima e para baixo. Neste caso deveria ficar atento para o ângulo de ataque frontal. O robô deveria girar em torno do próprio centro.

No caso deste projeto, todas as restrições foram atribuídas às características mobilidade, mecânicas e de autonomia das baterias. Mesmo assim a equipe de *design* preocupou-se em desenvolver um *layout* possível em relação à distribuição dos componentes internos e externos, eliminando prováveis problemas de equilíbrio do Robô em movimento (centro de gravidade). A partir da análise do conjunto de informações adquiridas, foram definidas as diretrizes do projeto com relação à ergonomia, interface de uso inteligível, estrutura sólida e robusta, acesso fácil para manutenção, e plataforma ou *deck* externo.

Foi realizada uma extensa pesquisa de similares e tendências relacionadas à área de robótica, com o objetivo de conhecer o estado da arte, observar princípios de soluções, lacunas e tendências. Inicialmente a ideia era utilizar seis rodas, contudo pesou a questão do custo do robô sendo que o de seis rodas se mostrava com custo acima do estipulado inicialmente. Dessa forma, foi adotada a proposta com quatro rodas. Na fase do Projeto Conceitual, com base nas informações obtidas na fase anterior de projeto, foi proposto o conceito adotado pelo produto. Foi realizada uma síntese da estrutura de funções a ser desempenhada pelo produto, a busca de princípios de solução para cada uma destas funções, a subsequente proposição de alternativas de

projeto e, finalizando, a seleção daquelas que possuam uma maior concordância com as necessidades do consumidor, levantada na fase anterior.

Foram desenvolvidos alguns esboços com relação ao conceito e o aprovado pela equipe foi o conceito da Figura 8a (ainda com seis rodas). Após análise da equipe da empresa Multicorpos, especializada em dinâmica de automóveis, um laudo foi apresentado e um novo conceito para o modelo foi adotado. Quatro rodas, cada uma com giro de amplitude de 20° (aproximadamente), tração (motor elétrico) nas duas rodas frontais, como mostrado na Figura 8b. Na Figura 9 são apresentados modelos iniciais do RoboDeck apresentando a questão do posicionamento das baterias, da pinça mecânica e da capacidade de girar sobre o próprio centro. Na Figura 10 é mostrado o modelo 3D finalizado.

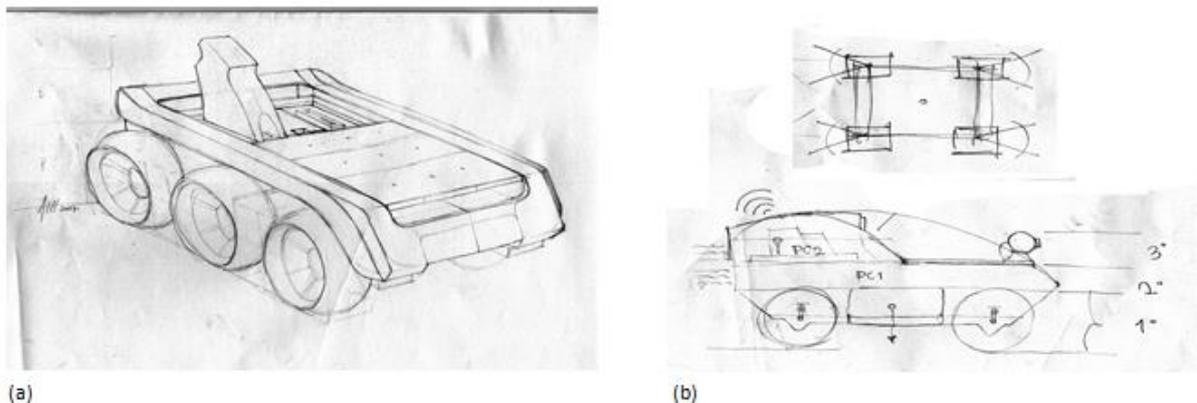


Figura 8 - (a) Esboço inicial com seis rodas. (b) conceito com quatro rodas do RoboDeck
Fonte: Própria



Figura 9 - Modelos iniciais do RoboDeck apresentando a questão do posicionamento das baterias, da pinça mecânica e da capacidade de girar sobre o próprio centro
Fonte: Própria

