

Dep. de Eng. de Computação e Automação Industrial
Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação,
Universidade Estadual de Campinas.

ESTUDO E ESPECIFICAÇÃO DE UM VEÍCULO AUTOGUIADO PARA CRIANÇAS COM SEVERA DEFICIÊNCIA MOTORA

Autor: Ricardo Sucaria Leonel

Orientador: Prof. Dr. José Raimundo de Oliveira

Banca:

Profa. Dra. Maria Teresa Eglér Mantoan - FE-UNICAMP

Prof. Dr. Márcio Luis de Andrade Netto - DCA-FEEC-UNICAMP

Prof. Dr. Antonio Augusto Fasolo Quevedo - DEB - FEEC - UNICAMP

Dissertação apresentada como
requisito parcial à obtenção do grau
de **Mestre em Engenharia Elétrica.**

Campinas, outubro de 2001

Resumo

Este trabalho objetiva o estudo e a especificação de um veículo com capacidade de guiagem automática para ser empregado na educação precoce de crianças que nasceram com graves deficiências motoras. Para este estudo foram estabelecidos diversos contatos com profissionais que lidam com estas crianças, além de um extenso levantamento bibliográfico na área psico-pedagógica da questão. Nos estudos específicos de engenharia foram considerados os aspectos eletro-eletrônicos, mecânicos e de controle e automação com destaque para os conceitos relativos à navegação, guiagem, modelos dinâmicos e de interface homem-máquina. Como resultado destes estudos, uma especificação da arquitetura do veículo é proposta.

Palavras-Chave: Mobilidade Alternativa, Mobilidade Aumentativa, Veículo Autoguiado, Deficiência Motora, Desenvolvimento Cognitivo, Sensores.

Abstract

The goal for this work is to propose an automatically guided vehicle to be employed as an auxiliary tool in the early education process of motion-impaired children. An understanding of the relevant psychological/pedagogical issues has been developed through several interactions with skilled professionals who work with such children on a daily basis, coupled with an extensive bibliographical review. Electronics, mechanics, automation and control concepts - especially topics related to navigation, dynamics modeling and man-machine interfacing - have been carefully investigated in order to overcome the engineering challenges of the project. As a result, specifications for the vehicle's architecture are provided.

KeyWords: Alternative Mobility, Aumentative Mobility, Automatically Guided Vehicle, Motion-Impaired People, Knowledge Development, Sensors.

Tabela de Conteúdo

Capítulo 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	1
1.2 Este trabalho	3
Capítulo 2 MOBILIDADE ALTERNATIVA.....	5
2.1 Introdução	5
2.2 A mobilidade e o desenvolvimento	5
2.3 Conceitos	6
2.4 Conclusões	13
CAPÍTULO 3 VEÍCULOS AUTOGUIADOS - SISTEMAS DE LOCOMOÇÃO .	15
3.1 Introdução	15
3.2 Métodos de Locomoção	16
3.3 Tipos de Tração	18
3.4 Cinemática do veículo	19
3.4.1 Giro das rodas no mesmo sentido	20
3.4.2 Giro das rodas em sentidos diferentes:.....	22
3.4.3 Giro das rodas em sentidos e velocidades diferentes	23
3.4.4 Outras Considerações	24
3.5 Motores de tração	25
3.5.1 Relação de Torque em uma máquina CC:.....	27
3.5.2 Relação de Torque em uma máquina CA:	28
3.6 Controle dos motores de tração	29
3.6.1 Controle por elementos passivos.....	30
3.6.2 Controle por elementos ativos.....	31
3.7 Conclusão	35
Capítulo 4 VEÍCULOS AUTOGUIADOS – SISTEMAS DE CONTROLE	37
4.1 Introdução	37
4.2 Níveis de Automação	37
4.3 Controle autônomo do veículo	39
4.3.1 Controle em malha fechada (por realimentação):	42
4.3.2 Controle em Malha Aberta:	43
4.3.3 Controle Combinado:	44
4.4 Sensoriamento de obstáculos	44
4.5 Transdutores Mecânicos	47
4.5.1 Transdutores para Dimensões Lineares (Medidas de Comprimento ou Espessura)	47
4.5.2 Transdutores para Deslocamento ou Força	47
4.5.3 Transdutores para Velocidade e Aceleração	48
4.6 Conclusão	49
Capítulo 5 A INTERAÇÃO E POSICIONAMENTO DO USUÁRIO.....	51
5.1 Introdução	51
5.2 Sensores Biomédicos	51
5.3 Posicionamento Terapêutico - Seating.	53
5.4 Conclusão	54

Capítulo 6 ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO	55
6.1 Introdução	55
6.2 Principais Características do Projeto PALMA	55
6.3 Especificação do Projeto do DCA	56
6.4 Descrição do Veículo	57
6.5 Software de Controle	59
6.6 Conclusão	60
Capítulo 7 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS.....	61
7.1 Modularidade.	62
7.2 Aspecto Lúdico	62
7.3 As aplicações possíveis.	62
7.4 O que foi feito e o que falta fazer	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXO A – Alternativas de Projetos Mecânicos de Cadeiras de Rodas	71

