



ROBÔ BASEADO EM TECNOLOGIA CELULAR *ANDROID* E LÓGICA
NEBULOSA PARA INSPEÇÃO E MONITORAÇÃO EM USINAS NUCLEARES

Paulo Cezar Rocha Silveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Nuclear, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Nuclear.

Orientador: Roberto Schirru

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2012

ROBÔ BASEADO EM TECNOLOGIA CELULAR *ANDROID* E LÓGICA
NEBULOSA PARA INSPEÇÃO E MONITORAÇÃO EM USINAS NUCLEARES

Paulo Cezar Rocha Silveira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA NUCLEAR.

Examinada por:

Prof. Roberto Schirru, D.Sc.

Prof. Jose Antonio Carlos Canedo Medeiros, D.Sc.

Prof. Claudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
FEVEREIRO DE 2012

Silveira, Paulo Cezar Rocha

Robô Baseado em Tecnologia Celular *Android* e Lógica Nebulosa para Inspeção e Monitoração em Usinas Nucleares / Paulo Cezar Rocha Silveira. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

VIII, 109 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Roberto Schirru

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Nuclear, 2012.

Referências Bibliográficas: p.101-109.

1. Robótica. 2. Detecção. 3. *Mobile*. 4. Inteligência Artificial. I. Schirru, Roberto. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Nuclear. III. Título.

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado a minha esposa

Cristina e ao meu filho Filipe.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Roberto Schirru, por sua orientação e amizade, sem as quais a realização desse trabalho não teria sido possível.

A minha esposa Cristina pelo apoio e compreensão, por conta de momentos difíceis ao longo desses três anos de trabalho.

Aos funcionários da secretaria do PEN/COPPE/UFRJ, por serem solícitos e atenciosos nos momentos de resolver tramites administrativos referentes a curso.

Aos funcionários e amigos do Laboratório de Monitoração de Processos (LMP) do Programa de Engenharia Nuclear pelo apoio e a todos que contribuíram de forma direta ou indireta, na realização desse trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ROBÔ BASEADO EM TECNOLOGIA CELULAR *ANDROID* E LÓGICA
NEBULOSA PARA INSPEÇÃO E MONITORAÇÃO EM USINAS NUCLEARES

Paulo Cezar Rocha Silveira

Fevereiro/2012

Orientador: Roberto Schirru

Programa: Engenharia Nuclear

Este trabalho desenvolve um modelo de sistema robótico para aplicações em detecção nuclear, com capacidade de controle *mobile*, provido de inteligência computacional aplicada na correção do seu centro de gravidade e com capacidade de locomoção multiterreno. Para tanto realiza estudos sobre teleoperações em ambientes nucleares, degradação de componentes robóticos pela exposição à radiação, inteligência artificial, transceptores *mobile*, *hardwares*, *firmwares* e robótica estrutural. Apresenta os resultados da avaliação de desempenho obtidos através de simulações computacionais, bem como os resultados auferidos pelos testes de viabilidade prática, realizados por meio de um protótipo robótico concebido nos moldes da elaboração deste projeto. Os resultados experimentais observados corroboram os resultados previstos analiticamente.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

TECHNOLOGY BASED MOBILE ROBOT ANDROID AND LOGIC NEBULA TO
INSPECTION AND MONITORING IN NUCLEAR PLANTS

Paulo Cezar Rocha Silveira

February/2012

Advisor: Roberto Schirru

Department: Nuclear Engineering

This work develops a model system for robotic applications in nuclear detection, capable of controlling mobile, equipped with artificial intelligence applied to the correction of its center of gravity and ability to walk multiterreno. For that conducts studies on teleoperações in nuclear environments, degradation of robotic components by exposure to radiation, artificial intelligence, mobile transceivers, hardware, firmware and robotic structure. Presents the results of performance evaluation obtained through computer simulations and the results received by testing practicality, performed by a robot prototype designed in the manner of preparation of this project. The experimental results corroborate the results of analytical predictions.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	1
1 Introdução	1
CAPÍTULO 2	8
2 Fundamentação Teórica	8
2.1 Robótica e Automação	9
2.2 Aspectos de inteligência artificial	24
2.2.1 Teoria <i>Fuzzy</i>	24
CAPÍTULO 3	29
3 Projeto base e seu ambiente de aplicação	29
3.1 Etapas do Projeto	29
CAPÍTULO 4	42
4 Projeto funcional e técnico do protótipo	42
4.1 Considerações de projeto	42
4.2 Procedimentos de operação	43
4.3 Descrição funcional	45
4.3.1 Bloco Tx/Rx <i>Mobile</i>	47
4.3.2 Bloco decodificador	49
4.3.3 Bloco controlador	50
4.3.4 Bloco de <i>drivers</i>	53
4.3.4.1 <i>Drivers</i> para servomotores de controle de direção	54
4.3.4.2 <i>Drivers</i> para motores de tracionamento	55
4.3.5 Bloco servos	58
4.3.6 Bloco motores	60

CAPÍTULO 5	62
5 Sistema inteligente de correção de centróide	62
5.1 Metodologia e projeto	62
CAPÍTULO 6	72
6 Teleoperação e controle por sistema <i>mobile</i>	72
6.1 Operação robótica em ambiente nuclear	72
6.2 Teleoperação <i>mobile</i> e transceptores convencionais	76
6.3 Embasamento <i>mobile</i>	78
6.4 Dinâmica do controle <i>mobile</i>	79
CAPÍTULO 7	82
7 Prototipagem e resultados	82
CAPÍTULO 8	99
8 Conclusão	99
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	101

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

A palavra Robô foi utilizada pela primeira vez em 1921 pelo escritor tcheco Karel Capek, é derivada da palavra tcheca *robot*, que significa trabalhador compulsório, servo. Capek a utilizou em sua peça *Rossum's Universal Robots*, para nomear um ser mecânico que embora possuísse aparência humana, realizava com presteza tarefas repetitivas e cansativas sem expressar qualquer tipo de sentimento (COMRADA, 2010). Porém, a fascinação por seres mecânicos autômatos começou há séculos atrás. Em 1495 Leonardo da Vinci tomando por base sua pesquisa do “Homem Vitruviano” desenvolveu o primeiro andróide conhecido pela humanidade. Um cavaleiro mecânico capaz de articular a cabeça e os membros (BRAMLY, 1995). Por mais de três séculos inventores inspirados em fantasias teatrais almejavam criar seres mecânicos que pudessem repetir movimentos humanos. Somente em 1738 Jacques de Vaucanson desenvolveu o primeiro andróide com utilidade funcional da história. Um humanóide que possuía a capacidade de tocar flauta (VAUCANSON, 2009). Décadas a frente com o advento da eletricidade e a descoberta do magnetismo Nikola Tesla desenvolveu, com componentes eletro-mecânicos o primeiro robô da história, um barco com capacidade de teleoperação (CHILDRESS, 1993). Com o passar dos anos e com o avanço da tecnologia a *Westinghouse* em 1933, criou o primeiro robô dos tempos modernos. Um robô humanóide conhecido como *Elektro*. Porém, foi somente com o avanço da eletrônica analógica que o primeiro robô autônomo pode ser desenvolvido por Grey Walter em 1948.

Dentro de uma visão holística, a construção de um robô dos tempos modernos requer vastos conhecimentos sobre eletrônica, mecânica e computação. Muitos anos de pesquisa e dedicação se fazem necessários para se produzir protótipos viáveis de serem aplicados comercialmente.

O advento da microeletrônica pode ser considerado como grande responsável pelo monumental avanço no desenvolvimento de tecnologias na fabricação de robôs. A miniaturização de componentes eletrônicos proporcionou o desenvolvimento de processadores mais velozes e a criação de uma vasta gama de microcontroladores que

por sua vez alavancaram o desenvolvimento da informática atual. Juntos contribuíram para a modernização e criação de novas técnicas de aplicação da conhecida mecânica clássica, renovando-a e tornando-a mais adequada aos atuais padrões tecnológicos de exigência.

Apesar dos diversos tipos e aplicações de robôs disponíveis para utilização hoje no planeta, foi no ramo industrial que se deu início a grande demanda das últimas décadas. A maior parte dos robôs vendidos no mundo são voltados para a indústria, seja ela de transformação, têxtil, cosméticos, alimentícia e etc. Porém, estudos recentes mostram o crescente aumento na demanda de robôs domésticos, um enorme investimento em pesquisa para a aplicação de robôs nas áreas de exploração e bélica.

Não há hoje, um único instituto de tecnologia renomado, que não desenvolva ou efetue estudos no desenvolvimento de algum tipo de sistema robótico. Diversas linhas de ação vêm sendo traçadas no intuito de desenvolver aplicações que facilitem a vida do ser humano. Robôs que façam tarefas básicas de limpeza e conservação, robôs que ajudem um cego a atravessar uma rua, robôs que explorem vulcões, geleiras, profundidades abissais e o espaço sideral. Não há limites para as possibilidades de aplicação que podem ser criadas com esta nova onda de tecnologia. No entanto, muitas destas aplicações ainda continuarão por um bom tempo a povoar apenas a imaginação dos homens. Ainda será necessário trilhar um longo caminho de pesquisa e desenvolvimento de novos materiais e técnicas, que proporcionem resolver problemas robóticos do tipo locomoção, autonomia energética e um grau de inteligência razoável.

Na tentativa de solucionar estes tipos de problemas, há tempos cientistas vêm percebendo, que a melhor solução para os problemas encontrados, está na observação da natureza. Tudo que temos na natureza já vêm sendo testado e aprovado nos últimos milhões de anos. Então basta procurar o melhor modelo para cada tipo de aplicação, ou se for o caso, mesclar modelos de acordo com a necessidade. E a partir daí desenvolver os estudos de cinemática e processamento que proporcionem a criação de um modelo mecatrônico da natureza.

Ao tomar por base a evolução natural dos seres vivos para aplicações robóticas, percebeu-se que não apenas soluções para padrões de locomoção poderiam ser analisadas, como também, a forma de se raciocinar e de tomar decisão poderiam ser pareadas.

Diversos tipos controle vêm sendo desenvolvidos no intuito de proporcionar um grau de inteligência na navegação autônoma de sistemas robóticos. Conceitos

como o Deliberativo e o Reativo vêm sendo implementados com êxito em robôs exploradores desenvolvidos pela NASA. O método Deliberativo permite que um veículo robótico se desloque com base em um mapeamento pré-programado, enquanto o método Reativo proporciona que o veículo robótico reaja com o ambiente de navegação aprendendo e memorizando sua melhores soluções. Estes métodos são possíveis graças ao desenvolvimento de técnicas baseadas no comportamento humano, conhecidas como teoria comportamental. A principal característica desta teoria está no emprego de técnicas de inteligência artificial como a lógica *fuzzy* e as redes neurais artificiais (WERGER, 2003).

O desenvolvimento tecnológico da microeletrônica, acompanhado do avanço incomparável de *softwares* e linguagens de programação, coloca-nos perante a chamada "Inteligência Artificial" num estágio já muito evoluído, que permite a um computador adquirir conhecimentos da sua própria experiência. Contudo, longo é o caminho que temos a trilhar para alcançamos a desejável autonomia robótica.

Diversos estudos vêm sendo feitos no campo da robótica ao longo dos anos, o que proporcionou um grande avanço em diversas áreas, principalmente a industrial. No entanto, também gerou uma gama enorme de diversificações de aplicações e utilizações de equipamentos robóticos no dia a dia da vida moderna.

Dos sistemas robóticos comercialmente aplicados nas tarefas de hoje em dia, oitenta por cento encontram-se fazendo tarefas de repetição em ambientes industriais controlados e somente vinte por cento se desmembram nas demais aplicações. Porém, nos últimos anos têm ocorrido um significativo aumento no desenvolvimento de robôs com aplicações domésticas e de entretenimento. Mas nada se compara a crescente demanda de sistemas robóticos voltados para busca e salvamento, exploração e controle do meio ambiente.

Utilizar um robô para fazer o trabalho de um ser humano é algo desejável desde o começo da ciência. Mas das tarefas mais simples como limpar um chão de escritório, até as mais bem elaboradas como exploração espacial, exigem um grau de processamento e análise de variáveis, muito vasta e complexa.

Recursos da inteligência artificial têm conseguido bons resultados na análise de informações e tomada de decisões em sistemas computacionais robóticos. Uma das aplicações em que isto se torna notório é o da exploração espacial, onde atualmente robôs como o Curiosity com inteligência comportamental mais aprimorada encontra-se substituindo seus antecessores Spirit e Opportunity (WERGER, 2003). Os avanços nas

pesquisas de desenvolvimento de técnicas de inteligência artificial vêm proporcionando o desenvolvimento de robôs mais complexos que conseguem realizar tarefas com um grau de qualidade aceitável na substituição humana.

Estes tipos de robôs vêm sendo empregados com certo êxito, em ambientes insalubres e inóspitos, com o intuito de efetuar explorações como: espacial, vulcânica, submarina, cavernas e etc. Porém, não podemos nos ater apenas, a ambientes de permanente impossibilidade da presença humana. Por que, tão importante quanto conseguir ir além dos limites atuais conhecidos, é manter a integridade humana em ambientes já conhecidos e testados. Uma situação relativamente comum dos dias de hoje, que reúne as duas vertentes citadas é a operação em usinas nucleares que possuem um enorme número de variáveis já conhecidas e controladas, no entanto, lida com materiais de grande grau de insalubridade.

Apesar da grande diversidade robótica disponível, poucas são as usinas nucleares que utilizam robôs na substituição de tarefas que apresentem grande risco aos seus profissionais, como detecções de vazamentos, inspeções e medições rotineiras de ambientes radioativos e depósitos de rejeitos.

“Vinte e cinco anos depois de Chernobyl, ainda se apela para pilotos suicidas, dispostos a voar de helicóptero sobre um núcleo de reator exposto. E ainda se colocam homens trabalhando em ambientes altamente radioativos” (CALIFE, 2011). A Indústria nuclear atual poderia estar repleta de veículos e sistemas robóticos de alta tecnologia, proporcionando a substituição humana em diversas tarefas de alto risco. Sistemas robóticos vêm sendo pesquisados e desenvolvidos a mais de sessenta anos e neste tempo adquiriram um grau de inteligência e complexidade tão elevadas que hoje encontram-se vagando pelo espaço sideral, sendo enviados para exploração em outros planetas. Se temos a capacidade de controlar um robô a uma distância de 55.760.000 Km no espaço, como é o caso dos robôs exploradores em Marte, podemos perfeitamente utilizá-los aqui mesmo na Terra.

Atualmente uma agência chamada *INTRA (d'INTervention Robotique sur Accidents)* ou Grupo de Intervenção Robótica sobre Acidentes Nucleares, que utiliza-se de diversos tipos de robôs como o *ERASE (Engin de Reconnaissance Assistance Surveillance extérieure)*, que possui a capacidade de trafegar em ambientes radioativos levando sensores, instrumentos e câmeras. O grupo francês é subordinado ao *CEA (Commission de l'énergie atomique)* (CALIFE, 2011).

Fatos recentes levaram a utilização de robôs na usina nuclear de Fukushima no Japão, na tarefa árdua de detecção de níveis de radiação e filmagens para análise estrutural da usina. Foram utilizados robôs desenvolvidos pela NASA para aplicações em exploração espacial, que a priori corresponderam às expectativas de realizar tarefas de detecção radiológica e filmagem. Vale ressaltar, que aquisição de um robô desta complexidade seria economicamente inviável para uma usina nuclear, além do que para um caso de uma exposição permanente a alta radiação do núcleo do reator, circuitos eletro-eletrônicos teriam que ser revistos e reduzidos para evitar futuros problemas causados pela influência da radiação nos diversos materiais utilizados em robótica.

Esta dissertação propõe o projeto e desenvolvimento de um robô com controle *mobile*, assistido por IA (Inteligência Artificial) e com características estruturais multiterreno, para aplicação diária em detecção e inspeção nuclear, tanto em usinas de geração de energia, como também em fábricas de materiais radioativos, depósitos de rejeitos e nos casos extremos de vazamento radiológico. É um sistema robótico de baixo custo relativo, que leva em consideração diversos critérios e variáveis relacionadas ao ambiente nuclear. Seu desenvolvimento primou pelo emprego de materiais e componentes com baixa ou nenhuma sensibilidade à radiação, a modularização e blindagem de sistemas mais sensíveis. Sua capacidade *mobile* de transmissão e recepção de dados e imagens em tempo real permite uma teleoperação (Rede mundial de celular) a distâncias extremamente seguras. Proporciona também, o envio de dados de detecção por sensores, de coordenadas de posicionamento e mapeamento (*GPS*) e capacidade de processamento necessária ao desenvolvimento de aplicativos. Todas estas características, aliadas a um operação simples e de fácil aprendizado, torna este projeto uma opção significativa na solução de tomada de decisão em todos os tipos de eventos relacionados à engenharia de segurança nuclear.

Um ambiente normal de uma usina nuclear requer algumas reparações e manutenções regulares que envolvem riscos de irradiação e contaminação dos trabalhadores. A contaminação é considerada um acidente, um fenômeno que pode ser evitado, mas a irradiação é um fenômeno contínuo que afeta e influencia o operador na área de trabalho. Para a segurança do trabalhador em plantas nucleares, todos os países têm leis e normas que estabelecem o máximo da dose aceita por ano para cada trabalhador. Este tipo de situação diária que exige profissionais bem especializados e em constante treinamento, uma vasta gama de equipamentos de proteção individual,

diversos sistemas e equipamentos que envolvem a segurança coletiva do ambiente de trabalho, certamente acarretam um custo indireto significante para empresa.

A utilização de robô de inspeção e detecção, não só diminuiria em muito os custos indiretos, como também seria um aumento da proteção individual, evitando a exposição humana à irradiação desnecessária ou prolongada e contribuindo para diminuição da estatística de contaminação direta e indireta da empresa.

Além de atuar como um agente detector de radiação de emprego pontual, o sistema robótico proposto pode ser utilizado como uma ferramenta remota do sistema de supervisório das usinas nucleares, uma vez que sua configuração permite a utilização de diversos tipos de sensores, tais como: temperatura, umidade, velocidade e direção do vento entre outros. Podendo ser uma opção de sensoriamento em áreas de pouca ou nenhuma supervisão, como também um reforço na visualização de pontos cegos de depósitos de rejeitos.

O robô possui uma estrutura desenvolvida para se deslocar em ambientes diversos. Sua grande mobilidade provém de uma plataforma sobre rodas 6x6, com suspensões independentes e um sistema de correção de centro de massa, baseado em IA (Inteligência Artificial), que lhe proporciona não só ser empregado em ambientes internos, como também em terrenos acidentados. O grau de assistência inteligente deste sistema robótico minimiza as limitações de uma operação à distância, reduzindo a possibilidade de acidentes de operação. Podendo ser expandido, para um sistema autônomo de detecção que atuaria no momento de ausência do sinal *mobile* e retornaria ao controle manual no instante do restabelecimento do sinal.

Toda comunicação (dados de controle, vídeo, posicionamento e sensores) é feita por um sistema *mobile*, que não só proporciona todas as vantagens acima descritas, como também, possibilita que o equipamento de telecontrole do operador varie desde um simples aparelho celular até um *Tablet PC*. Qualquer dispositivo que possua conexão com a rede móvel celular ou uma conexão de Internet banda larga pode ser utilizado, seja através de Internet móvel, fixa ou por uma rede *WIFI*. O robô também possui a opção de adotar um controle remoto através de um conjunto rádio transmissor, porém não foi implementado por restrições de alcance.

A utilização de um sistema robótico *mobile* para fins de detecção nuclear, sua mobilidade, versatilidade, robustez e todas as características e vantagens citadas neste capítulo, tornam este projeto único, inovador e viável de ser implementado. Fazendo com que seu emprego prático vá além das detecções e levantamentos de medições

triviais. Podendo em casos extremos de evacuação, ser empregado como agente observador e ajudar na análise da dispersão da radiação.

Esse documento foi estruturado da seguinte forma:

O Capítulo 2 faz uma revisão metodológica de aspectos que envolvem a robótica e a Inteligência Artificial, utilizadas nesse trabalho.

O Capítulo 3 detalha a base de desenvolvimento deste projeto, com o escopo voltado para as etapas de planejamento dentro do ambiente de aplicação.

O Capítulo 4 apresenta as soluções e o desenvolvimento de implementações para o controle *mobile* do robô, analisa o funcionamento através de uma visão técnica do hardware e firmware do sistema de controle.

O Capítulo 5 apresenta a solução para o sistema de correção Inteligente do centro de gravidade do robô, detalha o raciocínio da lógica de controle *fuzzy* empregada e o desenvolvimento do firmware de controle.

O Capítulo 6 descreve os diferentes tipos de classificação em teleoperação e suas possíveis interações homem-máquina e justifica a escolha do sistema *mobile* como plataforma de controle do sistema robótico de detecção.

O Capítulo 7 descreve a confecção do protótipo e apresenta os resultados dos testes e simulações realizados, a fim de verificar as funcionalidades e a viabilidade do modelo.

O Capítulo 8 discute sobre os resultados obtidos e sobre as contribuições do trabalho, bem como apresenta sugestões para continuação do mesmo.

Capítulo 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O objetivo deste capítulo é apresentar a fundamentação teórica necessária para o entendimento dos principais conceitos abordados no desenvolvimento desta dissertação. Tendo em vista a grande variedade de áreas abordadas neste projeto, este capítulo foi dividido em dois tópicos principais que aportam temas relativos à Robótica e a Inteligência Artificial.