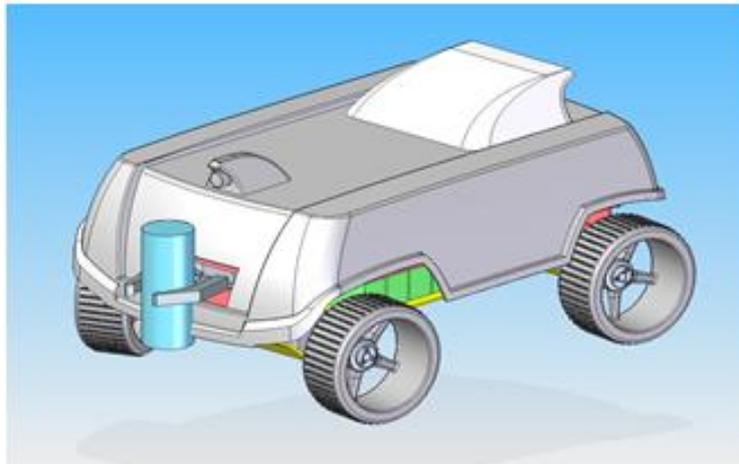


Figura 10 - Modelo 3D finalizado
Fonte: Própria

Considerações Finais

Como o foco foi desenvolver um único sistema a ser usado tanto na educação técnica quanto para pesquisas de alto nível tecnológico, o sistema buscou ser flexível, possuindo inclusive um *software* com programação em blocos (programação G), para as escolas de ensino médio técnico; e um ambiente para programação em C/C++, para graduados e pesquisadores. Sistemas com esse grau de sofisticação, flexibilidade e abrangência acabam tendo um custo elevado de fabricação, montagem e venda. Observou-se que, para abaixar o custo do produto para o cliente final, deveria diminuir consideravelmente a capacidade de flexibilização e número de dispositivos e sensores da plataforma. Isso acabaria desvirtuando o projeto do propósito principal de ser uma plataforma multitarefa.

A proposta do RoboDeck de possuir módulos que o conectam à Internet para teleoperação, isto é, controlar e programar o robô remotamente via Web, possibilita uma gama de subprojetos que podem ser desenvolvidos pelos alunos, em áreas como telerobótica e telepresença. A Interface remota via Internet também possibilita que o sistema robótico seja utilizado como ferramenta de ensino à distância em escolas que não dispõem de recursos para construir um laboratório de robótica, mas que tenham acesso à Internet. Por exemplo, essas escolas podem instalar o *software* de teleoperação em computadores locais e utilizar os robôs disponíveis em Laboratório de Robótica à Distância (LDR). Diante disso, o aluno consegue controlar o robô e observar pela imagem como ele responde e se comporta conforme a sua programação.

Agradecimentos

Apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio do seu Programa de Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora (DT) e do

programa RHAE Pesquisador na empresa. Além disso, agradecer a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo seu programa PIPE para pequenas empresas.

Referências

BEZERRA, T. J. **Arquitetura para integração de módulos de reconhecimento de fala em plataforma robótica móvel**. Dissertação de mestrado. 2012. Universidade Metodista de Piracicaba. Disponível em: <http://www.xbot.com.br/wp-content/uploads/2012/10/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Tarcisio_P%C3%B3s_Defesa_Final_para_impress%C3%A3o.pdf> Acesso em: jan. 2017.

DUGOFF, H.; FANCHER, P.S.; SEGEL, L. An analysis of tire properties and their influence on vehicle dynamics performance. **SAE Transactions**, 700377, 1970.

ELLIS, J.R. **Vehicle handling dynamics**. London: Mechanical Engineering Publications Limited, 1994.

MENEZES, M. C. et al. **Mapeamento e Localização para o kit Robótico RoboDeck**. 2016. Disponível em: <<http://sistemas.deinf.ufma.br/anaisjim/artigos/2016/201604.pdf>> Acesso em: maio 2017.

MOTTA, B. C. **Aprendizagem por demonstração baseada em redes neurais artificiais aplicada à robótica móvel**. 2016. Disponível em: <<http://www.bdm.unb.br/handle/10483/13282>> Acesso em: fev. 2017.

PACEJKA, H.B.; BAKKER, E. The magic formula tyre model. In: 1st INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON TYRE MODELS FOR VEHICLE DYNAMICS ANALYSIS, Delft, The Netherlands October 21-22, 1991.

PISSARDINI, R. S. **Veículos autônomos de transporte terrestre: proposta de arquitetura de tomada de decisão para navegação autônoma**, 2014. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-26082015-161805/en.php>> Acesso em: jan. 2016.

WEI, D. C. M. **Método de desvio de obstáculos aplicado em veículo autônomo**, Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-17062016-142254/en.php>> Acesso em: jan. 2016.

ZANOLA, L. ET AL. **Implementação com Validação Real de um Controle Proporcional, Integral e Derivativo na Plataforma Robótica RoboDeck**. 2017. Disponível em: <http://www.xbot.com.br/wp-content/uploads/2012/10/artigo_Implementacao_ValidacaoReal_leandro.pdf> Acesso em: jan. 2017.

Recebido em 30/05/2018

Aceito em 19/11/2018