Capítulo 1 INTRODUÇÃO

1.1 *Objetivos*

O presente trabalho foi desenvolvido em paralelo com o projeto PALMA - Plataforma de Apoio Lúdica para Mobilidade Alternativa (OLIVEIRA *et alii*, 1999). O projeto PALMA visava o desenvolvimento de um veículo móvel experimental de apoio ao ensino de crianças deficientes físicas, aplicando técnicas de interação entre a máquina e uma criança aprendiz. Este projeto teve seu início em 1996 e partiu de um grupo de educadores, engenheiros e pesquisadores de diversos países da América Latina além de Portugal e Espanha, que idealizaram o trabalho dividindo-o em tarefas individuais, dada a grande distância que separa os grupos de pesquisa. Ao final de um período de desenvolvimento, os grupos ou seus representantes se reuniam para a integração do conjunto. Deve-se citar com grande ênfase o papel da *Internet* como principal ferramenta de comunicação entre os pesquisadores, sem a qual a qualidade e a velocidade de desenvolvimento das pesquisas seria impossível.

A nossa participação no Projeto PALMA foi na especificação do sistema de tração e no sistema de comunicação entre os dispositivos inteligentes, a saber o sistema de controle do acionamento dos motores e o sistema de tratamento dos sensores de proximidade. Para isto nos reunimos por três vezes com a equipe de engenheiros estrangeiros, quando de suas visitas à UNICAMP.

Nesta nossa participação, ficou claro a complexidade do projeto, muito menos pelos seus aspectos tecnológicos mas, principalmente, pela sua forte dependência de outras áreas de conhecimento, como por exemplo, dos aspectos psicológicos e da área pedagógica.

Desta participação surgiu a idéia de tentarmos reproduzir aqui no Brasil este desenvolvimento. Para tanto seria importante estabelecermos contato com pesquisadores brasileiros de outras áreas, procurando atender possíveis especificidades nacionais. Neste

desenvolvimento, deveríamos também propor novas características técnicas que otimizassem a arquitetura do nosso veículo.

A proposta do nosso projeto envolve tanto o brinquedo livre quanto o organizado incluindo oportunidades para o bom desenvolvimento cognitivo da criança, reunindo educação e interação da mesma com os colegas.

A proposta de se ter uma grande variedade de configurações possíveis para o veículo em desenvolvimento aumenta a sua complexidade. A capacidade de conexão de muitos tipos de dispositivos acionados pelo usuário, sensores de posição e obstáculos, sensores de velocidade e direção, e até mesmo o sistema operacional formam um conjunto capaz de interagir com indivíduos com os mais variados tipos de deficiência.

Para cumprir a intenção de desenvolver o nosso veículo, o projeto foi dividido em algumas tarefas importantes, a saber:

1. análise do comportamento cinemático e dinâmico de um veículo móvel que tenha a capacidade de tracionar todo um *hardware* envolvido, baterias para alimentação dos circuitos e dos motores e também uma pessoa aprendiz. Aqui faz-se um estudo dos parâmetros fixos e variáveis do veículo, além das restrições impostas a cargas e movimentos;
2. estudo de estratégias de movimento através de informações disponíveis em sensores ou atuadores manuais;
3. estudo do seu comportamento e de sua influência na educação de crianças com deficiência motora;
4. integração do projeto e desenvolvimento do sistema de aplicação, o sistema operacional e a programação das principais unidades inteligentes; e
5. aplicação do veículo no cotidiano de uma instituição educacional que atenda crianças com estas deficiências. Objetiva-se realizar estes testes em um trabalho conjunto com pedagogas e orientadoras, considerando-se seu conhecimento na área de ensino e instrução, atingindo-se finalmente melhores resultados.

Destas tarefas o presente trabalho procura cobrir as três primeiras tarefas. A tarefa 4 é deixada para um segundo trabalho de pesquisa e desenvolvimento (SOUZA, 2001). A tarefa 5 deverá ser feita num trabalho de aplicação em paralelo com um estudo na área pedagógica.

Uma vez conhecido detalhadamente o comportamento do veículo em si, pode-se ter uma maior facilidade em determinar resultados de quaisquer influências externas. Por esta razão, escolheu-se como primeira fase do trabalho um estudo do desempenho do sistema isoladamente, e depois será dado ênfase para um funcionamento com situações variadas.

1.2 Este trabalho

Os capítulos a seguir descrevem os principais aspectos a serem considerados no desenvolvimento de um veículo autoguiado para o uso com crianças com severas deficiências de mobilidade.

O capítulo 2 destaca os conceitos relativos ao que chamamos **Mobilidade Alternativa**. São consideradas as interações entre a mobilidade e a comunicação nas idades mais tenras e como isto interfere no desenvolvimento cognitivo de uma pessoa.

O capítulo 3 descreve os estudos relativos às características mais tecnológicas do desenvolvimento de um veículo autoguiado. Neste capítulo destacamos os diversos tipos de tração motora que podem ser aplicados no nosso veículo, bem como o estudo da dinâmica do deslocamento do veículo.

O capítulo 4 descreve os estudos dos dispositivos e formas de controle eletrônico para o veículo com ênfase nos diversos sensores eletrônicos para a detecção de movimento e de obstáculos.

O capítulo 5 descreve os últimos requisitos a serem incorporados ao veículo em desenvolvimento. Estes últimos requisitos servirão para caracterizá-lo como um utensílio aplicável na educação de crianças com deficiência de mobilidade. Destacamos aí os

sensores biomédicos que permitem a interação de um usuário com este veículo e, também, as técnicas de adaptação de postura do usuário no veículo.