2.1 Robótica e automação

A robótica é uma área da engenharia que engloba diferentes tópicos de conhecimentos da mecânica, da eletrônica e da computação. Na mecânica são levados em consideração os estudos de dimensionamento estrutural, cálculo de engrenagens, resistência de materiais, entre outros. A eletrônica utilizada na robótica reúne conhecimentos da eletrônica analógica, digital, processadores e microcontroladores. Em computação, engloba-se diferentes tópicos que podem variar desde a programação de rotinas de funcionamento até o desenvolvimento de técnicas de inteligência artificial. A escolha adequada do tipo de controle de funcionamento irá determinar a escolha do *software* adequado em relação ao *hardware* desenvolvido para o sistema robótico. Muitas das vezes, por limitação de *hardware* ou por não haver tecnologia atual suficiente para a implementação de certos modelos de desenvolvimento, alguns robôs são construídos apenas dentro de um ambiente de simulação computacional.

Os conceitos interdisciplinares empregados no desenvolvimento de um robô visam à resolução de problemas como: cinemática, dinâmica, controle, odometria, mapeamento, heurísticas, autonomia e sensoriamento. Estes conceitos são estudados em disciplinas acadêmicas como: Eletrônica avançada, Robótica Industrial, Telerobótica, Sensores e detectores, Interação Homem-máquina, Computação avançada, Sistemas inteligentes, Engenharia de software, Cinemática Robótica, Elementos de máquinas e Resistência de materiais.

A robótica atual disponibiliza uma gama enorme de aplicações para a sociedade, a mais conhecida e utilizada em maior quantidade é a aplicação industrial, no entanto

podem ser empregados em diversas outras finalidades como no entretenimento, exploração, educação, entre outras. Algumas destas e outras aplicações serão descritas no transcorrer deste capítulo.

Os objetivos reais, atualmente aplicáveis da tecnologia robótica, podem ser resumidos como (SILVEIRA, 2008):

- Otimização da produção industrial em consequência da redução de tempo e aumento de velocidade dos processos produtivos;
- Aumento do rendimento de máquinas e ferramentas Industriais através de alimentação robotizada;
- Aumento na eficiência da logística de distribuição e entrega de produtos;
- Realização de trabalhos repetitivos, cansativos e tediosos;
- Execução de tarefas em ambientes perigosos e hostis (ambientes com elevadas temperaturas e presença de materiais tóxicos, inflamáveis e radioativos);
- Localização de vítimas em situações de catástrofes naturais, como terremotos, soterramentos e enchentes;
- Utilização militar, como desarmamento de bombas e minas.

Os objetivos ideais, almejados pela comunidade de pesquisa, vão muito além dos aplicáveis na atual conjuntura tecnológica, pois necessitam o desenvolvimento da capacidade de um sistema robótico de se auto manter, realizar trabalhos em equipe e de se adaptar a ambientes completamente desconhecidos (SILVEIRA, 2008).

São eles:

- Criação de um ciclo Industrial autônomo, partindo de uma inteligência de tomada de decisão em projetos, passando pela fabricação até a entrega do produto final;
- Veículos terrestres, aéreos e marítimos completamente autônomos, para a completa substituição humana na operação dos sistemas de transporte;
- Robôs Humanóides para realização de tarefas domésticas;

- Andróides com elevada resistência física e inteligência comportamental quase humana, para emprego em operações de salvamento de diversos tipos;
- Robôs cirurgiões, para realização de intervenções de altíssima precisão;
- Robôs exploradores capazes de explorar profundidades abissais, interiores de vulcões e principalmente planetas distantes;

As características estruturais básicas de um robô variam de acordo com o seu tipo, modelo e a aplicação pretendida. No entanto pode-se observar que diversos conceitos básicos de funcionamento seguem a mesma padronização, assim como seus tipos de juntas, elos e grau de liberdade.

Um manipulador robótico (Braço robótico) é tipicamente constituído por elos e juntas que são geralmente associados ao espaço físico cartesiano através de um posicionamento por coordenadas(x, y, z). Outra parte de importância significativa é o punho, utilizado para mover no espaço dimensional (, ,) a ferramenta de aplicação do sistema conhecida como *end-effector*. (SCHILLING, 1990). Efeitos de cruzamento costumam ser muito freqüentes e são basicamente causados pelo fato da posição do braço robótico afetar diretamente a orientação, assim como o punho afeta a posição cartesiana do sistema. Um manipulador é trivialmente constituído por elos (*links*) que são as partes rígidas do sistema, ligadas entre si através juntas (*joints*).

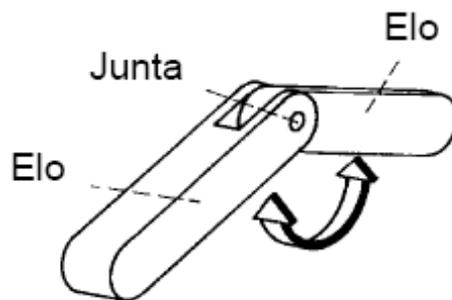


Figura 2.1 Elos e juntas de um manipulador

Fonte: SENAI-SP, 2003

As juntas são essencialmente de dois grandes tipos:

- As prismáticas (P) que possibilitam um deslocamento linear no movimento dos elos;

- As rotacionais (R) que possibilitam um deslocamento rotacional no movimento relativo dos elos;

Uma combinação de três juntas rotacionais com o mesmo ponto de rotação pode criar um movimento rotacional multidirecional designado de junta esférica (S) (FU, 1987).

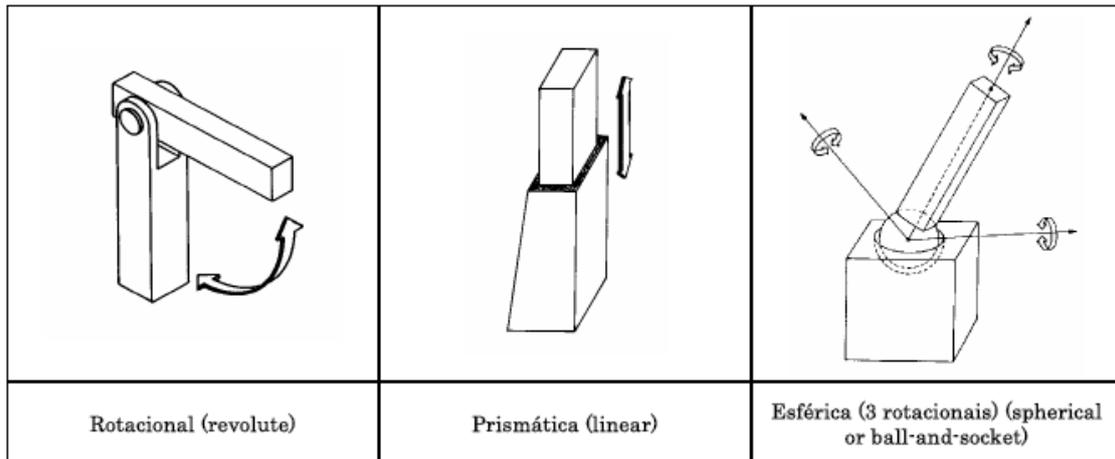


Figura 2.2 Tipos de juntas
Fonte: SANTOS, 2003

Os manipuladores robóticos em sua grande maioria possuem suas juntas divididas em:

- Juntas principais;
- Juntas secundárias ou juntas do punho.

Graus de liberdade ou *DOF* (*degrees-of-freedom*) como são comumente conhecidos, representam o número de movimentos independentes que um certo sistema ou dispositivo robótico consegue executar. O grau de mobilidade representa a quantidade de movimentos que se consegue alcançar em decorrência do posicionamento resultante dos graus de liberdade (SCIAVICCO, 1996).

Exemplos de graus de liberdade para execução de uma tarefa de apanhamento de objetos:

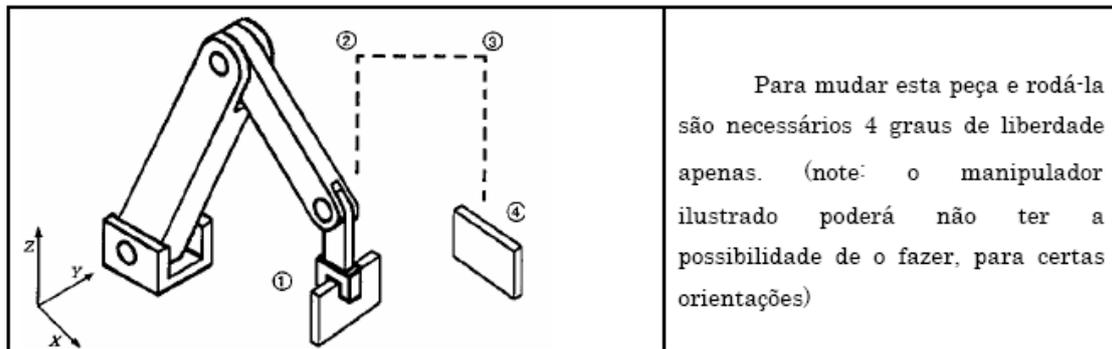


Figura 2.3 Graus de liberdade necessários para primeira movimentação

Fonte: SANTOS, 2003

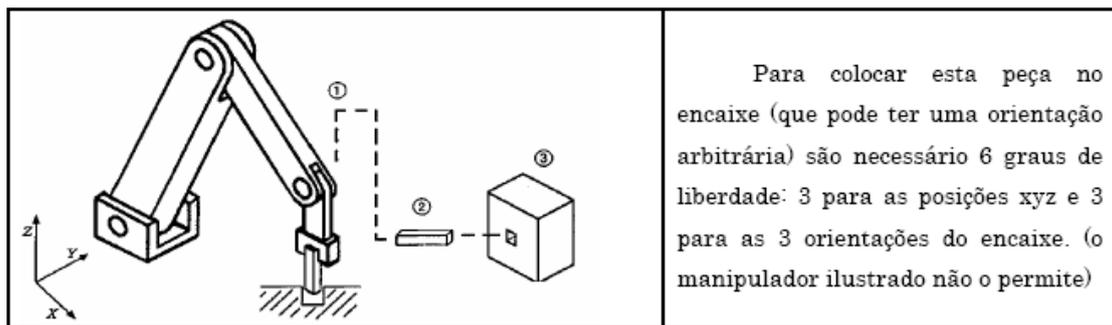


Figura 2.4 Graus de liberdade necessários para segunda movimentação

Fonte: SANTOS, 2003

Para gerenciar o funcionamento de um sistema robótico, faz-se necessário um equipamento eletrônico sofisticado de controle que possua a capacidade de processamento suficiente para realizar cálculos matemáticos de correção posicional de elos e juntas.

Muitos braços robóticos são controlados por CLPs (Controladores Lógicos Programáveis), por computadores industriais ou também através de sistemas de controles dedicados desenvolvidos com base em microcontroladores pelos diversos fabricantes de equipamento robóticos.

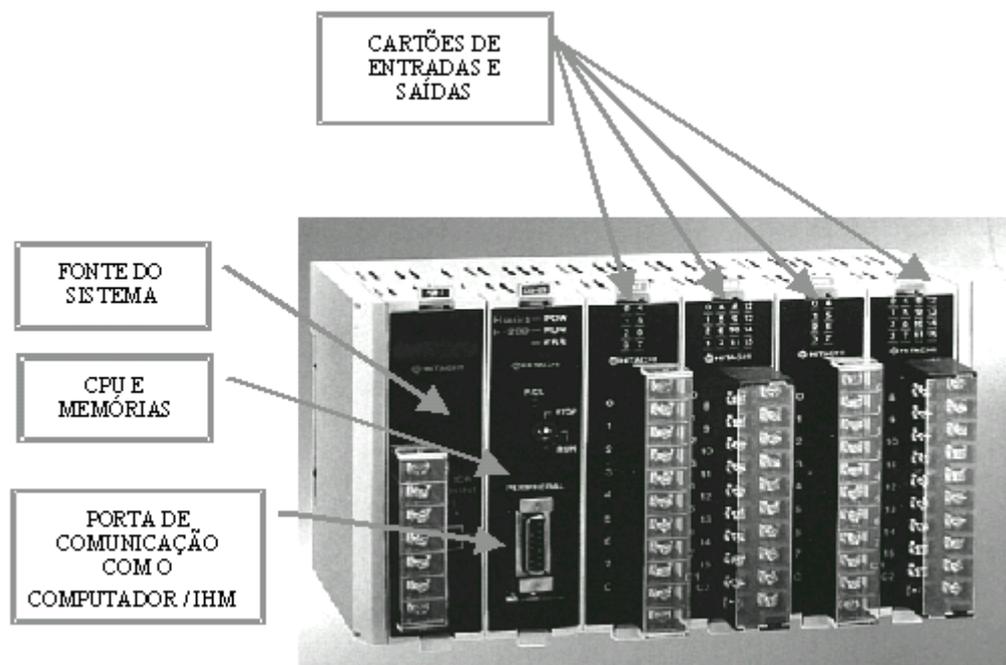


Figura 2.5 Controlador Lógico Programável

Fonte: BOLTON, 1995

A dinâmica de funcionamento de um braço robótico está diretamente ligada a sua programação funcional. Toda a cinemática de controle posicional é feita através de cálculos de um sistema de coordenadas de elos e juntas.

O estudo das relações entre as velocidades, posições, e acelerações dos elos de um robô é denominado de cinemática. A cinemática direta utiliza a informação do posicionamento das juntas para localizar a posição do manipulador. Já a cinemática inversa utiliza-se da posição do manipulador para determinar a posição das juntas do robô (SCIAVICCO, 1996).

A implementação da cinemática direta de um manipulador requer a determinação das funções que representem um ponto no espaço cartesiano em relação à posição espacial das juntas de um robô.

Os passos ou algoritmo para definir esta relação são os seguintes (SANTOS, 2003):

- Mover o robô para posição inicial (posição zero de todos os elos);
- Conceder a cada elo um sistema de coordenadas;
- Identificar as relações dos movimentos resultantes entre as variáveis das juntas e dos elos;
- Delimitar para todos os elos suas respectivas matrizes de transformação;

- Fazer a aquisição das coordenadas de posicionamento do manipulador;
- Fazer a aquisição das coordenadas de orientação do manipulador.

A utilização da cinemática inversa em problemas muito complexos que ainda não foram estudados, torna-se muito complicada uma vez que muitas destas aplicações não são problemas com solução analítica, em alguns casos podem até nem ter solução. No entanto, as soluções de uso mais freqüente e as mais importantes já foram todas bem estudadas e possuem seus cálculos com soluções bem definidas (SANTOS, 2003).

Muitos métodos alternativos vêm se destacando por facilitarem a utilização da cinemática inversa para manipuladores robóticos com muitos graus de liberdade, como:

- Transformações inversas (PAUL *et al.*, 1981);
- Matrizes duais (DENAVID, 1956);
- *Quaternions duais* (YOUNG e FREUDENSTEIN, 1964);
- Métodos iterativos (VICKER *et al.*, 1964);
- Abordagens geométricas (LEE e ZIEGLER, 1984).

Atualmente, toda a estrutura de processamento (cinemática de controle, programação funcional, etc) que os robôs mais complexos dispõem, proporcionam que uma pessoa faça uma modificação em seu código de programação e o reinicie, em caso de uma execução não satisfatória de uma função pré-programada. O que se espera conseguir com o auxílio da inteligência artificial é tornar os robôs mais independentes e capazes de ajustar sua própria programação (WERGER, 2003).

Técnicas como a lógica fuzzy e as redes neurais vêm sendo implementadas com muito sucesso no intuito de possibilitar que um robô adapte sua programação a execução de um certo tipo de tarefa não programada previamente. Apesar das duas técnicas serem baseadas em teoria comportamental possuem enfoques bastante distintos. A Lógica *fuzzy* proporciona uma tomada de decisão gerada a partir da utilização de um conjunto de conhecimentos previamente programado que não evolui. Utiliza-se de expressões linguísticas ao invés de expressões matemáticas no intuito de aproximar-se do raciocínio humano. A técnica de utilização de Rede Neural proporciona que um sistema robótico aprenda com sua experiência para poder superar situações ou eventos não programados. Esta técnica tenta imitar a forma de aprendizagem do cérebro humano

a partir do seu nascimento, aprendendo através de tentativas e exemplos ao longo do tempo.

Quanto ao tipo de sistema de controle podemos ter o “deliberativo” (controle clássico) ou “reativo” (controle comportamental), ambos necessitam das informações produzidas através de dispositivos sensoriais capazes de identificar variáveis como: velocidade, posição relativa, aceleração, entre outras.

Uma enorme infinidade de sensores pode ser aplicada nos tipos mais variados de sistemas robóticos já desenvolvidos. Sejam fixos ou móveis, sob rodas, pernas ou esteiras, a eletrônica embarcada quase sempre permitirá o emprego de sensores.

Os sensores robóticos não só encontram-se presentes com o intuito de realizar detecções do ambiente a que se destinam, como também, para tornar possível o próprio funcionamento do sistema. Pois vale ressaltar, que todo sistema robótico precisa se deslocar e para isso precisa saber sua velocidade, em que direção esta indo, se existe obstáculo em sua trajetória, se for um braço robótico precisará saber a posição de suas juntas e elos no espaço tridimensional (SILVEIRA, 2008). Logo, pode-se perceber que qualquer sistema robótico, independente de poder realizar medições de variáveis externas ou detecções de qualquer forma, ainda sim possui uma vasta gama de sensores responsáveis por seu perfeito funcionamento.

Os sensores mais comuns de serem encontrados em unidades robóticas para fim de detecção de variáveis externas são:

- Sensor de temperatura;
- Sensor de umidade;
- Sensor de altitude;
- Sensor de profundidade;
- Sensor de velocidade do vento;
- Sensor de direção do vento;
- Sensor de radiação;
- Sensor por imagem;
- Sensor de áudio;

Os sensores mais comuns utilizados para o funcionamento interno dos sistemas robóticos são:

- Sensor de proximidade;
- Sensor de rotação;
- Sensor de inclinação;
- Sensor de posição.

Estas três últimas variáveis citadas são de fundamental importância para o deslocamento e atuação de qualquer unidade robótica. A todo instante é preciso atualizar a posição e sentido de rotação dos eixos de braços robóticos e de motores de tração dos sistemas.

Diversos tipos de sensores podem ser empregados com a finalidade de mensurar estas variáveis e transmitir informações úteis ao sistema de controle robótico.

Sensores de proximidade – Fornecem medidas de distâncias de objetos e obstáculos durante trajetórias.

- Foto-elétricos;
- Ultra-som;
- Radares;

Sensores de rotação – Fornecem a posição angular, a velocidade e o sentido de rotação de eixos.

- Tacogeradores;
- *Syncro Motors*;
- *Resolver*;
- *Incoders*;
- Potenciômetros;
- Régua resistivas;

Sensor de inclinação – Fornecem o ângulo de inclinação que a estrutura do robô faz em relação ao solo, por exemplo.

- Inclinômetros;
- Níveis de mercúrio;
- Giroscópios;
- Variadores resistivos pendulares.

Sensor de posição – Fornecer com exatidão e eficiência a posição do robô no ambiente de operação. Ex: *GPS (Global Position System)*

Tanto os sensores utilizados para o funcionamento interno dos sistemas robóticos, quanto os utilizados para supervisão externo de variáveis, são largamente empregados na robótica. A aplicação dos sensores depende diretamente do tipo de construção do robô e de sua destinação de aplicação.

De uma forma geral, os robôs podem ser classificados quanto a sua aplicação de construção, em dois tipos distintos:

- Robôs Industriais
- Robôs não Industriais.

Os diversos modelos e formas, suas aplicações e limitações de movimentos, principalmente em ambientes industriais, fazem com que sejam divididos em dois tipos básicos (SENAI, 2003):

Robô Fixo: Geralmente conhecido como Braço Robótico é composto por uma base fixa e um conjunto de elos e juntas que lhe conferem movimentos em várias direções. Por ser muito empregado em aplicações industriais tornou-se o tipo mais comum de robô.

Robô Móvel: Normalmente chamado de veículo robótico, pode se apresentar de diversas formas e modelos distintos. Geralmente possuem um certo grau de assistência inteligente para a locomoção ou para o controle do sistema, como os:

AGV (Automatically Guided Vehicle) Veículo Guiado Automaticamente, são em geral terrestres sobre rodas, pernas ou lagartas;

UAV (Unmanned Aerial Vehicles) veículos aéreos não tripulados, são geralmente aeronaves e helicópteros sem pilotos;

AUV (Autonomous Underwater Vehicles) veículos submarinos autônomos, são submarinos inteligentes sem tripulação;

ROV (Remotely Operated Vehicle) veículos operados remotamente, são em geral submarinos robôs com transmissão de controle por cabo umbilical.

Os robôs industriais possuem um espaço de movimentação limitado para a utilização dos manipuladores. Esta delimitação de região em que o sistema robótico pode se posicionar e fazer uso de sua ferramenta (*end-effector*) é conhecida como espaço ou volume de trabalho.