O capítulo 6, por fim, apresenta a nossa especificação das características técnicas do veículo desenvolvido no DCA-FEEC-UNICAMP enfatizando principalmente as diferenças deste com o veículo desenvolvido dentro do projeto PALMA.

O capítulo 7 finaliza este trabalho apresentando as conclusões e as sugestões de continuação deste desenvolvimento.

Além de uma lista de Referência Bibliográfica, foram adicionados a este trabalho dois textos. O primeiro (Anexo A) contém um estudo que descreve os requisitos e alternativas de projeto de cadeiras de roda. Este estudo foi considerado importante devido aos aspectos comuns com o projeto deste veículo. O segundo (Anexo B) introduz as características do padrão elétrico EIA RS 485.

Capítulo 2 MOBILIDADE ALTERNATIVA

2.1 Introdução

Neste capítulo procuramos nos aprofundar nas questões relativas às dificuldades das pessoas com deficiência de mobilidade e a relação destas dificuldades com o desenvolvimento cognitivo de uma criança que nasce com ou adquire precocemente a deficiência.

2.2 A mobilidade e o desenvolvimento

A mobilidade independente, tal como a aptidão para a comunicação, é uma habilidade humana fundamental para o desenvolvimento cognitivo e social de uma criança (ROSENBLOOM, 1975; CAMPOS E BERENTHAL, 1987). Desde os primeiros meses de vida, um indivíduo procura o conhecimento e a experiência através de estímulos, sejam eles: mecânicos, táteis, visuais, auditivos, entre outros. A curiosidade e o instinto de aprendizado natos acumulam conhecimentos que no futuro serão fundamentais para a formação daquele indivíduo. Entretanto, se esse insaciável desejo pelo aprendizado for frustrado, a criança corre um grande risco de entrar em um Ciclo de Privações Destrutivo (NISBET et alii, 1996; CRUICKSHANK et alii, 1982) - figura 2.1.

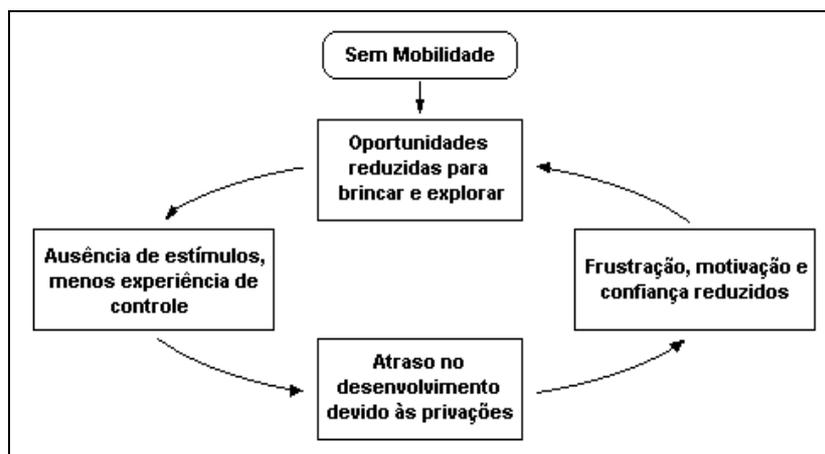


Figura 2.1 - Ciclo de privações destrutivo

O fato é que a tentativa espontânea da criança é quase sempre infrutífera, mas a magnitude de quaisquer que sejam os problemas aumenta na medida em que seus esforços mal orientados continuam a produzir ainda mais experiências fracassadas. Um verdadeiro círculo vicioso está em ação. As respostas a isto pelas crianças com lesões cerebrais obedecem a três padrões principais, a saber:

- a) Controle ou regulação inadequados dos impulsos;
- b) Dificuldades de percepção e conceituais e;
- c) Autoconceito deficiente e hipersensibilidade narcisística.

2.3 Conceitos

Segundo a Organização Mundial de Saúde, “Uma pessoa portadora de deficiência física é aquela que apresenta uma perda ou restrição de capacidade para perfazer atividades, tarefas, habilidades e comportamentos na maneira considerada normal para um ser humano”. As características físicas de uma criança (estatura, peso, estrutura corporal, etc.) estimulam seus familiares, colegas e professores a criar, a respeito dela, uma imagem geralmente estereotipada. Como consequência, o ambiente escolar pode ser desagradável ou até mesmo intolerável, uma vez que a criança pode ser - ou se sente - segregada ou ridicularizada. Evidentemente, estas situações de alguma forma podem interferir na aprendizagem e afetar todo o conjunto da vida escolar da criança (MOURA, 1993). A imagem de si mesma elaborada pela criança pode ficar profundamente negativa e quando adulta, embora tenha crescido e mudado, ela ainda se sentirá inadequada, desagradável e indesejável. O conceito de “eu” de uma pessoa é, por seu turno, em grande parte, um produto das avaliações que as outras pessoas formulam sobre ela. Assim, a inferioridade do indivíduo é frequentemente desproporcional à sua incapacidade (TELEFORD, 1972).

Somente nas últimas décadas presenciamos o advento de incentivos governamentais e de organizações filantrópicas na tentativa de se criar instituições para o apoio e educação de sujeitos com algum tipo de deficiência. A título de exemplo, o governo dos Estados Unidos liberou verbas para este propósito mediante determinadas exigências dos estados onde seriam criadas tais instituições. Os requisitos incluíam a identificação e avaliação dos indivíduos, informações sobre direitos e cuidados especiais,

criação de planos especiais de ensino bem como alocação das crianças em ambientes menos restritivos e compatíveis com cada deficiência.

Inicialmente os métodos de ensino consistiam na utilização de tipos especiais de ambientes de aprendizagem; quanto maior o grau de excepcionalidade, mais especializados deveriam se tornar o ensino e o ambiente em questão (KIRK *et alii*, 1987). Isto obrigatoriamente exigia um setor dedicado às crianças portadoras de deficiência na estrutura do sistema educacional. Este método, ainda hoje utilizado em diversas instituições, é considerado desatualizado e de concepção excludente ou segregacionista.

À medida em que os conhecimentos foram se aperfeiçoando e fazendo entender cada vez melhor o processo de evolução infantil os princípios de inserção da criança com algum grau de deficiência em classes e escolas regulares foram ganhando força

Duas são as formas de inserção propostas, a saber: Integração e Inclusão. Apesar dos dois termos terem significados semelhantes, eles são empregados para expressar situações de inserção diferentes e têm por detrás posicionamentos divergentes para a consecução de suas metas.

De forma resumida, a **integração escolar**, cuja metáfora é o sistema de cascata, é uma forma condicional de inserção em que vai depender do aluno, ou seja, do nível de sua capacidade de adaptação às opções do sistema escolar, a sua integração, seja em uma sala regular, uma classe especial, ou mesmo em instituições especializadas. Trata-se de uma alternativa em que tudo se mantém, nada se questiona do esquema em vigor. Os movimentos em favor da integração de crianças com deficiência em classes regulares surgiram nos países nórdicos (Nirje, 1969) quando se questionaram as práticas sociais e escolares de segregação, assim como as atitudes sociais em relação às pessoas com deficiência intelectual.

Já a **Inclusão Escolar** institui a inserção de uma forma mais radical, completa e sistemática, uma vez que o objetivo é incluir um aluno ou grupo de alunos que não foram anteriormente excluídos. A meta da inclusão é, desde o início não deixar ninguém fora do sistema escolar, que terá de se adaptar às particularidades de todos os alunos para

concretizar a sua metáfora - o caleidoscópio (FOREST *et* LUSTHAUS, 1987). A inclusão propiciou a criação de inúmeras outras maneiras de se realizar a educação de alunos com deficiência mental nos sistemas de ensino regular como, por exemplo, as “escolas heterogêneas” (FALVEY *et alii.*, 1989), as “escolas acolhedoras” (PURKEY *et* NOVAK, 1984), os “currículos centrados na comunidade” (FERGUSSON *et alii.*, 1992).

A tecnologia pode ser usada para facilitar o trabalho de inclusão de crianças com deficiência de várias maneiras, como por exemplo, a comunicação por meios alternativos. Mas a principal dificuldade em transformar um sistema de educação em um sistema inclusivo não está nos instrumentos e nas instalações físicas, mas no fator humano, ou seja: no educador e, na família. É de fundamental importância a formação do pessoal envolvido com a educação, assim como a assistência às famílias, enfim, uma sustentação aos que estarão diretamente implicados com as mudanças é condição necessária para que estas não sejam impostas, mas imponham-se como resultado de uma consciência cada vez mais evoluída de educação e de desenvolvimento humano. (MANTOAN, 1999).

Diante disso, urge arquitetar um trabalho intensivo e urgente de transformação da escola para que possa atender aos alunos com deficiência a fim de que eles tenham chances de se integrarem à sociedade e é preciso que sejam lançadas ferramentas de apoio a tal desenvolvimento. Essa é a principal motivação para este trabalho.

O conhecimento prévio do modo atípico que uma criança com deficiência motora usará para atingir algumas atividades funcionais dá ao terapeuta os meios de interceptar tais desenvolvimentos no tempo certo, isto é, nos primeiros sintomas de padrões atípicos, antes que eles tenham se estabelecido e se tornado habituais. O orientador especialista pode assim fazer um diagnóstico precoce e conseqüentemente promover um prognóstico antecipado de seu desenvolvimento, determinando ou não a necessidade de terapia auxiliar especial, conforme os desvios de padrão aparecem.

As alterações dos padrões motores foram, na verdade, divididas em cinco formas para cada tipo de paciente (Diplegia, Quadriplegia, Hemiplegia, Monoplegia ou Paraplegia - vide quadro). Isto foi feito com o objetivo de indicar as alterações marcantes

que acontecem à medida em que a criança desenvolve novas atividades - o mesmo que dizer aprendizado e tentativa - apesar de suas dificuldades. (BOBATH et alii, 1978).

Descrição dos diferentes tipos de condições em que podemos encontrar um indivíduo (BOBATH, 1978).

DIPLEGIA	Todo o corpo é afetado, mas as pernas são mais comprometidas do que os braços. Geralmente apresenta bom controle da cabeça e comprometimento moderado dos membros superiores.
QUADRIPLEGIA	Todo o corpo é afetado, se bem que os membros superiores e o tronco são normalmente os principais afetados. Existe de uma maneira geral assimetria da postura e do movimento devido ao maior comprometimento de um dos lados do corpo. Existe controle da cabeça, porém é deficiente.
HEMIPLEGIA	Somente um dos lados do corpo é comprometido.
MONOPLEGIA	Somente um braço ou, menos freqüentemente, uma das pernas é afetada. São casos muito raros, mas normalmente tornam-se mais tarde hemiplegias.
PARAPLEGIA	Comprometimento abaixo da cintura, porém pode causar Diplegia se presente em indivíduos com paralisia cerebral.