Os tipos diferenciados de estruturas cinemáticas e de espaços de trabalho possibilitam a classificação dos braços robóticos segundo (GROOVER, 1989) em cinco categorias conforme descrito e ilustrado a seguir:

- Cartesiana (PPP)
- Cilíndrica (RPP)
- Esférica (RRP)
- Articulado horizontal (RRP)
- Articulado vertical (RRR)

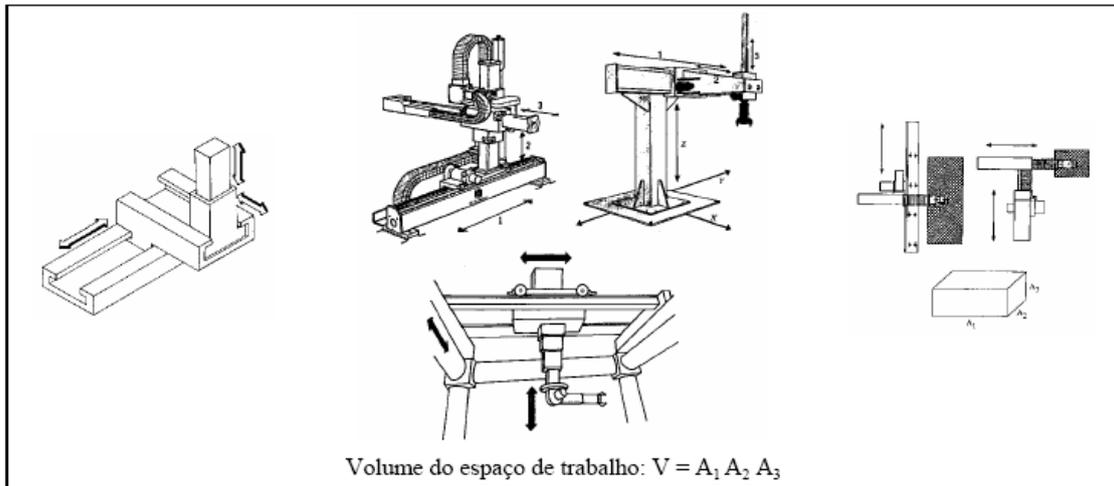


Figura 2.6 Cartesiano (PPP)

Fonte: SANTOS, 2003

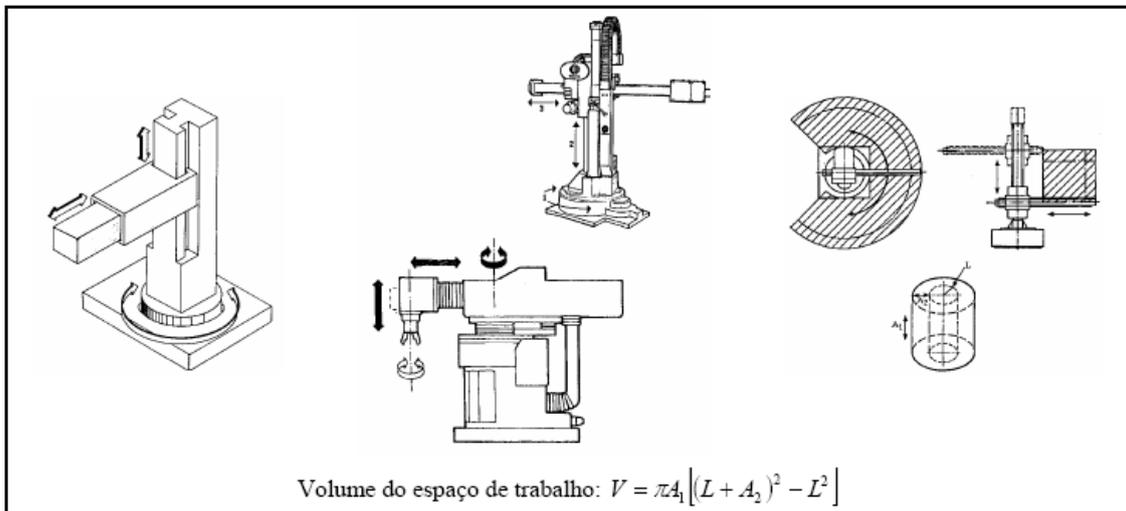


Figura 2.7 Cilíndrico (RPP)

Fonte: SANTOS, 2003

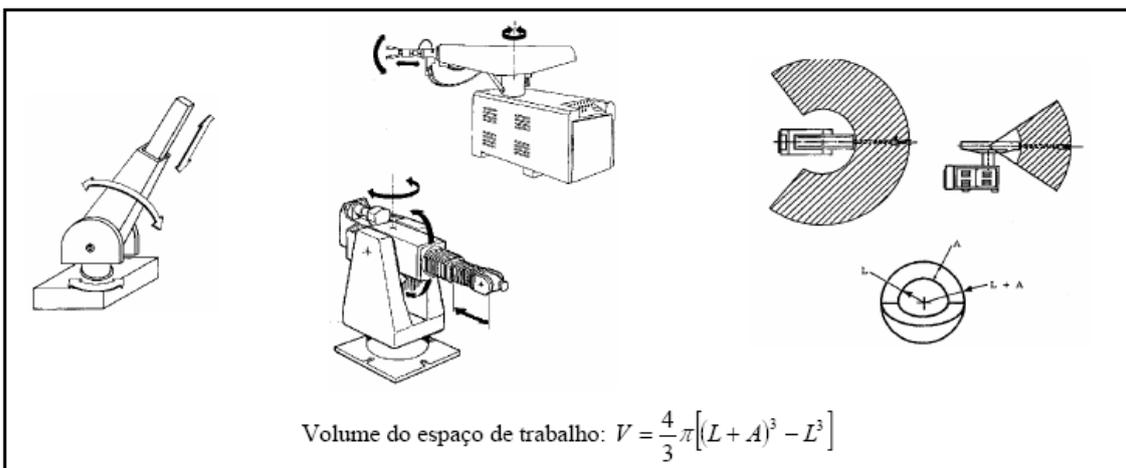


Figura 2.8 Articulado horizontal ou SCARA (RRP)

Fonte: SANTOS, 2003

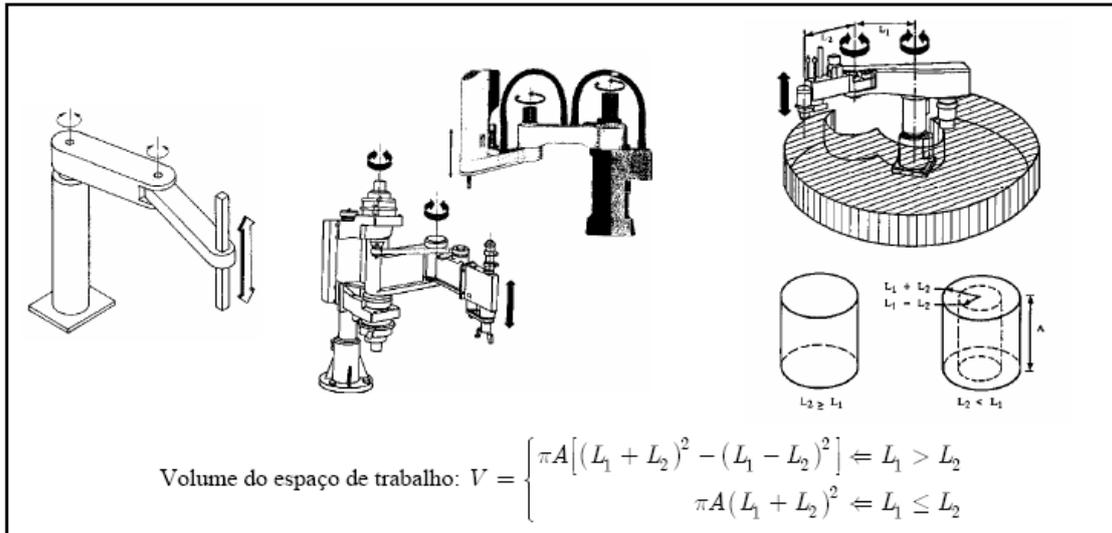


Figura 2.9 Articulado vertical ou antropomórfico (RRR)

Fonte: SANTOS, 2003

Para fins de comparação dos volumes de trabalho dos braços robóticos, definiram-se valores literários as juntas prismáticas. Padronizou-se que as juntas prismáticas possuem comprimentos e deslocamentos iguais e que são respectivamente representadas por L e A. As juntas rotacionais por definição possuem rotação completa de 360° (SANTOS, 2003). Dessa forma podem-se gerar as seguintes comparações volumétricas descritas na tabela 2.1.

Cartesiano	$V = L^3$
Cilíndrico	$V = 3\pi L^3$
Esférico	$V = \frac{28}{3} \pi L^3$
Articulado Horizontal	$V = 4\pi L^3$
Articulado Vertical	$\frac{32}{3} \pi L^3$

Tabela 2.1 Volumes de trabalho das diversas categorias de robôs

Fonte: SANTOS, 2003

Os robôs não industriais diferente dos robôs industriais, não são divididos por seus volumes de trabalho e nem por sua mobilidade. Basicamente estão separados por sua área de atuação e são compreendidos em: domésticos, agricultura, pecuária, entretenimento, antropomórficos, busca e salvamento, exploração, militares, segurança, zonas de risco. Abaixo encontram-se descritas e ilustradas algumas destas aplicações.

Robô doméstico: Executam basicamente funções de limpeza e conservação, como: varrer, aspirar e cortar grama;



Figura 2.10 fotos de robôs de emprego doméstico

Fonte: SOUZA, 2007

Robô de agricultura: Ou AgriRobô como também é conhecido, executa tarefas em plantações e estufas, atuando como cortador de relva indesejada, colheitadeira, irrigadores etc;



Figura 2.11 fotos de robôs de emprego agrícola

Fonte: SOUZA, 2007

Robô de pecuária: Ou AgroRobô como também é conhecido, muito comum em sistemas de ordenha e de alimentação controlada de animais para abate;



Figura 2.12 fotos de robôs de emprego agropecuário

Fonte: SOUZA, 2007

Robô de entretenimento: São muito comuns hoje em dia, cães, gatos e seres de ficção ganharem formas em brinquedos robóticos;



Figura 2.13 fotos de robôs de emprego em entretenimento

Fonte: SOUZA, 2007

Robô de busca e salvamento: É muito comum serem empregados por grupos de resgate especializado e bombeiros, na localização de vítimas de desabamento e salvamento aéreo, terrestre e marítimo;



Figura 2.14 fotos de robôs empregados em busca e salvamento

Fonte: SOUZA, 2007

Robô de segurança: Fazem observações aéreas e terrestres, identificam pessoas animais e objetos de diversas formas;



Figura 2.15 fotos de robôs empregados em segurança

Fonte: SOUZA, 2007

Robôs militar: Empregados em desarmamento de bombas, localização de inimigos e operações de incursões e combate;



Figura 2.16 fotos de robôs de emprego militar

Fonte: SOUZA, 2007

Robô de zona de risco: Fazem manipulações em materiais de risco como: radioativos, ácidos, etc. Atuam em ambientes insalubres e de altas temperaturas;



Figura 2.17 fotos de robôs empregados em zonas de risco

Fonte: SOUZA, 2007

Hoje diversos tipos de robôs vêm sendo desenvolvidos para aplicações cada vez mais variadas. O contínuo avanço da tecnologia vêm proporcionando a criação de sistemas robóticos cada vez mais avançados, dentro em breve os robôs estarão convivendo com os seres humanos em seus ambientes de trabalho, em suas residências de uma forma cada vez mais autônoma e independente. No entanto isto não significa que os robôs vão adquirir consciência ou mesmo a capacidade de raciocínio humana. Mas segundo Dr. Barry Werger, do Laboratório de propulsão a jato da NASA “... imitando técnicas humanas, poderá ser mais fácil comunicar-se com eles, eles poderão ser mais independentes e, finalmente, mais eficientes” (WERGER, 2003)

2.2 Aspectos da inteligência artificial

A definição de Inteligência Artificial (IA) a primeiro momento, pode parecer uma tarefa simples e de analogia direta a escrita do nome. Porém, torna-se difícil citar de uma forma acadêmica, tendo em vista o fato de não haver um senso comum entre seus estudiosos. No entanto uma definição que parece delimitar bem o conceito de IA é: Capacidade de um dispositivo em simular a aptidão humana de raciocinar, perceber, aprender, tomar decisões e resolver problemas.

A Lógica *fuzzy* e os Sistemas Especialistas apresentam-se como duas, das várias vertentes da Inteligência Artificial, que se destacam na busca por soluções de problemas complexos, através da inteligência na aproximação de soluções (RUSSELL, 1995).

A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, publicada em 1965 por Lotfi A. Zadeh, trouxe pela primeira vez o termo “lógica *fuzzy*” para o meio acadêmico (MALUTTA, 2004). Sua tradução da língua inglesa nos traz um significado de algo vago, indefinido ou incerto. No entanto na língua portuguesa os nomes nebulosa ou difusa são os que melhor definem esta lógica de incertezas (SHAW, 2002).

É uma lógica que trabalha com incertezas, aproximações de dados e utiliza-se de variáveis lingüísticas para determinações de regras que possibilitem a interpretação de eventos para geração de soluções aproximadas (STURM, 2005).

A comparação da lógica *fuzzy* com a lógica clássica, nos mostra que apesar de ser imprecisa, proporciona a descrição de fatos ou eventos com muito mais riqueza de detalhes e graduação que a lógica tradicional, possibilitando uma maior coerência com a realidade e reduzindo a perda de informações (MALUTTA, 2004).

2.2.1 Teoria *fuzzy*

O conjunto *fuzzy* diferentemente do conjunto clássico tradicional é um conjunto sem fronteiras definidas, ou seja, não há um critério de pertencimento exclusivo a um grupo ou a outro (ex.: sim e não; tem e não tem; 0 ou 1) e sim um critério de graduação de pertencimento caracterizado por funções de pertinência. Estes tipos funções proporcionam uma modelagem com base em expressões lingüísticas, que nos dão a facilidade de discriminar eventos de uma forma instintiva e direta, tal como: muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo. A função de pertencimento nos dá o grau de

pertinência de um elemento em relação ao conjunto. Quanto mais próximo de 1 for maior será sua compatibilidade com o conjunto.

A função de pertinência μ_A que assume valores em um intervalo $[0,1]$ definida no universo de discurso X é dada por:

$$A = \{(x, \mu_A(x)), \quad x \in X\} \text{ ou } \mu_A(x): X \rightarrow [0, 1] \quad [2.1]$$

As operações básicas realizadas com conjuntos *fuzzy* como união, interseção e complementação seguem as mesmas aplicações definidas para os conjuntos lógicos clássicos, assim como as propriedades algébricas de conjuntos ordinários.

Com a utilização de normas triangulares e co-normas triangulares para a representação de operadores mínimo (norma-t) e máximo (norma-s), têm-se a seguinte representação de união e interseção *fuzzy* segundo (PEDRYCZ, 1989):

$$\text{Uni\~ao:} \quad C = A \cup B \quad \mu_C(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad [2.2]$$

$$\text{Interse\~ao:} \quad C = A \cap B \quad \mu_C(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad [2.3]$$

Para uma operação de complementação onde o conjunto *fuzzy* C é o complemento do conjunto *fuzzy* A , temos:

$$\text{Complementa\~ao:} \quad C = 1 - A \quad \mu_C(x) = 1 - \mu_A(x) \quad [2.4]$$

As propriedades algébricas também podem ser utilizadas para operações com conjuntos *fuzzy*, como por exemplo:

$$\text{Associa\~ao:} \quad (A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C) \text{ e } (A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$$

$$\text{Comuta\~ao:} \quad A \cap B = B \cap A \text{ e } A \cup B = B \cup A$$

$$\text{Distribui\~ao:} \quad A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$$

$$\text{Involu\~ao:} \quad (A')' = A$$

Essas e outras operações básicas envolvendo conjuntos *fuzzy*, assim como suas propriedades, estão melhor detalhadas em (PEDRYCZ, 1989, PASSINO e YURKOVICH, 1998 e NICOLETTI, 1999).

As regras *fuzzy* de implicação são declarações condicionais que servem para expressar o conceito de premissa e consequência. São geralmente representados pelos operadores SE e ENTÃO, e utilizados para o desenvolvimento de regras de implicações baseadas em expressões lingüísticas utilizadas corriqueiramente, como:

Matematicamente: SE $x = A$ ENTÃO $Y = B$

Linguisticamente: SE Temperatura Quente ENTÃO Ventilação Forte

O conceito de funcionamento de um sistema de controle *fuzzy* pode ser resumido na utilização das seguintes etapas básicas, são elas:

- Fuzzyficação;
- Inferência por base de regras *fuzzy*;
- Defuzzyficação;

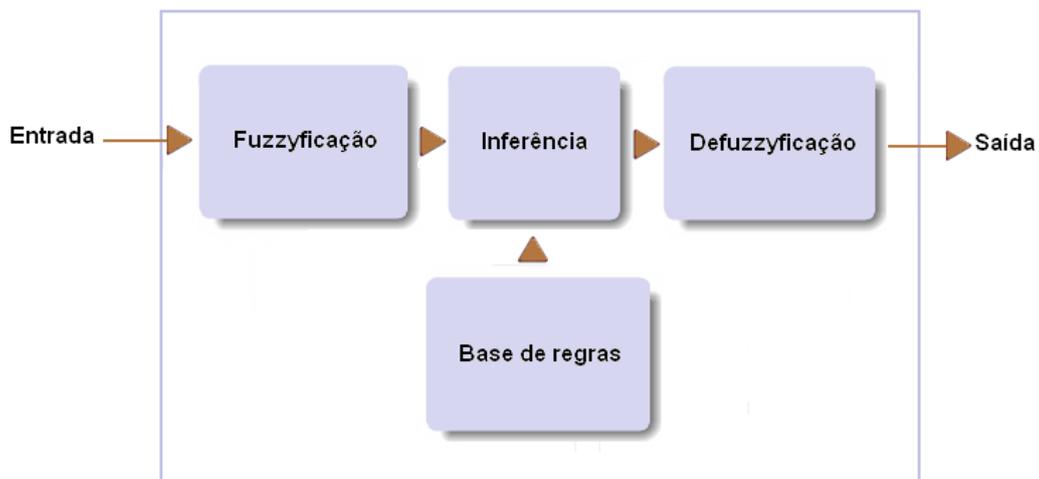


Figura 2.18 Esquema básico de raciocínio *fuzzy*

Fonte: Autor

Fuzzificação \Rightarrow É a primeira etapa do processo, responsável por mapear os valores de entrada de um domínio discreto (Crisp) para um domínio *fuzzy*, ou seja, consiste em transformar um dado numérico de entrada em um termo que consiga expressar o seu significado através de uma forma lingüística. Nesta etapa também são definidas as funções de pertinência aplicáveis as variáveis de entrada, como ilustrado na figura.

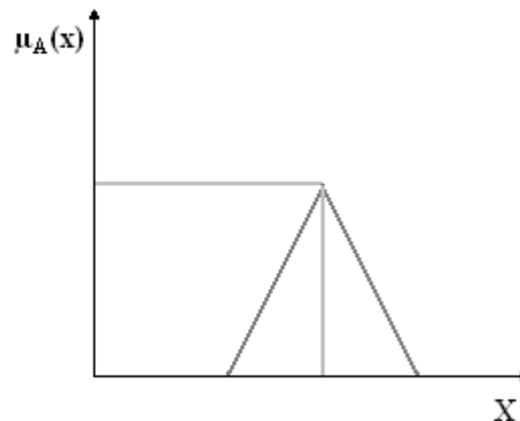


Figura 2.19 Processo de fuzzificação do raciocínio *fuzzy*
Fonte: Autor

Inferência \Rightarrow É a etapa através da qual é feita a tomada de decisão do processo. Nela as informações de entrada já fuzzyficadas são confrontadas com uma base de regras previamente estabelecida. Estas regras são desenvolvidas através da utilização de operadores de implicação (SE-ENTÃO) obedecendo ao conceito de premissa e consequência. De acordo como grau de pertinência de cada entrada o resultado mapeará um conjunto solução diferente. Mais detalhes em (NICOLETTI,1999).

Defuzzificação \Rightarrow A defuzzificação é responsável por quantificar o resultado *fuzzy* designado pela etapa de inferência, ou seja, faz o caminho inverso da fuzzificação, transformando uma solução dada em conjuntos *fuzzy* em um dado numérico de saída. Para isso faz-se necessário escolher o tipo de método de defuzzificação que melhor se adéque ao seu controle *fuzzy*.

Os métodos de “defuzzificação” mais utilizados segundo (PASSINO e YURKOVICH, 1998) são:

- Primeiro Máximo (*SOM*): Onde o valor de saída é encontrado através do ponto em que o grau de pertinência da distribuição da ação de controle atinge o primeiro valor máximo.
- Método da Média dos Máximos (*MOM*): Onde o valor de saída é encontrado através do ponto médio entre os valores que têm o maior grau de pertinência inferido pelas regras. A figura 2.20 traz a ilustração deste método.

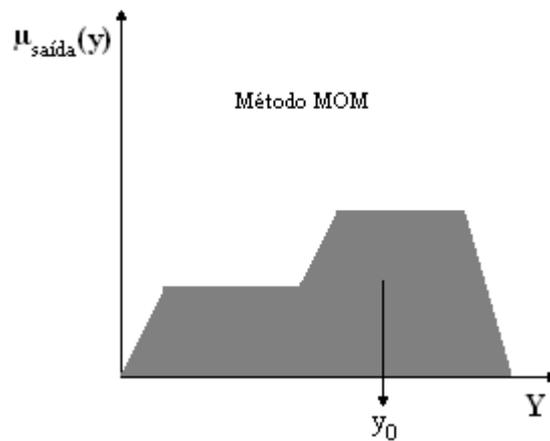


Figura 2.20 Método da Média dos Máximos

Fonte: Autor

- Método do Centro da Área (*COA*): Onde o valor de saída é o centro de gravidade da função de distribuição de possibilidade da ação de controle. Conforme ilustrado na figura 2.21.

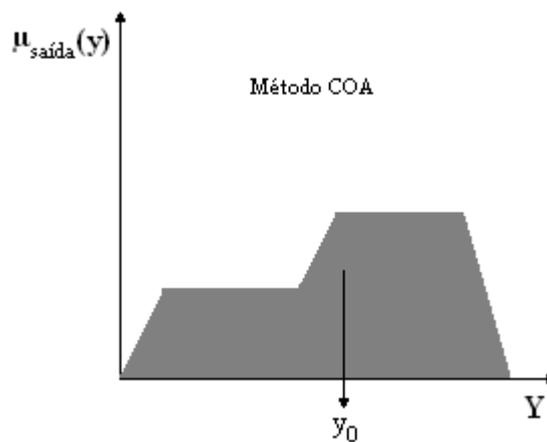


Figura 2.21 Método do Centro da Área

Fonte: Autor

Capítulo 3

PROJETO BASE E SEU AMBIENTE DE APLICAÇÃO

Este capítulo apresenta os conceitos relacionados ao desenvolvimento de um projeto de sistema robótico e suas etapas de planejamento, com um enfoque voltado a dinâmica de desenvolvimento de um projeto de tese, com possibilidade de aplicações práticas em um ambiente real.