Dentre as muitas possibilidades para a habilitação de indivíduos com deficiência física, destaca-se o uso de cadeiras de rodas, especialmente aquelas dotadas de tração elétrica. Estudos recentes mostram que o uso de cadeiras de rodas elétricas podem ajudar a substituir algumas das experiências de aprendizado a fim de que se quebre o ciclo destrutivo (NISBET *et alii*, 1996). A seqüência apresentada a seguir mostra que pode-se obter resultados interessantes principalmente no desenvolvimento cognitivo e emocional de um jovem que utiliza um triciclo adaptado (CONNOR *et alii*, 1978):

Atividade Principal	Motora	Linguagem e Cognição	Sócio-Emocional
Instrução para passear e usar um triciclo adaptado	Uso bilateral da mão; movimentos recíprocos da perna	Uso de nomes e funções ao falar sobre o triciclo; brinquedo imaginário, assumindo papéis e brincando de viagens	Satisfação de ser bem-sucedido andando de triciclo; triciclo oferecido como presente e fonte de divertimento; mobilidade crescente para se relacionar com os colegas através do uso do triciclo; os pais vêem o triciclo como uma realização e não como um retrocesso de mobilidade

Entretanto, a maior parte destes estudos têm usado dispositivos controlados por atuadores manuais (*joysticks*), o que dificulta ou mesmo impossibilita o aluno de controlar os movimentos da cadeira, dado o grau de dificuldade de controle motor da pessoa. Assim, muitas crianças seriamente desabilitadas não podem controlar dispositivos convencionais de auxílio à mobilidade.

A idéia de se desenvolver uma cadeira de rodas “inteligente” aumenta o espectro de possibilidades para essas crianças, e também nos faz imaginar um desenvolvimento mental em prazo de tempo muito mais curto.

Também citam-se aqui programas de intervenção elaborados com “arranjos” do ambiente físico e social com a intenção de facilitar as oportunidades das crianças incapazes para que cada etapa de seu desenvolvimento seja cumprida. Estes programas mostraram que a partir do momento em que os indivíduos puderam iniciar suas atividades locomotoras, em especial o ato de rastejar, detectou-se o amadurecimento de outras habilidades tais como o aumento da capacidade de exploração de objetos e do espaço, controle de intensidade de força para impulsão do corpo, controle de direção e interação com outros indivíduos (PEREIRA, 1990).

É grande, portanto, a necessidade de se elaborar propostas de soluções para esse tipo de disfunção, pois indivíduos estimulados precocemente terão maiores chances de se adaptar e de interagir com tecnologias mais aprimoradas. Se bem que dispositivos “inteligentes” e com maior sofisticação tecnológica apresentam custos mais elevados, eles podem ser utilizados no desenvolvimento das habilidades de muitos indivíduos para o controle de cadeiras de rodas convencionais, cujo comando é realizado através de um simples *joystick*. Finalmente, o presente trabalho também se propõe como uma alternativa de desenvolvimento mental para quem carece de cuidados especiais enquanto aguarda o advento de métodos mais sofisticados e menos onerosos de habilitação.

Uma cadeira de rodas "inteligente" é uma estrutura dotada de um sistema de sensoriamento e locomoção controlados por um computador, que a torna capaz de navegar dentro do seu ambiente de trabalho interagindo com este ambiente na realização de tarefas através do uso de recursos próprios de tomada de decisões, ou com o controle

manual do aprendiz ou ainda de maneira mista. Deste modo, enquanto o aparelho é utilizado para a prática e o desenvolvimento das habilidades motoras de indivíduos novatos, sua flexibilidade de programação é traduzida nas diversas configurações em que os especialistas ou professores a podem programar, e portanto, modificar seus aspectos no que diz respeito aos controles a serem utilizados, grau de auxílio ao usuário e dificuldade de realização de tarefas em cada estágio de aprendizado.

Em se tratando de manipulação de objetos ou máquinas, podemos dizer que o indivíduo que controla tais dispositivos normalmente deve considerá-los como uma extensão de seu próprio corpo para que a tarefa seja realizada de maneira funcional. Esta capacidade está relacionada com a habilidade de processamento de dados do sistema total homem-máquina considerado, seja ele através de *Manipulação Direta* ou *Indireta*.

Manipulação Direta do ambiente físico toma lugar em tarefas manuais corriqueiras, tal como a montagem de peças mecânicas. O controle do movimento necessário é baseado na sensibilidade dos sinais tempo-espço. A *Manipulação Indireta* aparece quando ferramentas mecânicas são aplicadas para a manipulação ou transformação de objetos. Neste caso, quando o período inicial de habilitação se encerra, as propriedades dinâmicas das ferramentas são memorizadas e integradas com aquelas do corpo humano num único padrão. Embora a tarefa seja mais complexa do que uma manipulação direta, o homem adapta-se à máquina através da interface de manipulação - que pode ser por exemplo um volante, uma alavanca ou mesmo um *joystick* - de maneira precisa e cada vez mais habilidosa, isto somente se lhe for nato todo o conjunto de habilidades e movimentos corporais de um indivíduo sem problemas motores (RASMUSSEN, 1986) - figura 2.4a.

Para que se possa observar uma melhoria no desempenho de determinada tarefa, o aprendiz deve passar por diversas etapas do processo de aprendizagem, desde os princípios básicos até os detalhes mais complexos. Dois enfoques diferentes serão apresentados para identificar estes estágios do processo de aprendizagem. Tais enfoques relacionam-se no sentido de cada um indicar como os primeiros estágios de aprendizagem são caracterizados por preocupações cognitivas acerca de uma habilidade,

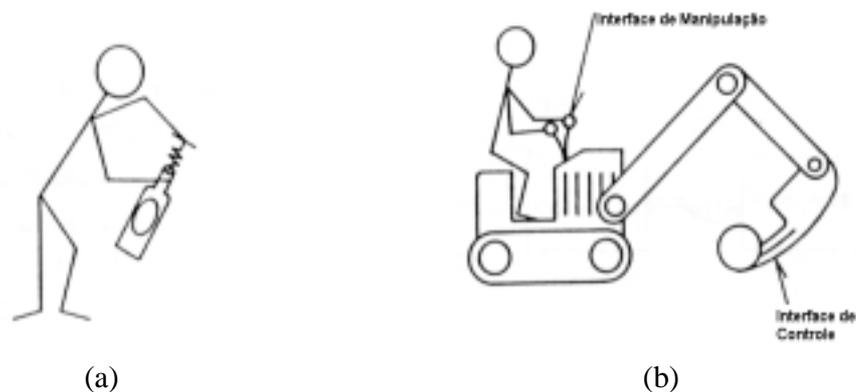


Figura 2.4 - Exemplos de Manipulação Direta e Manipulação Indireta (RASMUSSEN, 1986)

ao passo que os estágios posteriores são baseados na noção de habilidade ter-se tornado quase que automática.

Fitts e Posner propuseram uma seqüência de aprendizagem em três estágios diferentes (FITTS, 1964). A atividade inicial ou cognitiva é denominada *estágio cognitivo* e se caracteriza por uma grande quantidade de erros no desempenho que é bastante inconsistente, necessitando de informações mais específicas. O *estágio associativo* é o período de refinamento das habilidades e aqui o aprendiz pode detectar alguns de seus próprios erros ao desempenhar a tarefa, proporcionando diretrizes específicas sobre como dar continuidade à sua prática. O último é o *estágio autônomo*, onde a habilidade torna-se quase que automática e o bom desempenho é habitual. Sua atenção é então dedicada a algumas das fases mais críticas da rotina.

De acordo com o modelo dos estágios de aprendizagem de *Adams* (ADAMS, 1971), existem apenas duas fases definidas - sendo o primeiro estágio o *verbal-motor*, correspondendo exatamente aos dois primeiros estágios propostos por *Fitts e Posner*. Já o segundo estágio incorpora o estágio autônomo proposto por estes autores, e é denominado *estágio motor*. A terminologia de *Adams* implica que o primeiro estágio da aprendizagem de uma habilidade motora não é inteiramente cognitivo como se poderia pensar. Existe, para ele, um componente cognitivo também na resposta, apesar de esta poder ser gerada quase que automaticamente.

A discussão destes estágios de aprendizagem é importante para qualquer um que esteja ensinando habilidades motoras. Cada estágio de aprendizagem requer certas estratégias ou técnicas de instrução, a fim de tornar a prática mais efetiva e mais eficiente. Esta abordagem será retomada quando discutirmos os níveis de automação do veículo dedicados ao uso de crianças com algum tipo de deficiência motora.

Os aspectos construtivos destes modelos dizem respeito ao uso de uma base ou plataforma cuja função é a sustentação mecânica do *hardware* embarcado, além do indivíduo a ser transportado. Também fixa-se à plataforma um sistema responsável pela locomoção do veículo, a saber: rodas, esteiras, eixos, motores, entre outros.

Normalmente, uma plataforma comercial para suporte de toda a estrutura mecânica e eletrônica de qualquer modelo de cadeira de rodas apresenta-se num formato grosseiro e sem apelações infantis. Partindo desta informação, surge a idéia de se pensar uma maneira mais atraente de uso e aprendizado no equipamento, consistindo simplesmente na modificação da plataforma original para um objeto com aspectos lúdicos, isto é, podemos nos utilizar de uma carenagem plástica cuja silhueta de um veículo atrairia a atenção da maioria dos indivíduos de pouca idade. Luzes intermitentes e sons emitidos pelo veículo completam a idéia de um brinquedo cuja proposta é plenamente educativa.

2.4 Conclusões

O desenvolvimento cognitivo de uma criança envolve a percepção espacial do mundo à sua volta, de forma a possibilitar a socialização e o aprendizado de noções básicas de movimento como direção, velocidade e desvio de obstáculos.

Uma criança nascida com deficiência motora (por exemplo, com Paralisia Cerebral) precisa de uma forma alternativa de estímulo a esse desenvolvimento. Isto pode ser obtido pela utilização de uma base móvel onde a criança possa interagir com o espaço e extrair informação dessa experiência, se possível de forma independente.