3.1 Etapas do projeto

No intuito de simplificar a gestão e a compreensão de um projeto, bem como para vinculá-lo às demais aplicações de utilização no ambiente de operações, os projetos são costumeiramente divididos em etapas. Em um contexto geral, estas etapas são conhecidas como o ciclo de vida do projeto.

O fracionamento do projeto em fases é importante, pois proporciona o estabelecimento de metas e facilita a elaboração de processos de desenvolvimento e pesquisa.

De uma forma geral o ciclo de vida de um projeto encontra-se dividido em:

- Iniciação;
- Planejamento;
- Execução;
- Controle;
- Finalização

Por se tratar de um projeto acadêmico, com a implementação de um protótipo desenvolvido concomitantemente a elaboração desta dissertação de mestrado, alguns itens das etapas do ciclo de vida de um projeto não se fazem necessários, como por exemplo:

- Autorização do projeto;

- Designação das gerências de projeto;
- Negociações políticas de apoio e patrocínio;

Visando adequar fatores primordiais do ciclo de vida de um projeto no cumprimento das etapas de elaboração desta tese, bem como objetivar sua aplicação e sua expectativa de emprego real. Estas etapas foram contextualizadas dentro dos capítulos deste trabalho de forma a agregar os fatores de maior relevância para a pesquisa e o desenvolvimento na elaboração deste projeto.

O fator determinante para iniciação deste projeto foi o vislumbamento da oportunidade do emprego de robôs na indústria nuclear, para aplicação em detecção e inspeção nuclear, tanto em usinas de geração de energia, como também em fábricas de materiais radioativos, depósitos de rejeitos e nos casos extremos de vazamento radiológico. A aplicação de um sistema robótico na indústria nuclear prima por salvaguardar a integridade física de profissionais deste setor, bem como tornar possível, leituras permanentes de radiações em locais outrora impossíveis de se conceber. Assim como, diversas outras utilidades passíveis de implementação, como: utilização do robô como um sensor móvel de seu sistema de supervisão, como agente de detecção de emprego pontual, como reforço na detecção de pontos cegos de sistemas de monitoração de radiação, como agente coletor de informações em tempo real nas situações de catástrofes nucleares, entre outras.

A busca de alternativas estruturais e comportamentais para elaboração de um robô que possua todas as características necessárias para realização dos objetivos práticos mencionados, direcionou este projeto para a escolha de um sistema robótico com condições de se locomover tanto em ambientes internos como externos, conseguir transpor obstáculos de pequeno vulto, ter capacidade de manobrabilidade para se desvencilhar de obstáculos de médio e grande vulto, ter condição de efetuar uma teleoperação a distâncias muito seguras, ter capacidade de transmissão de vídeo em tempo real, envio de informações de sensores e posicionamento *GPS*, possuir um grau de inteligência que proporcione auxiliar a operação homem-máquina, ter capacidade de processamento mínima para a boa execução de suas funções, ter robustez física e boa tolerância a radiação.

Para atender a necessidade de transposição de obstáculos e manobrabilidade exigidas para o sistema robótico. Optou-se pelo desenvolvimento de uma estrutura mecânica de locomoção, que além de possuir as características necessárias ao

cumprimento dos critérios estabelecidos, pudesse suportar o desenvolvimento de um sistema inteligente de correção do centro de gravidade do robô. Por este motivo optou-se pelo desenvolvimento de um sistema de suspensão largamente utilizado na indústria automobilística e que apresenta vantagens claras sobre os outros sistemas, como robustez e possibilidade de ajustes finos de regulagem. Esse sistema de suspensão é chamado de duplo “A” (*double-wishbone*) e é utilizado em diversos tipos de veículos, incluindo a grande maioria dos veículos de competição ou alto desempenho e dos fora-de-estrada (*off-road*).

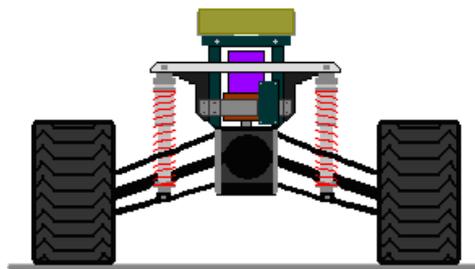


Figura 3.1 Vista traseira da suspensão do robô

Fonte: Autor

A necessidade de transposição de obstáculos como escadas, degraus e entulhos de construção direcionou a escolha de uma plataforma sobre rodas 6x6, que utiliza um triplo sistema de suspensão duplo “A”, no intuito de aumentar os pontos de apoio ao solo, otimizar a tração e agregar mais equilíbrio ao sistema. Cada par de rodas foi projetado para desenvolver movimentos direcionais independentes. Logo, o fato de possuir seis rodas gera uma enorme diversidade de movimentos, proporcionando um recurso primordial no grau de manobrabilidade do sistema robótico. A figura 3.2 ilustra esses movimentos.

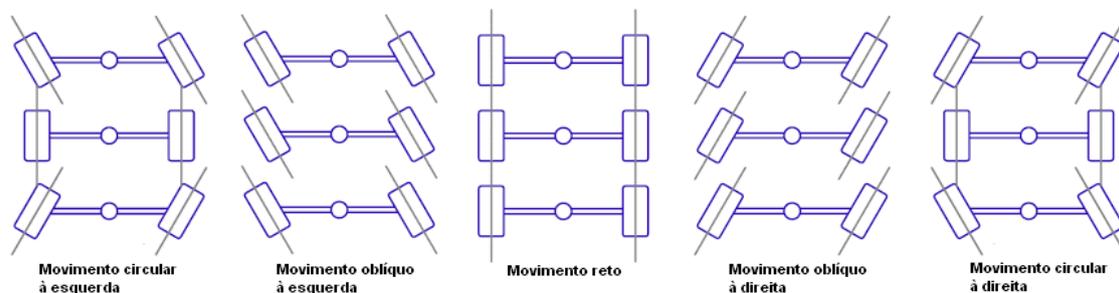


Figura 3.2 Movimentos de rodas

Fonte: Autor

Cada uma das três suspensões possui mecanismos de controle independente, como: motorização, conjunto redutor, diferencial, molas, amortecedores, sistemas de controle eletrônico de tracionamento e direção, entre outros.

Para a obtenção dos parâmetros básicos do sistema de suspensão levou-se em consideração algumas propriedades pré-estabelecidas pela mecânica clássica e alguns parâmetros específicos da aplicação robótica. Foram considerados parâmetros básicos como: a geometria do sistema de suspensão, dimensionamento dos amortecedores e das molas e o dimensionamento dos coeficientes de amortecimento e rigidez. O levantamento destes dados é um fator preponderante para o início da análise da integração com outros sistemas como o conjunto diferencial, o sistema de direção, o sistema de correção de centróide e o sistema de estabilização de imagem, bem como a viabilização técnica do conjunto do sistema robótico como um todo.

A definição de quaisquer parâmetros de um conjunto de suspensão deve ser compatível com o objetivo da aplicação prática a que se destina. Dessa forma para o veículo robótico implementado neste projeto o sistema de suspensão deve possuir as seguintes características:

- Pouca variação de Cambagem;
- Deslocamento de massa em curvas e em elevações laterais otimizada;
- Redução de cargas fletoras nos braços da suspensão;
- Transferência de cargas do solo à estrutura e à eletrônica embarcada reduzidas;
- Curso útil da suspensão bastante alongado;
- Boa característica sobre esterçante;
- Alta robustez de componentes e elementos de ligação.

A consecução dessas características balizam o dimensionamento deste projeto e encontram-se melhor detalhadas em (COSTA, 2004).

Uma característica muito relevante para esse projeto que necessita ser minimizada no intuito de produzir uma geometria mais compatível com o veículo robótico é a altura do centro de rolagem geométrica. É o ponto no qual todo o sistema de suspensão rotaciona durante uma situação normal de operação. Por este motivo faz-se necessário que o centro geométrico possua a menor altura possível, conforme apresentado na figura

3.3 que também demonstra o comportamento da suspensão e dos pneus durante o deslocamento do sistema em curva (COSTA, 2004).

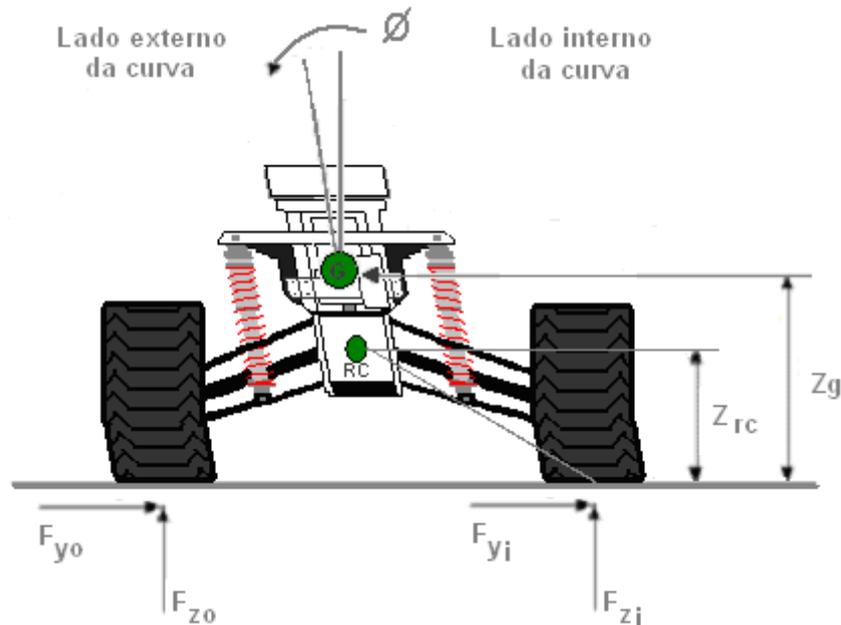


Figura 3.3: Efeito *jacking*

Fonte: Autor

O centro de rolagem geométrico ideal é aquele se encontra em uma posição tão baixa que possibilita que a componente da força lateral não seja suficientemente forte para causar o tombamento do sistema. No entanto cabe ressaltar que quanto mais baixo o centro geométrico menos vão livre teremos no sistema, causando assim uma redução da possibilidade de transposição de obstáculo.

A estrutura mecânica das suspensões, foi projetada de forma a comportar o funcionamento um sistema de nivelamento, baseado em Inteligência Artificial, com o propósito de corrigir o centro de gravidade de todo o sistema.

Como em todo robô, a estabilidade durante um deslocamento é algo muito desejável e buscado com muito empenho e pesquisa, por desenvolvedores de sistemas robóticos. No caso de um sistema robótico teleoperado, a necessidade de um sistema inteligente de apoio à operação torna-se quase que fundamental para uma teleoperação mais segura e precisa. Veículos guiados a distância, precisam dispor de mecanismos autônomos que auxiliem o operador nos momentos em que a monitoração de imagens e as informações sensoriais, não sejam suficientes para uma boa tomada de decisão

durante uma operação do sistema. É comum veículos teleoperados atolarem ou abarroarem mesmo em ambientes com boa visibilidade e com amplo espaço para operações. Pontos cegos de visualização, transposição de inclinações laterais ou ângulo de ataque menor que o necessário, são geralmente os maiores vilões deste tipo de operação robótica.

No intuito de melhorar o grau de assistência à navegação deste projeto, foi desenvolvido um sistema de nivelamento das suspensões independentes da plataforma 6x6, que possibilita uma constante correção do centro de gravidade de todo conjunto robótico, reduzindo em muito os riscos de abarroamento e deslizamento durante transposição de superfícies com elevadas inclinações transversais.

Este sistema tem seu funcionamento baseado em lógica nebulosa, usualmente conhecido como lógica *fuzzy*, e utiliza um circuito eletrônico de controle à parte do controle de funcionamento do sistema. Nos próximos capítulos este sistema será apresentado separadamente de modo a facilitar o entendimento da sua dinâmica de funcionamento. A figura 3.4 apresenta o diagrama em blocos deste sistema.

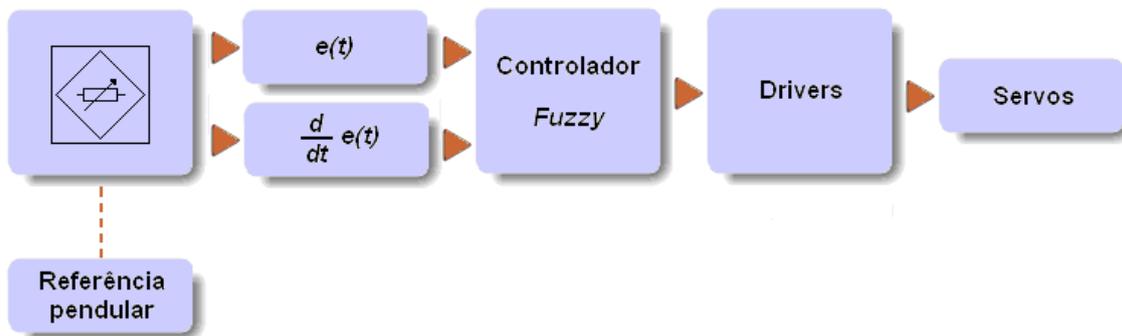


Figura 3.4 Sistema de correção do centro de gravidade

Fonte: Autor

Ambientes hostis à presença humana, como os de exposição à radiação, necessitam de uma teleoperação de controle efetuada a uma distância de segurança compatível com os níveis de radiação apresentados no ambiente de operação. De forma a manter uma teleoperação a distâncias extremamente longas, proporcionando um controle seguro, bem como, pelas vantagens de intercambiabilidade, modularidade, tamanho reduzido e baixo consumo de energia, optou-se pela utilização de um sistema *mobile* de transcepção. Este sistema é responsável pela recepção do sinal de transmissão de controle oriundo do operador, como também agrega toda a tecnologia necessária para transmissão de imagens em tempo real, de sinais de posicionamento e mapeamento

(GPS) e de dados de sensoriamento do ambiente, conforme ilustrado na figura 3.5. Possui capacidade de processamento necessária para a utilização de aplicativos *mobile* de relevância para o sistema e outras futuras implementações.

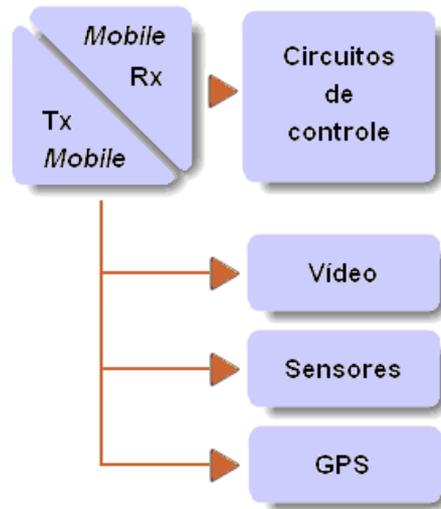


Figura 3.5 Sistema de transcepção *mobile*

Fonte: Autor

As características de desenvolvimento deste projeto possibilitam que uma grande variedade de dispositivos possa ser empregada como equipamento de telecontrole do operador. Para isso, basta que o dispositivo selecionado possua conexão com a rede móvel celular ou uma conexão de Internet banda larga, podendo ser controlado através de Internet móvel, fixa ou por uma rede *WIFI*.

O sistema de controle do operador foi desenvolvido para proporcionar uma operação simples e de fácil manuseio, não requerendo desta forma um alto grau de treinamento, como é comum exigirem os projetos desta linha.

O capítulo 6 abordará de uma forma mais ampla e detalhada os critérios de escolha do sistema, os tipos e classificações de teleoperações e a dinâmica do controle *mobile*.

A eletrônica embarcada no sistema robótico esta dividida em várias linhas de controle. Há sistemas eletrônicos atuando em todas as funções de acionamento e controle do projeto, como:

- Decodificação dos dados de controle *mobile*;
- Processamento do *firmware* operacional;
- Processamento do Controle *fuzzy*;

- Controle de velocidade de motores;
- Controle de posicionamento de servos;

Os circuitos decodificadores foram desenvolvidos para atuar nos sinais de controle recebidos pelo sistema *mobile* do robô, interpretando-os e gerando uma tabela funcional que será processada pelo firmware de controle. Rotinas operacionais elaboradas para gerenciar a locomoção e a navegação do sistema robótico atuam junto aos drivers de controle de motores e servos, proporcionando uma rápida execução dos comandamentos remotos oriundos do operador do sistema. A figura 3.6 apresenta o diagrama em blocos deste funcionamento.



Figura 3.6 Diagrama do sistema de controle operacional

Fonte: Autor

As minúcias do funcionamento eletrônico, a seleção de componentes, *layout* de circuitos, a arquitetura do *hardware* e do *firmware* serão descritos mais à frente em um capítulo específico.

Para viabilizar a utilização deste projeto em um ambiente de exposição à radiação, fez-se necessário o estudo da influência da radiação ionizante nos materiais aplicados ao sistema robótico. Este estudo, segue a linha de pesquisa segundo (AVRAM, 2008) e prioriza os componentes empregados diretamente neste projeto, aborda a interação da radiação com materiais orgânicos e inorgânicos como: metais, polímeros, plásticos e lubrificantes. Conta também com o estudo de materiais eletromecânicos como: motores e conectores, e componentes eletrônicos em geral.

Segundo (LAURIDSEN, *et al.*, 1996) os tipos de radiações ionizantes mais importantes a serem levados em consideração durante o desenvolvimento de um dispositivo robótico são: gama, beta, alfa e nêutron, no entanto os danos causados pela radiação gama em sistemas eletrônicos, são mais preocupantes para os projetos de sistemas robóticos do que os demais. A radiação gama quebra as cadeias atômicas

retirando elétrons do material e criando reações secundárias que dependem fortemente do tipo de material submetido à exposição. Essas reações não produzem uma falha súbita em componentes, porém vão produzindo uma modificação gradual em suas propriedades (SALINAS, 2006)

Os componentes tolerantes à radiação são oferecidos por um número limitado de fabricantes e são geralmente desenvolvidos para aplicações aeroespaciais ou militares. Estes componentes possuem sua resistência à radiação testada, aprovada e garantida pelos fabricantes, e são certificados por entidades competentes (HOUSSAY, 2000).

Algumas soluções para prolongar a vida útil de componentes eletrônicos foram escolhidas por melhor se adequarem as necessidades deste projeto. São:

- Blindagem dos compartimentos eletrônicos;
- Redução do uso de componentes extremamente sensíveis;
- Modulação do projeto
- Auto monitoração de dosagem

A blindagem contra radiação ionizante é um método realizado pela introdução deliberada de material absorvedor entre a fonte de radiação e o objeto que será protegido com o objetivo de reduzir a intensidade da radiação (HOUSSAY, 2000). A radiação eletromagnética cede energia quando encontra a blindagem e perde fótons do feixe incidente, diminuindo o feixe emergente, esse processo é chamado atenuação.

Quanto menor for a utilização de componentes sensíveis a radiação maior será a durabilidade do sistema, no entanto quando não há a possibilidade de deixarmos de utilizá-los, devemos agrupar os elementos sensíveis em módulos de mesma tolerância à radiação para facilitar a sua blindagem e futuras substituições (YOUK, 1999).

O sistema robótico deve ter a capacidade de diagnosticar e monitorar sua dosagem e o seu tempo de permanência em um ambiente de operação. Assim, pode-se calcular sua vida útil média, o nível de fadiga de materiais e uma possível probabilidade de falha.

O estudo mostrado a seguir apresenta em linhas gerais a degradação por exposição à radiação ionizante de materiais orgânicos, inorgânicos e de alguns componentes básicos, direcionados aos materiais aplicados diretamente neste projeto.

Materiais orgânicos:

- Polímeros e plásticos: Quando submetidos a uma exposição prolongada à radiação gama estes materiais apresentam trincas, empolamento da superfície e diminuição da resistência mecânica (BENNETT, 1997).
- Elastômeros: Os danos em elastômeros só se apresentam a partir de uma dose total de 10 kGy. A degradação causada pela radiação varia de acordo com concentração dos aditivos e com o tipo de base do polímero exposto. Alguns tipos de aditivos como fenóis e amins tendem a proteger o elastômero dos efeitos da radiação (HOUSSAY, 2000).
- Adesivos: A radiação causa uma diminuição das ligações eletrônicas existentes nas substâncias químicas utilizadas nos adesivos, que podem ser potencializadas por fatores como alta temperatura e alta concentração de oxigênio no ambiente (BENNETT, 1997).
- Lubrificantes: Parâmetros como viscosidade, condutividade térmica, capacidade corrosiva, estabilidade química e calor específico são diretamente afetados. A radiação causa uma degradação química das moléculas ocasionando um aumento na viscosidade e uma conseqüente polimerização destruindo o aditivo. Os tipos de lubrificantes menos vulneráveis à radiação são os com base em: polifenil, poliéter e alquila aromático (HOUSSAY, 2000).

Materiais inorgânicos:

- Metais: A exposição à radiação gama gera um calor excessivo capaz de danificar componentes de forma indireta. Sua estrutura geralmente não apresenta degradação por exposição à radiação (BENNETT, 1997).
- Cerâmica: A exposição prolongada a radiação causa o aumento do seu volume, porém não há uma degradação acentuada de suas propriedades químicas.
- Vidro: O vidro com chumbo e óxido de cério IV é um bom absorvedor de radiação e fornece uma boa solução para proteção à radiação nuclear, no entanto esses tipos de vidros ocasionam uma redução de visibilidade, com uma tonalidade amarelada e tendem a gerar uma carga eletrostática acumulada produzindo micro fissuras que podem afetar a integridade do vidro (SHARP, 1994).