CAPÍTULO 3

VEÍCULOS AUTOGUIADOS - SISTEMAS DE LOCOMOÇÃO

3.1 Introdução

Nos últimos vinte anos a robótica adquiriu seu maior crescimento acompanhando o desenvolvimento e as necessidades da indústria. Entretanto, o grande amadurecimento desta disciplina foi concentrado em robôs manipuladores, pois estes instrumentos possuem grande potencialidade na realização de diversas atividades industriais, têm seu controle dado de maneira relativamente simples além do que o suprimento de energia é mais facilmente implementado em função de sua estrutura estacionária.

Embora paralelamente tenha-se dedicado pouca atenção aos robôs móveis durante todo esse tempo, observa-se que é incontestável sua aplicabilidade na execução de tarefas mais complexas, tal como a exploração espacial (terrestre, aérea e subaquática), transporte de cargas de alto risco (tóxicas, nucleares e explosivas), atividades de produção agrícola, bem como o transporte de pessoas deficientes físicas, sendo este último o principal fim do presente trabalho.

A união das necessidades acima citadas com o avanço tecnológico da informática e microeletrônica, bem como a grande ênfase dada ao binômio qualidade e produtividade na indústria culminou com o aumento das expectativas e do interesse nos estudos relacionados a robôs móveis. Desta forma, as pesquisas deram início a um grande número de abordagens diferentes, como os citados a seguir:

- a) Tipos diferentes de sistemas de locomoção: Os principais são esteiras, patas e rodas. A utilização de um sistema depende de muitos fatores, mais especificamente do tipo de terreno, velocidade e peso do veículo da aplicação;
- b) Modelagens: São fundamentais no desenvolvimento de um projeto desse porte, pois uma escolha errônea de um sistema de locomoção por exemplo, para determinada aplicação, pode culminar com o fracasso da idéia. Normalmente devemos nos apoiar em modelagens e simulações em computadores para que se possa determinar parâmetros importantes no

momento da construção do equipamento, evitando o desperdício de tempo e de custos;

- c) Sistema atuador: Trata-se do dispositivo pelo qual será possível movimentar o mecanismo de tração do veículo;
- d) Sistemas de interação com o mundo: Havendo disponibilidade de sensoriamento de grandezas do mundo exterior, será possível alimentar o veículo com as informações necessárias para que ele se comporte de modo a conhecer e operar em harmonia com possíveis mudanças no ambiente, conduzindo a um resultado muito mais satisfatório, uma vez que quase sempre há um dinamismo de objetos no lugar de trabalho, e justamente esta é a informação mais importante para a navegação ótima;
- e) Interação com o Usuário;
- f) Aplicação de inteligência artificial: Pode propiciar ao veículo vida própria, o que significa autoridade sobre os movimentos sem a intervenção humana; e
- g) Planejamento e gerenciamento de tarefas.

3.2 Métodos de Locomoção

Os sistemas atuais de locomoção englobam três métodos possíveis para locomoção: esteiras, patas ou pernas e rodas. Abordaremos os três métodos citando propriedades, vantagens e desvantagens.

- a) Esteiras: É menos comum do que o uso de rodas. Isto se deve ao fato de uma maior complexidade, pois há uma grande exigência de torque para mover a esteira bem como um rígido sistema de sustentação da mesma, conferindo-lhe determinado tensionamento. Não é difícil de se concluir que o custo de uma aparelhagem deste tipo é bastante alto quando comparado a um método que utilize rodas, o que é compensado pela maior autonomia dada ao veículo. Basta que se observe tratores e veículos militares, que freqüentemente estão sujeitos à transposição de obstáculos dos mais variados formatos e dimensões.

- b) Patas ou Pernas: É uma alternativa muito eficiente para o problema da navegação em superfícies que apresentam irregularidades, ou seja, obstáculos que devem ser transpostos pelo veículo. Entretanto, há um grande número de características que dificultam seu uso como sistema de locomoção. São elas:
- Complexidade de construção: Uma perna apresenta de uma maneira geral vários graus de liberdade, isto é, juntas que devem ser conectadas de maneira a conferir resistência mecânica e grande sustentação à plataforma utilizada.
 - Controle dos movimentos de uma perna: É importante ressaltar que as condições impostas aos movimentos realizados por cada membro estão sujeitas a grandes mudanças conforme o decorrer de uma trajetória, pois o seu movimento depende da superfície que se percorre.
 - Complexidade do controle: É preciso que se estabeleça uma estratégia de controle e sincronismo para garantir que o veículo como um todo se locomova de maneira estável.
- c) Rodas: Sabemos que o uso de rodas para a locomoção de estruturas teve seu início há muitos milênios, e ainda hoje exerce seu domínio no campo da robótica face às facilidades de construção e das técnicas de controle necessárias. Mas é preciso que se tenha em mente a vulnerabilidade deste sistema onde possa ser submetido a tarefas que exigem a transposição de obstáculos de razoáveis dimensões quando comparadas com o tamanho das rodas, ou mesmo se a superfície apresenta determinado grau de irregularidade. Nestes casos, a complexidade acaba por se concentrar no desenvolvimento de suspensões e sistemas de amortecimento especiais, e mais – a configuração e disposição das rodas – que deverá sobretudo influenciar no desempenho dinâmico do veículo robô.

Uma vez que o lugar mais apropriado de trabalho de um veículo para o auxílio de crianças deficientes está limitado a um ambiente fechado, com uma superfície de

navegação plana e livre de obstáculos de maiores proporções, escolheu-se como sistema de locomoção o uso de rodas. Além disso, ter-se-ia a vantagem de uma grande simplicidade de construção do sistema, quando comparado às outras possíveis modalidades.