Componentes eletromecânicos básicos:

- Motor: A exposição prolongada a radiação ocasiona a perda do isolamento das bobinas de campo e uma conseqüente falha por curto circuito. Além do enrijecimento dos óleos e graxas em seus rolamentos (SHARP, 1996).
- Rolamento: Geralmente possui uma boa tolerância a radiação e apresentam um bom rendimento quando utilizado em conjunto com lubrificantes sintéticos (HOUSSAY, 2000).
- Sensor de ultra-som: Em aplicações nucleares pode-se chegar a uma eficiência de quase 100%, ficando limitada apenas a variáveis ambientais e aos parâmetros de funcionamentos convencionais destes sensores (AVRAM, 2008).
- Sensor óptico: Em geral possuem boa resistência à radiação ionizante e os com princípio de funcionamento baseados em piezelétrico podem operar sem falha até 100 kGy (HOUSSAY, 2000).
- Cabos: O problema mais crítico em cabos, encontra-se no tipo de material empregado para o isolamento do condutor elétrico. Os isolamentos mais resistentes a radiação geralmente utilizam Radox (poliolefina) e Kapton (poliimida-PI) em sua composição. Outros um pouco menos resistentes como PEEK (poliéter-éter-cetona) e PI (poliimida) também são bastante utilizados (VANDERGRIF, 1990).
- Conector e interruptor: A sensibilidade destes componentes está diretamente ligada aos tipos de polímeros plásticos e metais utilizados em sua fabricação. Devem ser fabricados levando-se em consideração a necessidade de estanquidade e robustez suficiente para agüentar os processos de descontaminação que lhe forem aplicados.

Componentes eletrônicos mais empregados:

- Resistores: Excetuando-se os resistores de filme de óxido que podem falhar com apenas 10 Gy de exposição, todos os demais tipos de resistores possuem boa tolerância a radiação. Os resistores com valores ôhmico mais elevados tendem a sofrer mais degradação do que os de valores mais baixo (SNOW, 1967, MORTIER, 1989).

- Capacitores: O fator mais crítico nesses componentes são os danos causados no desempenho da sua constante dielétrica. Capacitores com dielétrico como vidro e cerâmica são menos suscetíveis a radiação do que os com base em solução eletrolítica. (HOUSSAY, 2000).

Semicondutores: As características eletrônicas dos semicondutores são diretamente afetadas pela exposição acentuada de radiação e temperatura. A radiação causa o aumento da temperatura de operação, segundo (VANDERGRIFF, 1990) a exposição à 3,6 kGy/h equivale a uma dissipação de calor proporcional 1 Watt.

- Diodos: São componentes com uma excelente resistência a radiação. Exposições à valores de até 1 MGy não causam alterações significantes em suas (VANDERGRIFF, 1990).
- Transistores: Os transistores com tecnologia *MOS (Metal Oxide Semiconductor)* são muito sensíveis a radiação. Os transistores bipolares e os transistores de efeito de campo são costumeiramente utilizados em ambientes radioativos por apresentarem uma boa tolerância a radiação. (KERWIN, 1998, BENEDETTO, 1998).
- Semicondutores *CMOS*: Componentes com tecnologias *CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)* sofrem muita influência de radiações de todos os tipos. Por esta razão algumas tecnologias como *SOI (Silicon On Insulator)* e *SOS (Silicon On Sapphire)* vêm sendo empregadas no intuito de minimizar este problema. São técnicas que permitem a inserção de uma blindagem à base de chumbo durante o processo de fabricação do componente CMOS (HOUSSAY, 2000).
- Optoeletrônica: O principal problema causado pela exposição à radiação quanto a utilização deste tipo de sensor encontra-se na perda da transmitância dos vidros e das lentes ópticas.
- Sensores *CCD*: Os sensores de imagem *CCD (Charge Coupled Device)* toleram uma taxa dose máxima de 1 kGy/h durante um funcionamento normal. Após este valor começam a ocorrer degradações na formação da imagem similar ao efeito de neve (SHARP e DUMBRECK, 1992, PAYAT e CERDAN, 1992).
- Sensores *CMOS*: Os sensores de imagem *CMOS* baseados em tecnologia *APS (Active Pixel Sensor)* possuem uma melhor tolerância a exposição de radiações

fazendo que sejam os sensores de imagem mais recomendados para o emprego em ambientes radioativos e de exploração espacial (KAIS e ROBIOLLE, 1999, SHERIDAN, 1992).

- Microprocessador: De uma forma geral são muito sensíveis a radiação uma vez que a maioria é desenvolvida a partir de tecnologia *MOS*. A dose limite de dano para processadores é de 10 Gy a 500 Gy (BIAVA, 2001).
- Memória: As memórias *RAM* (*Random Access Memory*) assim como os microprocessadores utilizam em sua constituição interna circuitos com tecnologia *MOS* que os tornam muito pouco tolerantes a radiação. No entanto os componentes *RAM* são por construção um pouco menos sensíveis que os microprocessadores tolerando uma dose entre 50 Gy e 5 kGy (HOUSSAY, 2000).

Esta pesquisa propiciou o desenvolvimento de uma estrutura mecatrônica que primou pelo emprego de materiais e componentes eletrônicos com boa tolerância à radiação e a utilização de técnicas de prolongamento da vida útil de componentes, no intuito de evitar futuras falhas de funcionamento do sistema robótico durante operação.

Capítulo 4

PROJETO FUNCIONAL E TÉCNICO DO PROTÓTIPO

Neste capítulo, serão apresentadas as soluções desenvolvidas e implementadas no sistema robótico proposto neste projeto. Desde a análise de funcionamento, até a construção do protótipo. Tanto para as aplicações de hardware, como também, para as de firmware e software.

4.1 Considerações de projeto

O controle, o processamento de informação e a execução de tarefas motoras desenvolvidas neste projeto tiveram por princípio de construção, os pré-requisitos estabelecidos no capítulo 3 deste trabalho, quanto à minimização do uso de componentes sensíveis à radiação, a modularização da eletrônica embarcada e a intercambiabilidade.

Por se tratar de uma aplicação robótica em ambiente radioativo, onde o índice de mortalidade de componentes é por natureza mais elevado. Todo o hardware presente neste projeto foi calculado de forma a super dimensionar seus coeficientes de segurança, visando um aumento na vida útil e a longevidade de funcionamento com uma margem satisfatória de perdas. Pois cabe ressaltar, que a radiação potencializa certas perdas como por efeito joule, por histerese, por corrente de Foucault , entre outras.

A eletrônica embarcada foi desenvolvida de forma a agrupar componentes mais sensíveis em módulos, facilitando a utilização de blindagens e futuras manutenções.

Com base em características anteriormente mencionadas, como: baixo consumo de energia, grande alcance de transmissão, pouco peso e modularização de circuitos, optou-se neste projeto pela utilização de um aparelho de celular convencional, como módulo transceptor *mobile*, do protótipo de unidade robótica de detecção; outras características como praticidade e intercambiabilidade, também fizeram parte dos fatores de relevância na escolha.

4.2 Procedimentos de operação

Como descrito anteriormente, no capítulo 3, o sinal de controle do robô é gerado a partir da conexão de um equipamento *mobile* (qualquer dispositivo com acesso a rede celular ou banda larga, com boa capacidade de vídeo) ao módulo de recepção *mobile* da unidade robótica. Esta conexão pode ser efetuada através de uma simples ligação telefônica de celular ou por uma chamada *Skype*, via banda larga.

Após conectado ao sistema, basta ao operador escolher as funções via teclado numérico de seu dispositivo *mobile*, de acordo com a necessidade de maneabilidade que lhe for apresentada, durante o deslocamento da unidade robótica pelo ambiente de detecção escolhido.

As características e a qualidade da recepção de imagens, dependerão da capacidade de vídeo disponível no dispositivo utilizado pelo operador, como também, a precisão de posicionamento *GPS*.

A figura 4.1 e a tabela 4.1 ilustram a correspondência de funções de locomoção do robô, com o teclado numérico do dispositivo do operador e o movimento das rodas do robô em decorrência da função solicitada.

1	2	3	↶	↑	↷
4	5	6	↙↙↙	Ⓟ	↘↘↘
7	8	9	↘↘↘	↓	↙↙↙
*	0	#	↷	Luz	↶

Figura 4.1 Correspondência de funções de controle

Fonte: Autor

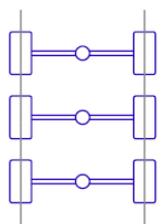
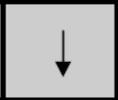
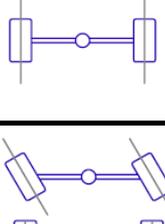
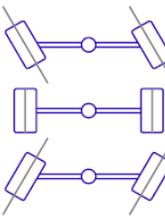
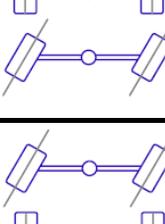
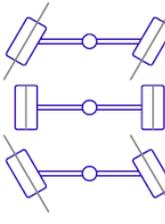
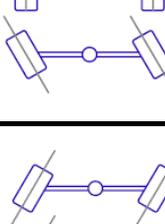
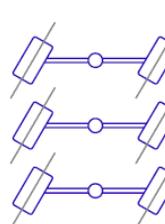
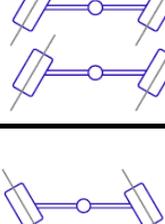
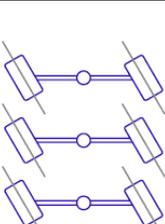
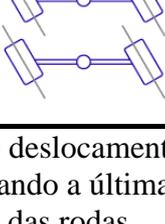
	Movimento à frente com deslocamento reto;	
	Movimento a trás com deslocamento reto;	
	Movimento à frente com deslocamento circular à esquerda;	
	Movimento a trás com deslocamento circular à esquerda;	
	Movimento à frente com deslocamento circular à direita;	
	Movimento a trás com deslocamento circular à direita;	
	Movimento a trás com deslocamento oblíquo à esquerda;	
	Movimento à frente com deslocamento oblíquo à direita;	
	Movimento à frente com deslocamento oblíquo à esquerda;	
	Movimento a trás com deslocamento oblíquo à direita;	
	Parada total de movimento;	Cessa o deslocamento, preservando a última posição das rodas
	Acionamento da iluminação;	

Tabela 4.1 Tabela de movimentação de rodas

Fonte: Autor

4.3 Descrição funcional

A seguir é apresentado de uma forma geral, o funcionamento interno do robô, no que tange à recepção de sinais e ao tratamento da informação de controle dado pelos circuitos eletrônicos embarcados, o hardware de processamento e o *firmware* de controle.

A recepção do sinal pelo sistema robótico é feita através do Tx/Rx *mobile*, que depois de conectado ao dispositivo remoto, retransmite os dados gerados pelo operador ao Circuito Decodificador. Que tem a função de receber o sinal *DTMF* (*Dual Tone Multiple Frequency*) produzido pelo teclado numérico durante a seleção de funções e discriminá-lo em uma *FDT* (*Functional Decode Table*) com samblagens de quatro bits, conforme ilustrado na tabela 4.2.

Teclado	DTMF		FDT
	F _{LOW} (Hz)	F _{HIGH} (Hz)	DCBA
1	697	1209	0001
2	697	1336	0010
3	697	1477	0011
4	770	1209	0100
5	770	1336	0101
6	770	1477	0110
7	852	1209	0111
8	852	1336	1000
9	852	1477	1001
0	941	1209	1010
*	941	1336	1011
#	941	1477	1100

Tabela 4.2 Tabela de códigos de controle

Fonte: Autor

As seqüências descritas na coluna *FDT* são responsáveis pela seleção das instruções operacionais do *firmware*, desenvolvidas para o acionamento das funções de execução de movimentos de locomoção.

As seqüências geradas pelo Decodificador são então enviadas ao Circuito Controlador que duplica essa informação para um par de microcontroladores, onde se

encontram gravados todos os *firmwares* de instruções operacionais do robô. Nesta etapa duas instruções operacionais são executadas para cada código recebido. Cada microcontrolador gerará dois *strings* de controle de oito bits, com os dados de movimento das rodas nos três eixos e dos três motores da plataforma de locomoção 6x6. Conforme mostrado na tabela 4.3.

Teclado	DTMF		FDT	String de Controle	Função
	F _{LOW} (Hz)	F _{HIGH} (Hz)	DCBA		
1	697	1209	0001	01010001 00000100	
2	697	1336	0010	01010010 00000010	
3	697	1477	0011	01010100 00000001	
4	770	1209	0100	01001001 00000001	
5	770	1336	0101	00xxxxxx xxxxxxxx	
6	770	1477	0110	01100100 00000100	
7	852	1209	0111	11100100 00000100	
8	852	1336	1000	11010010 00000010	
9	852	1477	1001	11001001 00000001	
0	941	1209	1010	xxxxxxxx x1xxxxxx	luz
*	941	1336	1011	11010001 00000100	
#	941	1477	1100	11010100 00000001	

Legenda String cor preta TrisB μ Ctl – 1
 String cor vermelha TrisB μ Ctl – 2
 String cor verde TrisA μ Ctl – 1
 String cor azul TrisA μ Ctl – 2

Tabela 4.3 Tabela de controle completa

Fonte: Autor

Cada um dos oito bits que compõem as *strings* de controle, possui uma função específica no posicionamento dos eixos de direção e de tração. Estes bits são ordenados em trios e distribuídos aos *drivers* correspondentes, com o propósito de serem convertidos nos sinais de controle específico de cada acionamento. Foram projetados

três tipos específicos de *drivers*, em razão dos tipos de atuadores de movimento definidos neste projeto, que são:

- *Drivers* para os servomotores de controle de direção;
- *Drivers* para os servomotores de correção do centro de gravidade;
- *Drivers* para os motores de tracionamento.

Com exceção do *driver* para a correção do centro de gravidade do sistema robótico, que será discutido no capítulo 5, todos os demais sistemas apresentados encontram-se distribuídos conforme ilustrado na figura 4.2.



Figura 4.2 Diagrama em blocos do funcionamento geral do sistema robótico

Fonte: Autor

De modo a explicar em detalhes o funcionamento, a composição interna e as características de construção do sistema robótico apresentado neste trabalho, os textos a seguir foram divididos em blocos de funcionamento nos moldes do diagrama apresentado na figura 4.2.

4.3.1 Bloco Tx/Rx *Mobile*

Este bloco funcional tem por finalidade a recepção dos dados de controle enviados pelo dispositivo *mobile* do operador, como também, a transmissão de dados

sensoriais, obtidos através do detector de radiação e da câmera de vídeo do protótipo robótico.

Optou-se neste projeto pela utilização de um aparelho celular convencional, por ser um equipamento compacto, de baixo consumo de energia, de fácil aquisição e fácil substituição. Sua construção atende aos critérios de intercambiabilidade e modularização apresentados no capítulo 3, além de possuir dispositivos de vídeo e *GPS* próprios, dispensando a instalação de uma câmera externa e o desenvolvimento de um sistema de *GPS* específico.

O dispositivo utilizado no projeto possui as características apresentadas na tabela 4.4.

DIMENSÕES	
Altura	125.3 mm
Largura	66.1 mm
Profundidade	8.5 mm
PESO	116 gramas
REDE	» Umts » Gsm: Quad Band (850/900/1800/1900)
SISTEMA OPERACIONAL	Android 2.3
PROCESSADOR	
Fabricante	ARM
Modelo	Cortex-A9
MHz	1200
Núcleos	2
Memória	16000 MB
BATERIA	
Tipo	Lítio
Autonomia conversação (minutos)	520 minutos
Autonomia em Standby (horas)	610 horas
CONNECTIVIDADE	
Usb	Micro USB 2.0
Hsdpa	21 Mbps
Hsupa	5,76 Mbps
Função	GPS
FOTO E VÍDEO	
Câmera	8 MEGAPIXEL
Zoom	4 X
Autofocus	Sim
Formato foto	JPEG
Formato video	DIVX, H.263, H.264, MP4, WMV
Resolução max foto	3264 x 2448 pixel
Resolução max vídeo	1920 x 1080 pixel
Fps video max	30 fps

Tabela 4.4 Dados técnicos do dispositivo celular

Fonte: Fabricante Samsung

4.3.2 Bloco Decodificador

Nesta etapa os sinais recebidos pelo dispositivo celular são coletados através de um conector padrão P2 macho de 4 pólos, com cabo múltiplo blindado de 50 Ohms. Passam por componentes calculados para fazerem a filtragem e o casamento da impedância entre os dois blocos, e se encaminham a um circuito integrado decodificador *DTMF*. Este CI trabalha com um *clock* interno padrão de 3.579545 MHz produzido por um cristal externo, que juntamente com outros componentes periféricos de polarização, proporcionam a conversão dos duplos tons de modulação em *strings* binárias.

O sinal coletado através da entrada diferencial passa por um filtro de duplo tom e em seguida é replicado ao mesmo tempo, para um filtro de alta frequência e um filtro de baixa frequência. Passam por um detector de cruzamento de zeros e são em fim testados por um algoritmo de detecção digital e feita à correspondência com as *strings* de saída, conforme mostrado na figura 4.3.

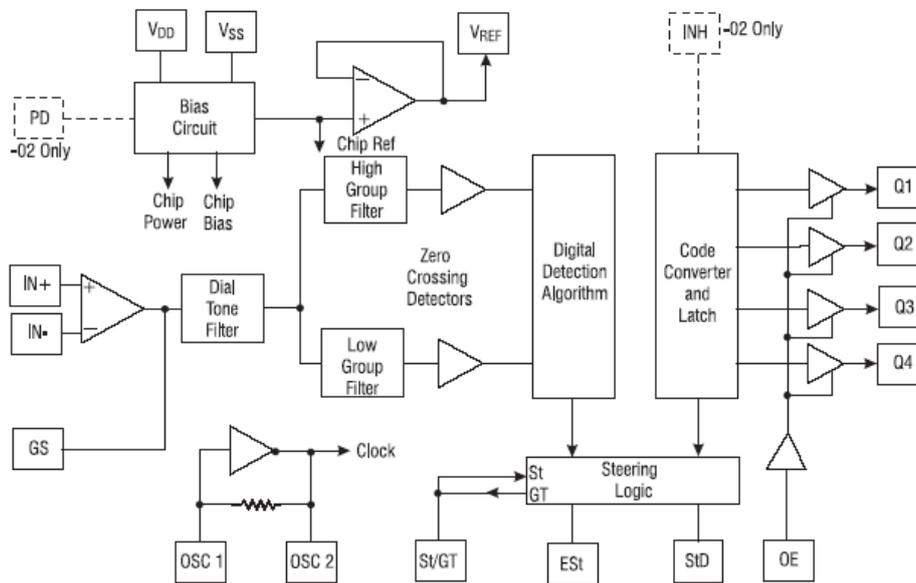


Figura 4.3 Diagrama em blocos do Decodificador *DTMF*

Fonte: Fabricante Clare

Um ponto importante é a presença do StD (*Delayed steering output*) que serve como um *Flag* no registro da permanência do sinal *DTMF* na entrada do decodificador.

De uma forma geral, é com esta função que o sistema do robô consegue saber se houve ou não uma mudança de função de controle por parte do operador.

4.3.3 Bloco Controlador

Esta etapa é composta por um par de microcontroladores da série PIC (*Peripheral Interface Controller*) fabricados pela Microchip, que são componentes eletrônicos dotados de uma inteligência programável. Neles estão gravadas todas as instruções operacionais relativas ao acionamento de servos e motores que compõem o sistema de locomoção deste projeto, ou seja, o *Firmware* de controle. Estes circuitos integrados são desenvolvidos com uma arquitetura interna do tipo Havard e utilizam a filosofia *RISC* (*Reduced Instruction Set Computer*).

Para este projeto foi utilizado o modelo PIC 16F628A, com dezesseis portas configuráveis, dois osciladores internos (4MHz e 37MHz), dez interrupções, memória *EEPROM* de 128bytes, módulo CCP, comparador interno e USART.

Apesar da importância dos microcontroladores, esta etapa também conta com a utilização de CIs (circuitos integrados) *TTL* (*Transistor-Transistor Logic*) com função lógica inversora. A utilização destes CIs leva em consideração o estudo de degradação de componentes eletrônicos pela exposição à radiação, apresentado no capítulo 2 deste trabalho. É um componente fabricado a décadas, constituído internamente por transistores bipolares, diodos e resistores, todos componentes com alta tolerância a radiação. Os CIs da série *TTL* requerem menos potência, são menos suscetíveis a ruídos e possuem uma tolerância maior a radiação comparado ao seu rival o *CMOS* (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*).

A função inversora caracteriza um fator de importância no desenvolvimento da lógica de funcionamento deste bloco. Pois todos os sinais de entrada dos microcontroladores foram projetados para trabalharem com acionamento por “lógica negativa”, ou seja, acionado através de 0Vcc ou em linguagem digital nível baixo ou 0. Essa medida foi adotada no intuito de evitar falhas de funcionamento, como: acionamentos aleatórios de funções ou não execução da função selecionada. Pois o acionamento com lógica direta pode ser afetado por picos de tensões espúrias, oriundas de dentro do sistema ou mesmo geradas pelo ambiente de detecção onde será aplicado o robô.

Por este motivo, todos os códigos de acionamento gerados pelo bloco decodificador, antes de serem enviados para as entradas dos microcontroladores passam pelos seus respectivos CIs inversores. Deve-se ressaltar que não apenas as *strings*, como também, o sinal StD deve fazer parte da inversão. Assim pode-se representar a função de inversão conforme a tabela 4.5.

Tabela funcional do CI 7404		
Output		Input
Decodificador		Microcontrolador
StD	E	\bar{E}
Q4	D	\bar{D}
Q3	C	\bar{C}
Q2	B	\bar{B}
Q1	A	\bar{A}

Tabela 4.5 Tabela verdade de lógica inversora aplicada

Fonte: Autor

O circuito deste bloco é composto por dois CIs inversores lógico que recebem a mesma informação oriunda do decodificador e as enviam depois de barradas, aos seus respectivos microcontroladores. As instruções operacionais gravadas (*firmware*) geram então os códigos de execução de funções. Das dezesseis portas bidirecionais disponíveis em dois barramentos de oito bits (Tris A e Tris B) em cada microcontrolador, cinco são utilizadas para recepção dos bits $\bar{E} \bar{D} \bar{C} \bar{B} \bar{A}$, uma é utilizada como função MClr (*Master Clear*) e as demais são configuradas como saídas. Os bits de execução de função de direção são divididos em três seqüências de três bits, Rb0|Rb1|Rb2, Rb3|Rb4|Rb5 do μCtl1 e Rb0|Rb1|Rb2 do μCtl2 . Os bits Rb6|Rb7 do μCtl1 selecionam o sentido de tracionamento das rodas, o bit Ra6 do μCtl1 aciona o sistema inteligente de suspensão e o bit Ra6 do μCtl2 aciona a iluminação, conforme representado nas tabelas 4.6 e 4.7.

		Microcontroladores (TrisA μ Ctl – 1 e TrisA μ Ctl – 2)					
Entradas Ra4 Ra3 Ra2 RA1 Ra0		Saídas Ra7 Ra6		Funções			
0	0	1	0	1	x	x	luz
					x	1	
X	X	X	X	X	x	1	Suspensão
					x	x	

Tabela 4.6 Tabela de funções auxiliares

Fonte: Autor

		Microcontroladores (TrisB μ Ctl – 1 e TrisB μ Ctl – 2)											
Entradas Ra4 Ra3 Ra2 RA1 Ra0		Saídas Rb7 Rb6 Rb5 Rb4 Rb3 Rb2 Rb1 Rb0		Funções									
0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	
					0	0	0	0	0	1	0	0	
0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	
					0	0	0	0	0	0	1	0	
0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	
					0	0	0	0	0	0	0	1	
0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	
					0	0	0	0	0	0	0	1	
0	1	0	1	0	0	0	x	x	x	x	x	x	
					x	x	x	x	x	x	x	x	
0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	
					0	0	0	0	0	1	0	0	
0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	
					0	0	0	0	0	1	0	0	
0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	
					0	0	0	0	0	0	1	0	
0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	
					0	0	0	0	0	1	0	0	
0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	
					0	0	0	0	0	1	0	0	
0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	
					0	0	0	0	0	0	0	1	

Tabela 4.7 Tabela de funções principais

Fonte: Autor

Há ainda, sete portas bidirecionais disponíveis para implementações de novas funções de execução ou utilização de outros tipos de sensores.

A utilização de *don't-care* na tabela 4.6, tanto nas entradas como nas saídas, têm como objetivo a representação da não significância dos seus estados lógicos para a execução das funções solicitadas. No caso específico, do acionamento do sistema inteligente de correção de centróide, quaisquer que sejam os níveis lógicos apresentados nas entradas, não resultará em alteração na saída, uma vez que a solicitação de

acionamento é dada na inicialização de todo sistema. Os *don't-care* utilizados na função de parada na tabela 4.7, têm por motivo manter as posições de eixos de acionamentos anteriores, preservadas após a solicitação de parada.

4.3.4 Bloco de Drivers

Os *drivers* utilizados nesta etapa do projeto, possuem a função de gerar sinais elétricos específicos para movimentação de motores DC e de servomotores. Foram divididos em três tipos:

- *Drivers* para os servomotores de controle de direção;
- *Drivers* para os motores de tracionamento.

A seleção dos componentes eletrônicos e os tipos de circuitos adotados mantiveram os princípios descritos no capítulo 2, quanto ao consumo de energia, modularização e tolerância a radiação.

Os dois tipos de *drivers* foram desenvolvidos tomando como base circuitos integrados analógicos configurados para trabalharem em modo astável, operando como osciladores. Por se tratarem de circuitos integrados analógicos, tem sua fabricação baseada em transistores, diodos e resistores que são componentes com boa tolerância a radiação. Cabe ressaltar que parte do funcionamento de geração de sinais *PWM* poderia ter sido dimensionada para ser gerada pelos microcontroladores do bloco de controle. No entanto, por razões do *clock* dos microcontroladores serem mais suscetíveis a variações por motivo da influência da radiação nas resistências internas de seus componentes, foi feita a opção pela utilização de um circuito oscilador analógico a parte do sistema. Estes osciladores, juntamente com outros circuitos como *drivers* de corrente, amplificadores operacionais e diversos componentes de polarização, integram o Bloco de *Drivers* para controle de motores e servomotores que serão descritos a seguir.

4.3.4.1 Drivers para servomotores de controle de direção

Estes *drivers* produzem três sinais modulados em onda quadrada, responsáveis por moverem os servomotores de direção das rodas, para as principais posições: esquerda, centro e direita. Para isso, faz-se necessário a geração de sinais *PWM* (*Pulse Width Modulation*) com amplitude máxima de 5 Vcc e período da onda de 20ms.

O circuito oscilador implementado neste projeto tem como base, o CI LM555 em configuração astável, com seus parâmetros calculados para gerar uma onda quadrada com capacidade de variação da largura de pulso em 1ms, 1,5ms e 2ms, mantendo o período da onda constante em 20ms.

Sinal de controle de movimento de servomotor girando totalmente a esquerda *PWM* [T =20ms, TH=1ms] em Vmáx 5Vcc.



Figura 4.4 Ilustração didática de forma de onda de pulso mínimo

Fonte: Autor

Sinal de controle de movimento de servomotor parado ao centro *PWM* [T =20ms, TH=1,5ms] em Vmáx 5Vcc.

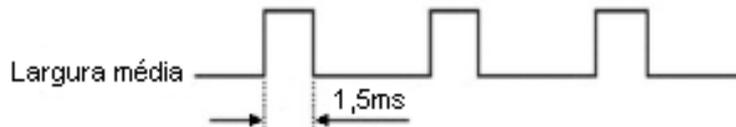


Figura 4.5 Ilustração didática de forma de onda de posição neutra

Fonte: Autor

Sinal de controle de movimento de servomotor girando totalmente a direita *PWM* [T =20ms, TH=1,5ms] em Vmáx 5Vcc.

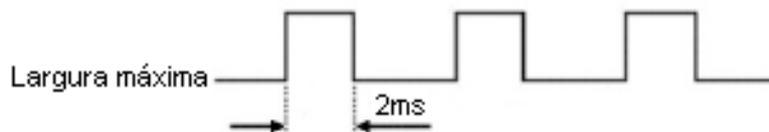


Figura 4.6 Ilustração didática de forma de onda de pulso máximo

Fonte: Autor

Um circuito auxiliar foto-acoplado, faz a integração dos sinais digitais de controle, enviados pelo bloco controlador, aos divisores resistivos de polarização do CI oscilador. Gerando assim, um valor resistivo de polarização para cada seqüência válida

recebida. A tabela 4.8 apresenta a correspondência dos bits de controle com a largura de pulso resultante desta variação.

Seqüência de Controle			Seqüência de Controle			Seqüência de Controle			Tipo de movimento	Largura de Pulso
Rb0	Rb1	Rb2	Rb3	Rb4	Rb5	Rb0	Rb1	Rb2		
1	0	0	1	0	0	1	0	0	Giro à esquerda	1ms
0	1	0	0	1	0	0	1	0	Posição central	1,5ms
0	0	1	0	0	1	0	0	1	Giro à direita	2ms

Legenda: TrisB μ Ctl - 1 e TrisB μ Ctl - 2

Tabela 4.8 Tabela de seqüências de movimentação de rodas

Fonte: Autor

Note que apesar de as três seqüências de controle estarem representadas na tabela 4.8. Faz-se necessária a utilização de três *drivers* de mesma construção, para executar todos os movimentos de posicionamento de rodas previsto pelo projeto.

4.3.4.2 Drivers para motores de tracionamento

Os motores DC utilizados para o tracionamento da plataforma robótica, diferentemente dos servomotores, necessitam de um sistema de reversão de sentido da corrente para que possam inverter sua rotação. A solução adotada neste projeto foi a utilização de uma Ponte em H, em uma configuração com transistores bipolares NPN, que possibilitam a reversão do sentido de rotação do motor de tracionamento, através da mudança de estado lógico do bit de controle Rb7 descrito anteriormente. A figura 4.7 ilustra o funcionamento deste circuito.

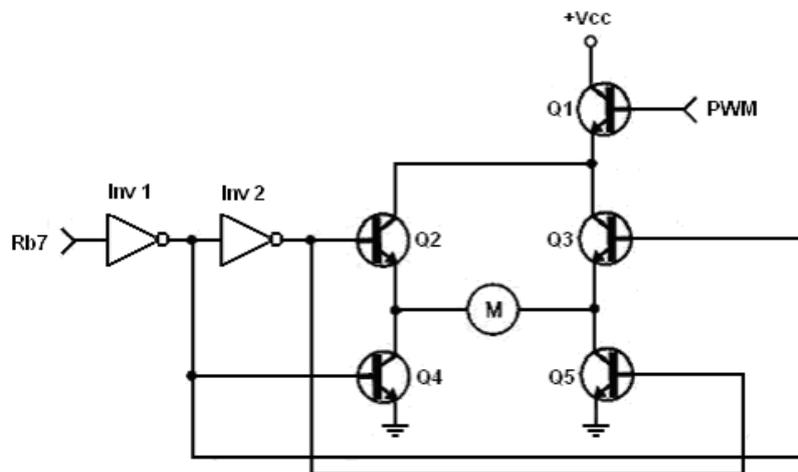


Figura 4.7 Diagrama elétrico da Ponte em H com transistores bipolares

Fonte: Autor

Este circuito é composto também por duas portas lógicas inversoras ligadas em série, com a intenção de introduzir a proibição de um sentido de rotação, no momento que o outro estiver em funcionamento. Os transistores Q2, Q3, Q4 e Q5 são acionados no momento em que receberem o nível lógico 1, mas como pode-se perceber, cada par de transistores encontra-se ligado a uma porta inversora. Logo, no momento que Rb7 assumir o estado lógico 1, a saída da porta inversora 1 estará em nível lógico 0, não permitindo o acionamento de Q4 e Q3. O nível lógico da porta inversora 2 estará em nível lógico 1 acionando Q2 e Q5, dessa forma acionando o motor de tracionamento e fazendo o robô se deslocar à frente. Conforme ilustrado na figura 4.8.

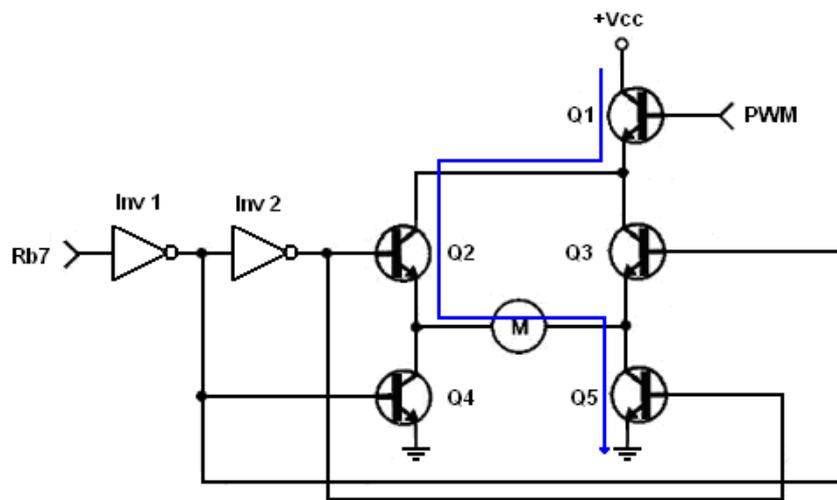


Figura 4.8 Sentido da corrente no motor

Fonte: Autor

No momento que Rb7 muda seu estado lógico para 0, a saída da porta inversora 1 passará para nível lógico 1, permitindo o acionamento de Q4 e Q3. O nível lógico da porta inversora 2 estará em nível lógico 0 não permitindo o acionamento de Q2 e Q5, dessa forma o motor de tracionamento será acionado no sentido contrário, fazendo o robô se deslocar em marcha à ré. Conforme ilustrado na figura 4.9

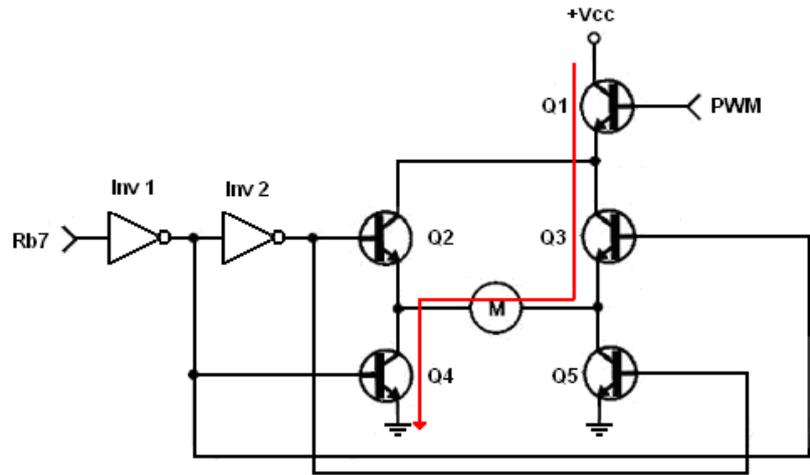


Figura 4.9 Sentido inverso da corrente no motor
 Fonte: Autor

Para controlar a velocidade do motor, utilizou-se um controle de potência média por variação do ciclo ativo, através de um circuito modulador *PWM*.

Assim como nos circuitos anteriores, o sinal *PWM* é gerado através de um circuito integrado analógico (LM555) e seus componentes de polarização. No entanto, a modulação do sinal *PWM* para controle de potência média de motores DC é definida pelo seu ciclo ativo, que é a relação entre o tempo de permanência do pulso e a duração de um ciclo completo de operação, conforme ilustrado na figura 4.10.

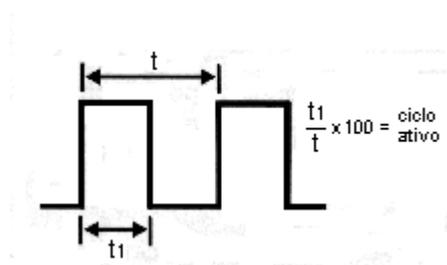


Figura 4.10 Definição de ciclo ativo
 Fonte: AHMED, 2008

Variando-se a largura do pulso concomitantemente com o seu intervalo proporciona-se a criação de diferentes ciclos ativos, podendo dessa forma controlar a potência média aplicada ao motor em todas as aplicações requeridas neste projeto. Assim, quando a largura do pulso varia de zero até o máximo, a potência também varia na mesma proporção, conforme indicado na figura 4.11.

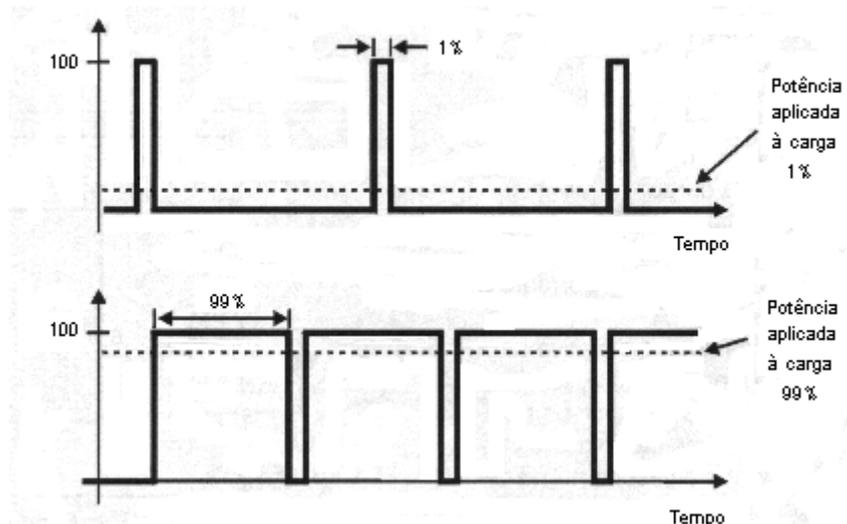


Figura 4.11 Controle de potência pelo ciclo ativo

Fonte: AHMED, 2008

Para fazer o acoplamento entre o sinal digital oriundo do controlador e o circuito modulador *PWM*, utilizou-se o foto-acoplador à transistor (PC 817), no intuito de isolar eletricamente o sistema digital de controle de possíveis interferências causadas por algum transiente do motor. A tabela 4.9 apresenta a configuração do padrão de controle utilizado.

Seqüência de Controle	Tipo de execução		Ciclo ativo PWM
	Rb6 Rb7	motores	
0 0	desligados	parado	0%
0 1	S/R	S/R	S/R
1 0	ligados	à trás	15%
1 1	ligados	à frente	15%

Legenda: TrisB μ Ctl – 1 e S/R sem relevância

Tabela 4.9 Tabela de seqüências de movimentação de motores

Fonte: Autor

4.3.5 Bloco servos

Os servomotores ou simplesmente servos como são conhecidos, foram escolhidos para serem aplicados neste projeto, por proporcionarem um torque muito elevado em relação ao seu peso e tamanho.

São basicamente constituídos de um motor de corrente contínua, um potenciômetro que roda solidário ao eixo de saída, um circuito eletrônico de controle e uma caixa redução, como ilustrado na figura 4.12. A força produzida por estes equipamentos está diretamente ligada ao fato da alta rotação do motor elétrico ser convertida em torque, pela utilização das engrenagens da caixa redutora.

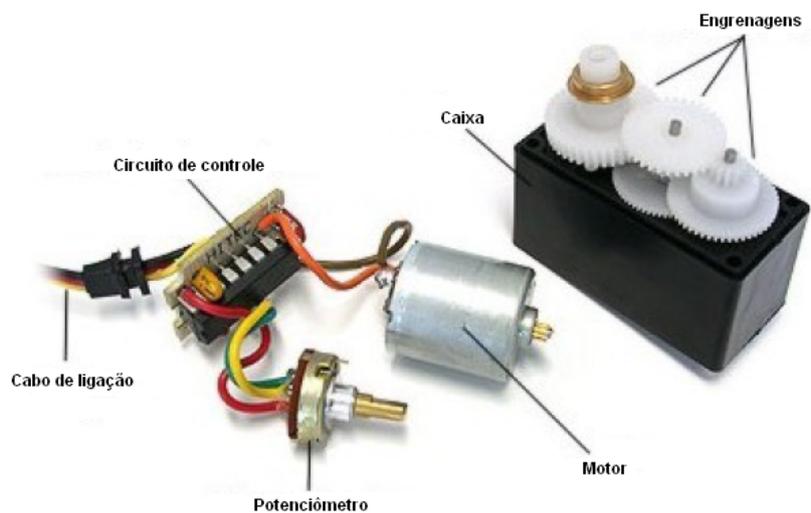


Figura 4.12 Servomotor explodido

Fonte: <http://amsfrancisco.planetaclix.pt>

Os servos são dispositivos capazes de fazer variações angulares entre 0° e 180° de rotação através de um controle por sinais PWM. Possuem um sistema de malha fechada onde a realimentação da posição do eixo é fornecida ao módulo de controle através da variação resistiva de um potenciômetro. Ao receber sinais de controle, o motor é acionado movimentando a caixa de redução e conseqüentemente variando o curso do potenciômetro. Esta variação cria um sinal proporcional à posição do eixo, que será comparado ao sinal de controle aplicado fazendo o motor ser desligado no ângulo desejado. Qualquer variação angular no eixo de saída fará com que o servo compense automaticamente.

Neste projeto foram dimensionados dois tipos de servos em decorrência das exigências de torque e ângulos de movimentos, exigidos em suas diferentes aplicações. Para o controle de movimentos de direção das rodas foi dimensionados três servos de torque de 9 Kg.cm com ângulo de rotação de 90° . O modelo selecionado foi o Traxxas 2070 que possui as seguintes características:

- Controle Digital
- Motor Traxxas
- Engrenagens plásticas
- Rolamento duplo
- Velocidade de 0,17seg/60° a 6Vcc
- Torque de 9 Kg.cm
- Dimensões: 55,1 x 20,1 x 38,1mm
- Peso total 45g

Os modelos dimensionados para operar no sistema inteligente de correção de centróide, precisam possuir um torque mais elevado, pois atuam diretamente na elevação dos mecanismos das suspensões independentes e trabalham em um regime constante de variação de torque. Por este motivo o modelo selecionado foi o HS985MG que possui as características citadas abaixo:

- Controle Digital
- Motor tipo Coreless
- Engrenagens metálicas
- Dois rolamentos
- Velocidade de 0,13 seg/60° a 6Vcc
- Torque de 12,4 kg.cm
- Dimensões: 40,0 x 20,0 x 37,0mm.
- Peso total 62g

4.3.6 Bloco Motores

Cada conjunto de tração é composto de um motor elétrico de corrente contínua dimensionado para trabalhar a uma tensão máxima de 4,8Vcc a uma corrente limite de 450 mA, produzindo uma potencia elétrica de 2,16 W (vide tabela anexa).

Para este projeto, foi dimensionado um motor de alto torque similar aos encontrados em ferramentas de parafusadeiras elétricas, tendo em vista a natureza da

aplicação exigir um funcionamento ininterrupto e com uma alta demanda de solicitação variável de torque.

A resistência ao calor, peso, estanquidade e classe de isolamento também foram fatores preponderantes na escolha do motor.

Por visar o baixo consumo de energia x potência e priorizar a não flutuação do campo magnético do estator, no caso de queda ou variação no fornecimento das baterias do robô, optou-se por adquirir um motor de fluxo magnético contínuo.

A necessidade de otimização de espaço na confecção do sistema robótico, encaminhou o projeto para uma locação vertical do conjunto de tração, fazendo-se necessário uma fixação frontal do motor ao seu conjunto de redução. Na figura 4.13 podemos perceber as fixações M3X2, bem como as medidas estruturais da máquina motriz.

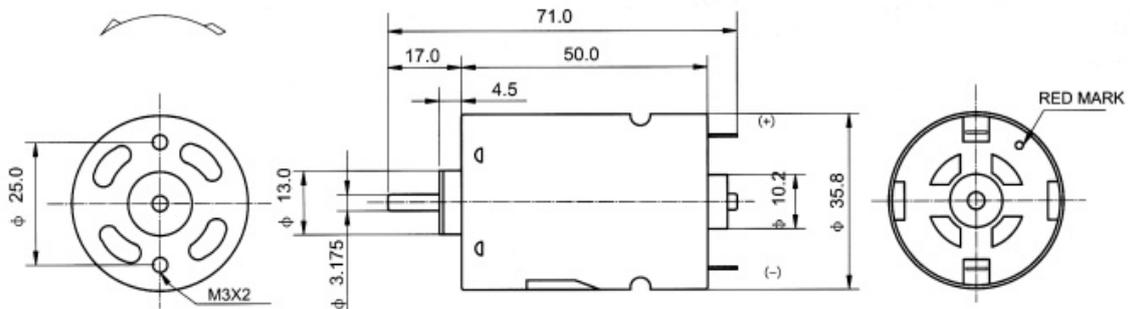


Figura 4.13. Diagrama estrutural do motor RS380S

Fonte: Fabricante Mabuchi motor

O *driver* de controle mantém seu torque constante independente da variação de velocidade exigida pelo sistema robótico durante seu deslocamento. Convém ressaltar que a plataforma mecânica do robô é composta por três suspensões em duplo “A”, conseqüentemente são necessários três motores com seus respectivos sistemas de controle por *PWM*.

Capítulo 5

SISTEMA INTELIGENTE DE CORREÇÃO DE CENTRÓIDE

Este capítulo apresenta a solução desenvolvida, para a correção automática de nivelamento das suspensões independentes do sistema robótico de detecção. Detalha o raciocínio da lógica de controle empregada, sua aplicação em um sistema *fuzzy*, o desenvolvimento do hardware e do firmware de controle.

5.1 Metodologia e projeto

Como em todo robô, a estabilidade durante um deslocamento é algo muito desejável e buscado com muito empenho e pesquisa, por desenvolvedores de sistemas robóticos. No caso de um sistema robótico teleoperado, a necessidade de um sistema inteligente de apoio à operação torna-se quase que fundamental para uma teleoperação mais segura e precisa. Veículos guiados a distância, precisam dispor de mecanismos autônomos que auxiliem o operador nos momentos em que a monitoração de imagens e as informações sensoriais, não sejam suficientes para uma boa tomada de decisão durante uma operação do sistema. É comum veículos teleoperados atolarem ou abarroarem mesmo em ambientes com boa visibilidade e com amplo espaço para operações. Pontos cegos de visualização, transposição de inclinações laterais ou ângulo de ataque menor que o necessário, são geralmente os maiores vilões deste tipo de operação robótica.

No intuito de melhorar o grau de assistência à navegação deste projeto, foi desenvolvido um sistema de nivelamento das suspensões independentes da plataforma 6x6, que possibilita uma constante correção do centro de gravidade de todo conjunto robótico, reduzindo em muito os riscos de abarroamento e deslizamento durante a transposição de superfícies com elevadas inclinações transversais.

O funcionamento consiste em alterar fisicamente a posição do centróide do robô (centro geométrico) com a intenção de deslocar grande parte de sua massa para as partes inferiores da suspensão, causando uma mudança no seu centro de massa e conseqüentemente baixando o centro de gravidade de todo o sistema robótico.

Para isso são utilizados sensores de inclinação, que atuam de forma independente em cada um dos três conjuntos de suspensões, enviando informações do grau de inclinação transversal da estrutura do robô em relação a um sistema de referência. Como o robô possui muitas peças móveis e necessita estar constantemente em movimento, optou-se neste projeto pela utilização de um sistema de pêndulos para geração pontos de referência fixos em relação à estrutura do robô, possibilitando a leitura de variáveis dos três sensores de inclinação, instalados nos centros geométricos de cada bloco estrutural do robô.

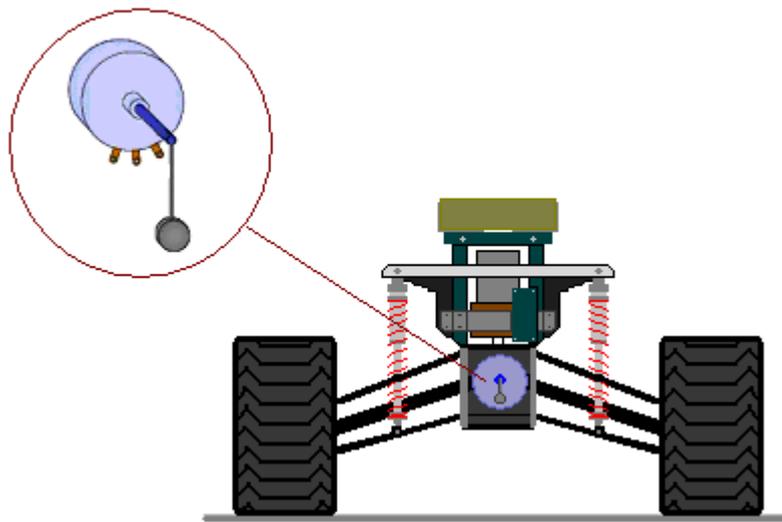


Figura 5.1 Ilustração do sensor de inclinação em destaque da estrutura
Fonte: Autor

Ao transpor um obstáculo que faça do robô inclinar lateralmente, o movimento estrutural fará com que os sensores de inclinação produzam valores resultantes aos ângulos formados entre os corpos dos sensores, que se encontram solidários a estrutura robótica e a posição angular dos seus respectivos pêndulos de referência. Estas informações angulares são enviadas a um controlador *Fuzzy*, passam por um processo de fuzzificação onde são avaliados os graus de pertinência e em seguida a inferência atua analisando as informações fuzzificadas através da ativação de regras *fuzzy*. Então a solução encontrada é defuzzificada e transformada em um resultado numérico de saída. Esta informação numérica é enviada a um módulo eletrônico, que a converte em sinais elétricos de comandamento de servomotores, para que a execução da solução possa ser implementada.

O controlador *fuzzy* desenvolvido neste projeto, basicamente serve para analisar uma base de regras que diz se devemos subir ou descer a altura da suspensão do robô em decorrência da análise de informações de deslocamentos angulares de sensores. É um tipo de controle muito similar ao empregado no sistema clássico de controle *fuzzy* de um pêndulo invertido. Com a diferença fundamental de ser um sistema de controle aberto. Por não possuir qualquer tipo de realimentação de informação de execução, este problema precisa atuar em uma linha de ação voltada à execução de funções de saídas posicionais, ou seja, cada valor numérico de saída expressa uma posição física de onde a suspensão deverá se posicionar.

Para atuar na correção da suspensão como mostrado na figura 5.2, foram definidas algumas variáveis de entrada de dados e outras para a obtenção de referências.

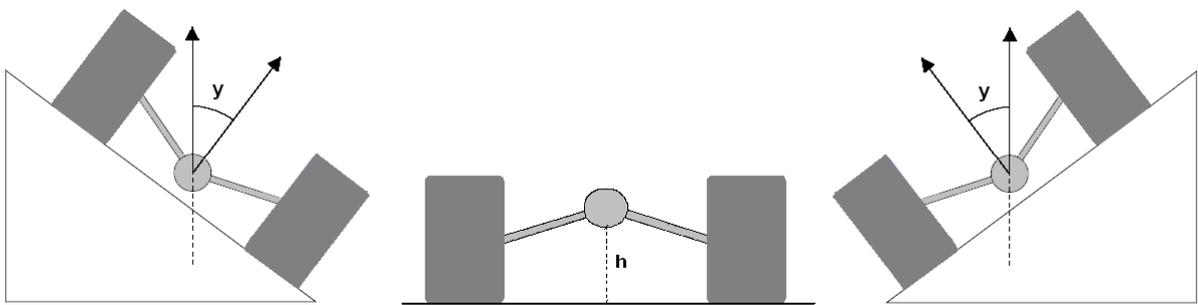


Figura 5.2 Ilustração da estrutura e suas variáveis

Fonte: Autor

Sendo “y” o ângulo que o chassi do sistema faz com a posição vertical em radianos, “h” a altura da suspensão em relação ao solo dada em milímetros e “j” denota a referência gerada pelo braço do pêndulo em relação à posição vertical. Dessa forma podemos escrever:

$$e(t) = j(t) - y(t) \quad [5.1]$$

e

$$\frac{d}{dt} e(t) \quad [5.2]$$

Onde $e(t)$ é o erro resultante da diferença entre posição de referência $j(t)$ e a posição $y(t)$ durante certo instante de tempo. A derivada do erro expressa a mudança do erro, ou seja, a velocidade de correção angular e o seu sentido, em radianos/seg.

A figura 5.3 ilustra a função de controle utilizada neste sistema de malha aberta e apresenta a variável manipulada “u” (VM), responsável pela correção da altura da suspensão do robô representada pela variável controlada “h” (VC). VM representa a correção angular do servomotor correspondente ao ajuste da altura “h”.

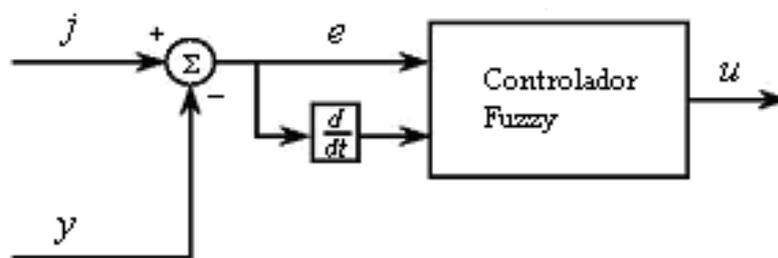


Figura 5.3 Diagrama de controle de processo

Fonte: Autor

A representação lingüística deste sistema, busca introduzir uma analogia com o pensamento de um especialista humano e facilitar a discretização de suas variáveis.

As variáveis de entrada e saída utilizadas pelo controlador *fuzzy*, receberam descrições lingüísticas com indicações de grandezas positivas e negativas organizadas de forma crescente, com suas respectivas atribuições numéricas, conforme apresentado na tabela 5.1.

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO LINGUÍSTICA	ABREVIATURA	ATRIBUIÇÃO NUMÉRICA
$e(t)$	Muito negativo	Mneg	-2
	Pouco negativo	Pcng	-1
	Zero	zero	0
	Pouco Positivo	Pcps	1
	Muito Positivo	Mpos	2
$\frac{d}{dt} e(t)$	Grande negativo	Gneg	-2
	Pequeno negativo	Pqng	-1
	zero	zero	0
	Pequeno Positivo	Pqps	1
	Grande Positivo	Gpos	2
u	Interstício máximo	Imax	-2
	Interstício médio máximo	Immax	-1
	Interstício médio	Imed	0
	Interstício médio mínimo	Immin	1
	Interstício mínimo	Imin	2

Tabela 5.1 Descrição linguística e atribuição

Fonte: Autor

As descrições linguísticas variam com o tipo de utilidade dada a cada variável, dentro do seu sistema de controle. Como o erro expressa a diferença angular da posição desejada ($J = 0$) com a variação $y(t)$, sua descrição busca fazer uma analogia linguística de aumento e diminuição angular. Quanto à derivada do erro, sua descrição visa simbolizar a intensidade e o sentido da mudança do erro. No caso da variável de saída “ u ”, sua descrição retrata a faixa de variação *PWM* utilizada para o reposicionamento dos servos de controle das suspensões do robô, dada em milisegundos.

Tomando como base as posições definidas na figura 5.4, temos as seguintes regras:

1. Se o erro é Muito negativo e a derivada do erro é Grande negativo, então a correção é Interstício mínimo. Esta regra quantifica a situação da Figura 5.4(a), onde o robô encontra-se em uma inclinação lateral acentuada à direita e o sensor de inclinação tem um ângulo positivo grande, assim o servomotor aplica uma força proporcional deslocando a suspensão para baixo, a fim de reduzir ao máximo a distância com o solo.

2. Se o erro é zero e derivada do erro é Pequeno positivo, então a correção é Interstício máximo. Esta regra quantifica a situação da Figura 5.4(b), onde o robô tem um ângulo quase zero com o vertical (uma quantificação lingüística de zero não implica que $e(t) = 0$ exatamente) e está tendendo a inclinar à direita, portanto devemos baixar minimamente a altura da suspensão de modo a ajustar o seu centro de gravidade.
3. Se o erro é Pouco positivo e a derivada do erro é Pequeno negativa, então a correção é Interstício máximo. Esta regra quantifica a situação da Figura 5.4(c), onde o robô encontra-se em uma pequena inclinação à esquerda e está na iminência haver uma pouca redução na inclinação do plano onde se encontra, então aplica-se uma pequena correção fazendo com que a suspensão do robô se eleve proporcionalmente.

Convém ressaltar que a aplicação de uma correção forte demais ou fraca demais, pode resultar na ultrapassagem da posição desejada, ocasionando possíveis acidentes no deslocamento do robô, tanto causado pela elevação indevida do centro de gravidade na transposição de elevadas inclinações laterais, como também, pela redução desnecessária do vão livre ocasionando atolamentos ou limitando a transposição de obstáculos.

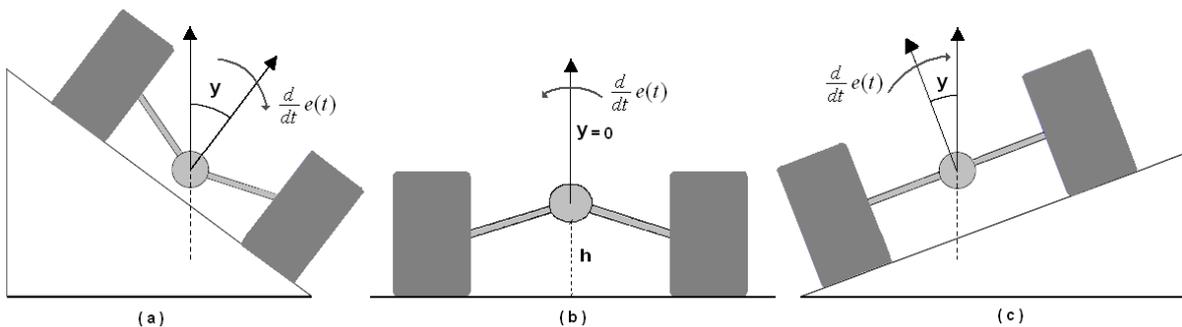


Figura 5.4 Representação da aplicação de regras

Fonte: Autor

Cada uma das três regras listadas acima é uma regra lingüística, uma vez que são formadas exclusivamente a partir de variáveis lingüísticas e valores. Como os valores lingüísticos não são representações precisas das quantidades que eles descrevem, as regras lingüísticas acabam não sendo muito precisas. No entanto, apesar do nível de abstração esta regras possibilitam definir o conceito inicial de premissas e conseqüências necessário ao desenvolvimento das regras de inferência *fuzzy*. Usando a abordagem acima, poderíamos continuar a escrever as regras para a solução de todos os casos possíveis. Note que especificamos para entrada do controlador *fuzzy* duas variáveis lingüísticas, com cinco valores lingüísticos para cada uma destas, logo, há no

máximo $5^2 = 25$ possíveis regras. A representação tabular apresentada na tabela 5.2, demonstra o conjunto possível de regras para o problema da correção de centróide deste sistema robótico.

u		$\frac{d}{dt} e(t)$				
		-2	-1	0	1	2
$e(t)$	-2	2	2	2	1	0
	-1	2	1	0	-1	-2
	0	0	-1	-2	-1	0
	1	-2	-1	0	1	2
	2	0	1	2	2	2

Tabela 5.2 Representação tabular das regras de inferência *fuzzy*

Fonte: Autor

Os processos de fuzzificação e defuzzificação partem da definição de funções de pertinência para as variáveis de entrada e saída respectivamente.

Para o controlador utilizado neste projeto são usadas funções de pertinência triangulares e para a saída “u” foram definidas graduações para a função de pertinência. A descrição matemática das funções de pertinência utilizada encontra-se representada na tabela 5.3.

Funções de pertinência triangulares	
Esquerda	$\mu^L(u) = \begin{cases} 1 & \text{se } u \leq c^L \\ \text{máx} \left\{ 0, 1 + \frac{c^L - u}{0.5w^L} \right\} & \text{caso contrário} \end{cases}$
Centro	$\mu^C(u) = \begin{cases} \text{máx} \left\{ 0, 1 + \frac{u - c}{0.5w} \right\} & \text{se } u \leq c \\ \text{máx} \left\{ 0, 1 + \frac{c - u}{0.5w} \right\} & \text{caso contrário} \end{cases}$
Direita	$\mu^R(u) = \begin{cases} \text{máx} \left\{ 0, 1 + \frac{u - c^R}{0.5w^R} \right\} & \text{se } u \leq c^R \\ 1 & \text{caso contrário} \end{cases}$

Tabela 5.3 Descrição matemática das funções triangulares de pertinência

Fonte: PASSINO, 1998

A seguir são apresentadas as funções de pertinência do erro $e(t)$, da derivada do erro $\frac{d}{dt} e(t)$ e da correção de posição “u”. Foi escolhida a mesma quantidade de intervalos e extremos para a representação as três funções de pertinência. Cada função é dividida

simetricamente em dois intervalos e dois extremos conforme representado nas figuras 5.5, 5.6 e 5.7.

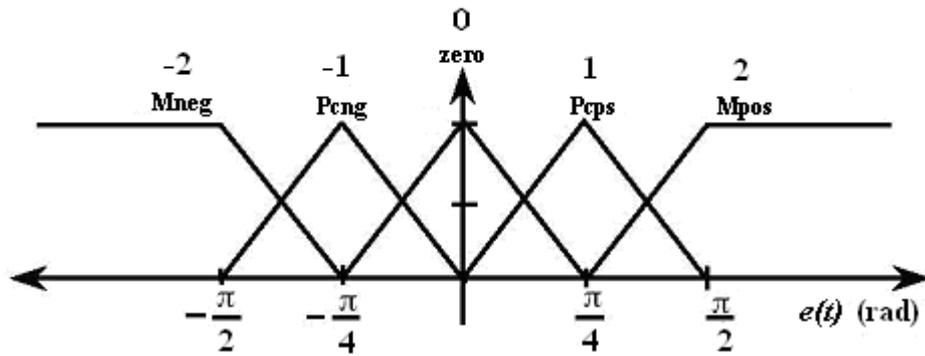


Figura 5.5 Funções de pertinência do erro

Fonte: Autor

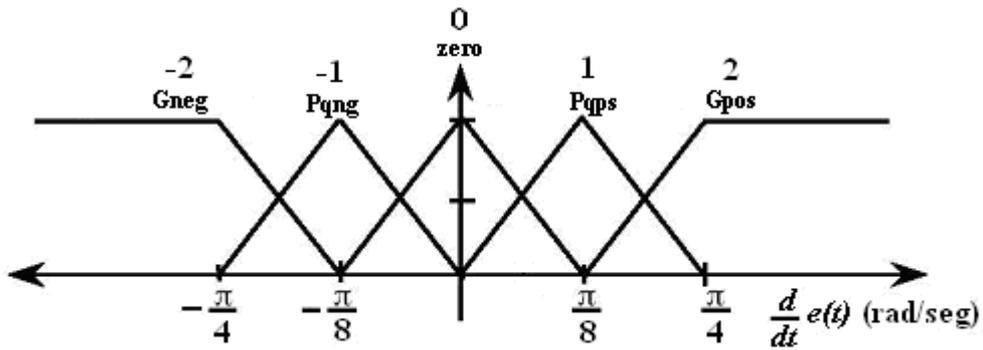


Figura 5.6 Funções de pertinência da mudança do erro

Fonte: Autor

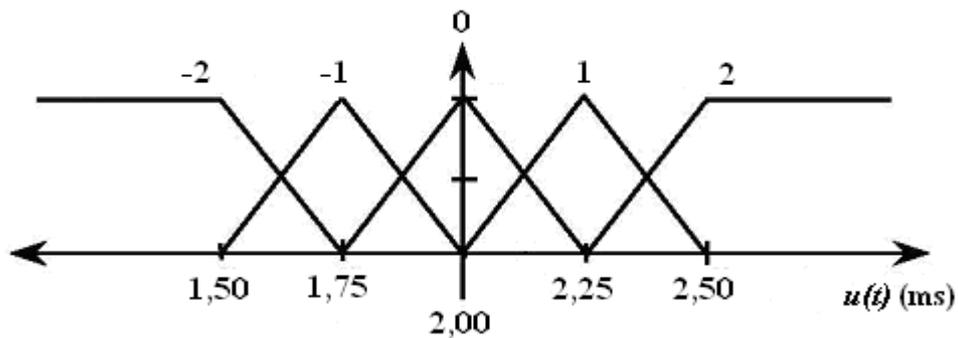


Figura 5.7 Funções de pertinência da correção

Fonte: Autor

A interpretação das regras é responsabilidade do operador de implicação que avalia tanto do lado esquerdo, quanto do lado direito da função de pertencimento e proporciona uma resposta que nada mais é do que a própria implicação. Nesta etapa é

onde são obtidas as regras lingüísticas, que são geradas em conseqüência a aplicação de operadores *and*, *or*, *else* e outros.

Abaixo são descritas as regras referentes aos parâmetros definidos de premissa e conseqüência representados por operadores de implicação.

- Regra 01: *if e(t) 0 and if de(t)/dt -2 then u 0*
- Regra 02: *if e(t) 0 and if de(t)/dt -1 then u -1*
- Regra 03: *if e(t) 0 and if de(t)/dt 0 then u -2*
- Regra 04: *if e(t) 0 and if de(t)/dt 1 then u -1*
- Regra 05: *if e(t) 0 and if de(t)/dt 2 then u 0*
- Regra 06: *if e(t) -1 and if de(t)/dt -2 then u 2*
- Regra 07: *if e(t) -1 and if de(t)/dt -1 then u 1*
- Regra 08: *if e(t) -1 and if de(t)/dt 0 then u 0*
- Regra 09: *if e(t) -1 and if de(t)/dt 1 then u -1*
- Regra 10: *if e(t) -1 and if de(t)/dt 2 then u -2*
- Regra 11: *if e(t) -2 and if de(t)/dt -2 then u 2*
- Regra 12: *if e(t) -2 and if de(t)/dt -1 then u 2*
- Regra 13: *if e(t) -2 and if de(t)/dt 0 then u 2*
- Regra 14: *if e(t) -2 and if de(t)/dt 1 then u 1*
- Regra 15: *if e(t) -2 and if de(t)/dt 2 then u 0*
- Regra 16: *if e(t) 1 and if de(t)/dt -2 then u -2*
- Regra 17: *if e(t) 1 and if de(t)/dt -1 then u -1*
- Regra 18: *if e(t) 1 and if de(t)/dt 0 then u 0*
- Regra 19: *if e(t) 1 and if de(t)/dt 1 then u 1*
- Regra 20: *if e(t) 1 and if de(t)/dt 2 then u 2*
- Regra 21: *if e(t) 2 and if de(t)/dt -2 then u 0*
- Regra 22: *if e(t) 2 and if de(t)/dt -1 then u 1*
- Regra 23: *if e(t) 2 and if de(t)/dt 0 then u 2*
- Regra 24: *if e(t) 2 and if de(t)/dt 1 then u 2*
- Regra 25: *if e(t) 2 and if de(t)/dt 2 then u 2*

Em seguida, consideramos a operação de defuzzificação, que é o componente final do controlador *fuzzy*. Pode-se pensar na defuzzificação como a decodificação das informações produzidas pelo conjunto fuzzy no processo de inferência. O método de defuzzificação utilizado neste trabalho consiste em encontrar o centro de gravidade

(*Center of Gravity – COG*). A fórmula clássica para o cálculo do centro de gravidade é apresentada abaixo.

$$u^{crisp} = \frac{\sum_i b_i \int \mu(i)}{\sum_i \int \mu(i)} \quad [5.3]$$

Capítulo 6

TELEOPERAÇÃO E CONTROLE POR SISTEMA *MOBILE*

Este capítulo apresenta os diferentes tipos de classificação em teleoperação e suas possíveis interações homem-máquina. E descreve e justifica a escolha do sistema *mobile*, como plataforma de controle do sistema robótico de detecção radiológica, proposto neste projeto.

6.1 Operação robótica em ambiente nuclear

O ambiente nuclear, assim como qualquer outro ambiente hostil à presença humana, requer algumas características de operação e controle, voltadas não só integridade física do equipamento aplicado, como também, a integridade física dos seus operadores. Em áreas de exposição à radiação, esta preocupação torna-se ainda mais acentuada, pois a distância de segurança de operação pode variar de algumas dezenas de metros a dezenas de quilômetros.

Os tipos de operações remotas passíveis de serem implementadas em unidades robóticas de detecção, vão desde um controle umbilical (através de cabos) até as teleoperações mais complexas. O controle umbilical é recomendado para robôs fixo, em ambientes laboratoriais, fabris ou depósitos. Tendo em vista, a manipulação do material radioativo se dar em um ambiente controlado preparado para este fim e a presença de um centro de controle de operadores remotas protegido da exposição radioativa. A teleoperação é recomendada nos casos em que se requer a presença *in loco* de um profissional para verificar níveis de concentração radioativa, ou para nos casos em que se requer a informação, mas a presença humana não é recomendada.

Diversos estudos feitos ao longo dos anos confirmam a necessidade de controles teleoperados na aplicação robótica em áreas hostis a presença humana. Estudos realizados em (DECRETON, 1991), em (AVRAM, 2008) na pesquisa do robô triciclo, em (ROMAN, 1993) no projeto do robô ROSA, em (BARES, 1996) com o robô Rosie, em (SAVALL, 1999) que descreve o robô Robicen III, em (YOUK, *et al.*, 1999) que na descrição do KAEROT/m2, como também nas pesquisas feitas em (DECRETON, 1995,

BENNETT, 1997, HOUSSAY, 2000) apontam para a utilização de sistemas teleoperados, como uma solução para realização de tarefas em ambientes com exposição a radiação.

A teleoperação pode ser definida como um controle contínuo e direto realizado à distância por um operador, sobre uma máquina teleoperada com o propósito de execução de tarefas (ÁLVARES e ROMARIZ, 2002). O desenvolvimento inicial da teleoperação destinou-se a manipulação de materiais radioativos e almejava proporcionar a um operador a possibilidade de exercer força e realizar movimentos a distâncias seguras com base em dados visuais.

Para a realização de uma operação remota de controle, faz-se necessário possuir um suporte visual com capacidade suficiente para fornecer a informação necessária para a interpretação do ambiente remoto e a conseqüente realização de tarefas. Cabe ressaltar que a informação visual é o fator de maior importância para o operador durante o controle de uma teleoperação de um sistema robótico, motivo pelo qual encontra-se presente em quase todos os modos de operação remota como a principal fonte sensorial para a percepção de um ambiente para navegação.

Outro fator que merece destaque é a sensibilidade do sensor visual durante a transmissão de imagens em ambientes pouco iluminados. A intensidade de luz disponível no ambiente de operação torna-se um fator crítico em muitas aplicações. Em certas ocasiões faz-se necessário dotar o sistema robótico de uma iluminação artificial que possa ser direcionada concomitantemente com o deslocamento do sistema de vídeo. Uma boa iluminação é um fator crucial para a boa realização de uma tarefa, reduzindo o tempo de operação e amenizando a fadiga do operador.

A telerobótica é a forma como ficou conhecida o emprego da teleoperação em sistemas robóticos. Porém este termo não representa apenas a uma simples forma de controle a distância, ele conjuga a utilização de uma teleoperação com o emprego de controle automatizado de uma unidade robótica, ou seja, reúne a possibilidade de controlar à distância um sistema robótico que possua certo nível de inteligência. Esta cooperação homem-robô, trás muitas vantagens e minimiza em muito a limitação das duas partes.

Transparência em telerobótica expressa a capacidade que o sistema de controle possui de passar ao ser humano a sensação de estar inserido no ambiente remoto de operação. Portanto, uma das metas principais em teleoperação é melhorar a

transparência do sistema. Algumas características importantes para melhorar a transparência de um sistema teleoperado incluem segundo (ÁLVARES, 2001):

- “ Mobilidade da teleoperação “
- “ A comunicação entre o operador e o sistema robótico “
- “ Tempo de resposta entre um comando enviado e sua execução “
- “ As extensões sensoriais do operador no ambiente remoto “

Em função da independência do sistema robótico durante uma operação remota de controle, os sistemas de teleoperação podem ser classificados segundo (ÁLVARES, 2001) como:

- “ Controle manual sem auxílio computacional ”
- “ Controle manual com significativo auxílio ou transformação computacional ”
- “ Controle supervisor com predomínio do controle realizado pelo operador humano ”
- “ Controle supervisor com predomínio do controle computacional ”
- “ Controle completamente autônomo, onde o operador humano observam o processo sem intervenções ”

Os níveis de relação entre um operador de equipamento remotamente controlado e o sistema executor de tarefas, vêm sendo alvo de estudos a décadas e seus conceitos aprimorados com o crescente avanço da tecnologia (MILGRAM, 1992).

O modelo Mestre-Escravo descreve o sistema de teleoperação mais tradicional, onde o operador manipula um sistema robótico através de imagens de vídeo ou por observação direta do ambiente de operação. Tratam-se geralmente de braços robóticos manipuladores utilizados em ambientes controlados para manipulação de materiais de alto risco.

Segundo (MOREIRA, 1998) os primeiros sistemas mestre-escravo nada mais eram do que pantógrafos mecânicos e foram utilizados na manipulação de materiais radioativos no *Argonne National Laboratory* em 1945. Com o acidente na usina nuclear *Three Mile Island* na Pensilvânia (EUA) em 1979, a teleoperação voltou a ser empregada em aplicações nucleares. A *Carnegie Mellon University* desenvolveu um veículo de

reconhecimento remoto que foi utilizado para inspecionar a parte estrutural da usina nuclear e viabilizar a retirada da água radioativa que vazou do reator (VIEIRA, 1999).

O modelo de Telepresença traz a possibilidade de estender os sentidos do operador do sistema aos locais mais remotos. Consiste na utilização de diversos tipos de sensores que dão ao operador a sensação de estar presente no ambiente de operação. O operador recebe um estímulo correspondente as informações enviadas pelo sistema robótico e vice-versa (VIEIRA, 1999).

Existem três fatores importantes que determinam o sentido de presença em um ambiente remoto segundo (SHERIDAN, 1992):

- “ A extensão da informação sensorial: idealmente o mesmo nível de informação de sensor que o operador teria se ele estivesse fisicamente no ambiente remoto ”
- “ O controle do sensor: a habilidade para modificar a posição do dispositivo usado para sentir ”
- “ A habilidade para modificar o ambiente remoto: podendo mudar objetos no ambiente remoto ou a relação entre eles ”

Os sistemas de telepresença utilizam-se de diversos sensores de movimento, de háptica entre outras soluções tecnológicas na tentativa de alcançar uma condição ideal de intercomunicação entre o operador e o sistema robótico. O objetivo final desse modelo é trazer para o operador a sensação de estar inserido no ambiente de trabalho remoto, facilitando ao máximo a realização das tarefas.

O modelo Professor-Aluno propõe a utilização de uma das tarefas mais difíceis na inteligência artificial, que é o desenvolvimento do aprendizado de sistemas computacionais. Neste modelo define-se a função de “professor” ao operador do sistema e a de “aluno” a um robô, que possua uma capacidade de inteligência computacional suficiente para o reconhecimento e execução de funções de execução em situações previamente aprendidas. Embora hajam diversos estudos voltados para este tipo de aplicação, muitas tecnologias ainda devem ser desenvolvidas e integradas para o perfeito funcionamento deste modelo (MILGRAM, 1992).

No modelo Supervisor-Companheiro o operador do sistema atua como um supervisor, ao invés de projetar-se no ambiente remoto. A presença de um operador humano, apenas serve para incorporar capacidades computacionais o sistema robótico, como precisão e capacidades sensoriais para a realização das tarefas (MILGRAM,

1992). O robô deixa de ser um mero executor de tarefas e coloca o operador em uma posição de observador.

6.2 Teleoperação *mobile* e transceptores convencionais

A ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) é o órgão responsável pela destinação e controle das faixas de frequências autorizadas no país, o que inclui a utilização em transmissores e receptores de sinais de qualquer tipo ou emprego, descritas no PDFF (Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências no Brasil).

Algumas faixas de frequência comumente empregadas em transmissores e transceptores de rádio controle são:

- 27MHz e 50MHz, utilizados geralmente em brinquedos;
- 72Mhz e 75Mhz, utilizados em aerodelismo e automodelismo;
- 315MHz, 418MHz e 433,92MHz, utilizados em módulos de transmissão e recepção para fins comerciais;
- 433MHz a 434MHz, utilizados em maquinários industriais.

O maior alcance útil destes transmissores não ultrapassam os 1500 metros (no caso de 72MHz e 75MHz) em visada direta e com condições ambientais favoráveis. Possuem tamanho, peso e consumo de energia relativamente grandes comparados aos seus pares.

Os módulos de 315MHz, 418MHz e 433,92MHz, são mais leves, menores, possuem baixo consumo energia e de fácil aplicabilidade em circuitos eletrônicos. No entanto, seu alcance útil não ultrapassa os 100 metros.

As faixas de frequência mais baixas possuem maior facilidade de lidar com obstáculos, comparadas as frequências mais altas que por possuírem um comprimento de onda muito pequeno, tornando-se muito direcionais. Porém, as frequências mais altas conseguem atingir grandes distâncias com consumo muito menor de energia comparada às baixas frequências.

A teleoperação e o controle de sistemas remotos, como o sistema robótico de detecção proposto nesta tese de mestrado. Necessitam de características muito peculiares, como:

- Baixo consumo de energia;
- Grande alcance de transmissão;
- Pouco peso;
- Minimização dos componentes sensíveis à radiação;
- Modularização de circuitos;

A utilização de sistemas transmissores e receptores convencionais, como em (AVRAM, 2008), Robicen III descrito na pesquisa (SAVALL, 1999), o KAEROT/m2 descrito no (YOUK, *et al.*, 1999) e em diversos outros protótipos desenvolvidos com o intuito de aplicações em detecções na área nuclear, é problemática no ponto de vista do seu alcance útil de utilização uma vez certas situações críticas de detecção radiológica exija uma distância mínima, de pelo menos, algumas dezenas de quilômetros. Pode-se citar o caso atual de Fukushima no Japão, onde a distância mínima de segurança ultrapassa os 20 km. É imprescindível a utilização de transmissores que possibilitem um alcance de controle a uma distância de segurança acima dos 50 Km.

Transmissores para estas distâncias seriam enviáveis do ponto de vista de peso e consumo de energia. Uma solução seria a utilização de um sistema de repetição de sinais a baixa potência, ao invés da transmissão de sinais ponto a ponto. Porém, o custo do projeto aumentaria muito e a distância de segurança seria comprometida, pois pessoas teriam que instalar torres nas proximidades do ambiente de detecção.

Todas as características apresentadas neste capítulo culminaram na opção pela utilização de um sistema *mobile*, por possuir as qualidades priorizadas nesta tese, para um funcionamento ideal de uma teleoperação robótica de controle em uma situação crítica de detecção radiológica. São elas:

- Baixíssimo consumo de energia na transcepção de controle;
- Tamanho do transceptor muito reduzido;
- Peso muito baixo;
- Sistema compacto e intercambiável;

- Alcance útil limitado apenas a presença de sinal de telefonia móvel;
- Utilização de antenas retransmissoras de operadoras de telefonia.

Estas características, aliadas ao firmware, hardware e software desenvolvidos neste trabalho, como também, a utilização de sistemas inteligentes, fazem deste projeto uma boa opção de utilização real e prática no âmbito de centrais nucleares.

6.3 Embasamento *mobile*

Uma rede de telefonia celular, como o próprio nome sugere é composta por várias células. O conjunto de células é chamado de clusters. O provedor do sistema divide uma cidade em células hexagonais com dimensões médias de 26 quilômetros. As células normalmente são imaginadas como hexágonos de uma grande grade hexagonal.

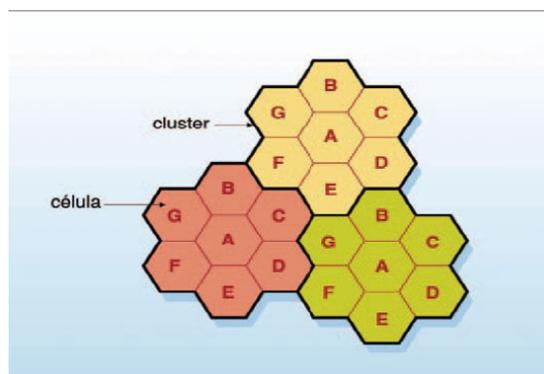


Figura 6.1 Exemplo de célula e clusters
 Fonte: Universidade de Brasília.ACEL.2005.

A quantidade de canais existentes em cada célula irá definir o tráfego de chamadas, e a área de cobertura (tamanho da célula) é definida pela demanda. Se a célula for grande, menor é a demanda (quantidade de usuários). Se a célula for pequena, maior será a demanda e, conseqüentemente, a quantidade de usuários.

As transmissões entre uma estação base e os celulares dentro de sua célula não vão muito além daquela célula. Os celulares usam transmissores de baixa potência (máximo três watts), assim como as estações base de transmissão. O consumo de energia do telefone celular, que normalmente é operado por bateria, é relativamente baixo. Baixa potência significa baterias pequenas, e isso possibilita fazer telefones celulares bastante pequenos.

Hoje no Brasil, as três tecnologias digitais utilizadas em telefonia móvel celular são:

- TDMA (*Time Division Multiple Access*)
- CDMA (*Code Division Multiple Access*)
- GSM (*Global System for Mobile Communications*)

O GSM é a tecnologia digital mais usada a nível mundial, com mais de 690 redes móveis em prestação de serviços de 213 países, representando 82,4% de todas as conexões móveis globais. Hoje, quase todas as empresas operadoras de telefonia no país migraram para o sistema GSM, ou o utilizam concomitantemente com o seu sistema original. A possibilidade de utilização do cartão SIM (*Subscriber Identity Module*) na identificação, controle e armazenamento de dados foi uma das razões da grande difusão desta tecnologia.

As faixas de frequências utilizadas são divididas nas bandas A, B, C, D e E (C em Implementação) e utilizadas pelas operadoras de telefonia dentro das suas respectivas regiões concessionadas.

	Banda A	Band B	Banda D	Banda E
Região 1	Vivo	Claro	TIM	Oi Brasil Tel Cel
Região 2				
Região 3			Oi Brasil Tel Cel	TIM
Região 4		TIM		
Região 5	TIM Sul	Vivo		
Região 6	Vivo	Claro	TIM	Oi Brasil Tel Cel
Região 7				
Região 8	Claro	Vivo	Oi Brasil Tel Cel	TIM
Região 9	Vivo	TIM		
Região 10	TIM Nordeste	Claro		

Figura 6.2 Distribuição das operadoras por região
Fonte: Pyramid Research

6.4 Dinâmica do controle mobile

O sistema de controle robótico proposto neste projeto, é composto basicamente por um transceptor *mobile* instalado na unidade robótica de detecção, responsável por recepcionar os sinais de controle enviados pelo operador do sistema e repassá-lo ao

módulo de decodificação e sequentemente a execução de funções. Por se tratar de um transceptor, ou seja, tanto poder transmitir como receber informações, esta unidades possui condições de retornar informações de detecção, coordenadas de posição e outros tipos de informação que se fizerem necessárias.

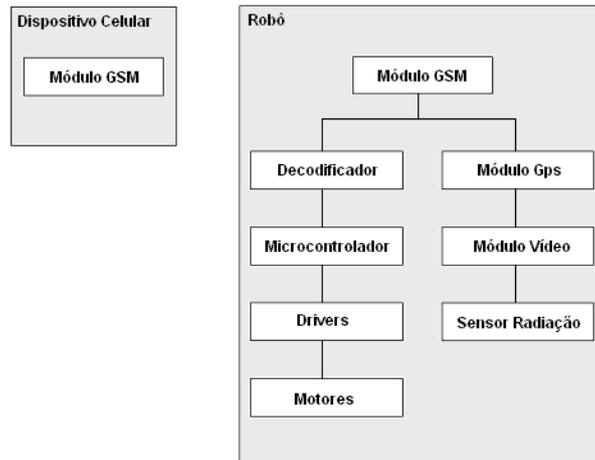


Figura 6.3 Diagrama em bloco de funções
Fonte: Autor

O equipamento de controle do operador (*Mobile Device*), pode variar desde um simples aparelho de telefonia móvel celular até um *tablet PC*. Qualquer dispositivo que possua conexão com a rede móvel ou uma conexão de banda larga, poderá ser utilizado. Exemplo: *Smartfone*, *Handheld*, PDA, Notebook e PCs em geral.

A praticidade e intercambiabilidade tanto do dispositivo de controle do operador, como também, do dispositivo do sistema robótico controlado. Proporcionam uma grande vantagem deste modelo de utilização, pois possibilitam um leque amplo opções de utilização em um momento de emergência.

O funcionamento do sistema é simples e de fácil manuseio. Não requerendo desta forma um alto grau de treinamento, como é comum exigirem os projetos desta linha.

O sistema *mobile* localizado na unidade robótica, é dotado de um cartão SIM onde encontram-se salvos dados convencionais do sistema de telefonia móvel celular. Para conectar-se ao sistema, basta o operador efetuar uma chamada convencional para a unidade robótica e a partir daí selecionar as funções que lhe forem necessárias, para o melhor desempenho no deslocamento da unidade robótica de detecção. A execução de funções é dada pela simples seleção via teclado numérico físico ou virtual, dependendo do dispositivo de comunicação utilizado. A figura 3.4 ilustra um modelo de teclado numérico e sua correspondência no funcionamento de controle do robô.

1	2	3	↶	↑	↷
4	5	6	↙↙↙	Ⓟ	↘↘↘
7	8	9	↘↘↘	↓	↙↙↙
*	0	#	↷	Luz	↶

Figura 6.4 Correspondência de funções de controle

Fonte: Autor

Se o dispositivo utilizado para controle for conectado ao sistema robótico através de uma ligação celular convencional, o sistema de transmissão de imagem deverá ser feito através da função de vídeo chamada disponível para o aparelho utilizado. Caso a conexão seja feita através de uma chamada por sistema de Internet banda larga, a transmissão de vídeo poderá se dar através da utilização do sistema de comunicação global da *Skype Technologies*. Em ambas as utilizações há a possibilidade de utilização de um teclado numérico telefônico físico ou virtual para a execução de funções.

Capítulo 7

PROTOTIPAGEM E RESULTADOS

A construção do protótipo seguiu fielmente os cálculos e os parâmetros estabelecidos durante o desenvolvimento desta dissertação, visando à demonstração funcional do projeto e a viabilidade prática de um emprego real.

As etapas de confecção do sistema robótico foram divididas em três partes:

- Estrutura mecânica;
- Eletrônica de controle;
- Programação operacional.

A Construção da estrutura mecânica contou primeiramente com a confecção do conjunto de suspensões, juntamente com a elaboração da estrutura de atuação do sistema de correção do centro de gravidade. As figura 7.1 e 7.2 ilustram respectivamente a composição do sistema de correção e a suspensão em duplo “A” com vista explodida.



Figura 7.1 Componentes mecânicos do sistema de correção do centro de gravidade

Fonte: Autor