Uma vez feita essa escolha, iniciaremos um breve estudo abordando tópicos de tração e dirigibilidade sobre rodas.

3.3 Tipos de Tração

A maior parte dos robôs móveis tracionados por rodas hoje existentes se enquadra dentro de uma das seguintes categorias:

- Tração diferencial
- Triciclo com roda direcionada
- Configuração automóvel

Cada uma destas modalidades está caracterizada por diferentes propriedades, detalhadas a seguir:

Na categoria *tração diferencial*, cada uma das rodas de tração do robô está equipada com um motor independente, e estão separadas entre si por uma distância fixa d . Observa-se que o equilíbrio necessário ao veículo é obtido através de outras rodas livres, que não proporcionam direção ou tração.

Nestes robôs, qualquer movimento pode ser obtido através do controle sobre a tração de cada motor, operando-se os dois motores em sincronismo.

A categoria *triciclo com roda direcionada* apresenta-se tipicamente com o uso de três rodas. Uma das rodas é a responsável pela direção do veículo, além da tração em alguns casos. As outras duas rodas são livres ou tracionadas, e estão separadas por uma distância fixa d .

A *configuração automóvel* faz o uso de quatro rodas das quais duas são dianteiras e duas são traseiras. As rodas dianteiras são as responsáveis pela direção e/ou tração. As rodas traseiras podem ser tracionadas, se necessário.

A figura 3.1 relaciona os diferentes tipos de tração apresentando suas configurações típicas.

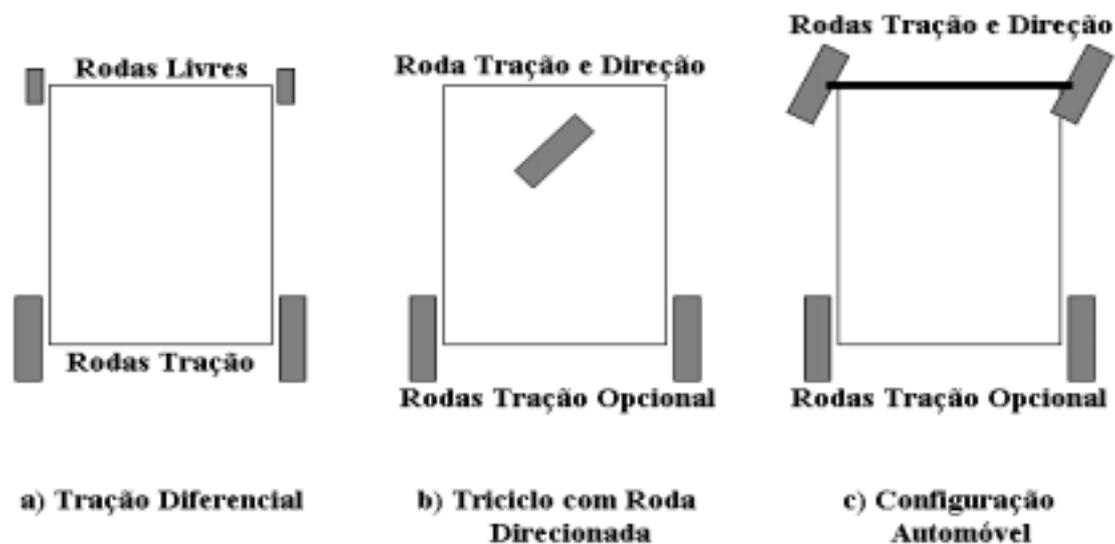


Figura 3.1 - Diferentes Tipos de Tração

3.4 Cinemática do veículo

Cada tipo de veículo tem uma característica particular de operação e movimentação. Dado um determinado padrão, é preciso que se faça um estudo detalhado do mesmo para que seja possível arquitetar maneiras de se manobrar o veículo do modo mais correto. A análise cinemática de todos os sistemas envolve condições mínimas necessárias para que a comparação não privilegie qualquer configuração, a saber: nenhuma das rodas que compõem o veículo deve patinar, ou seja, não há escorregamento destas rodas em relação ao solo; são dados os valores do raio das rodas (que são idênticos e iguais a r) e da largura do veículo (igual a L).

Veículos da categoria tipo *tração diferencial* tipicamente apresentam duas rodas motorizadas na parte traseira e duas rodas livres na parte dianteira. Então isto significa que o movimento do veículo será dado pela diferença de rotação das duas rodas motorizadas, ou seja, o controle da direção dependerá da velocidade de rotação dos motores que estão conectados às rodas traseiras.

A configuração *tração diferencial* acima detalhada é a mais utilizada dentre as existentes para sistemas de locomoção a rodas. Isto se explica principalmente devido ao fato de construções deste tipo serem bastante simplificadas em relação aos demais tipos, pois não há a necessidade de juntas móveis ou de caixas de direção. Não bastasse isso, há de se citar a enorme facilidade para realizar manobras em pequenos espaços, e finalmente traduzimos todas estas vantagens em um baixo custo de implementação e um bom desempenho de navegação. Destaca-se como desvantagem a possibilidade de escorregamento de uma das rodas traseiras, comprometendo a dirigibilidade do veículo.

A seguir, apresenta-se o equacionamento de todas as direções possíveis para o deslocamento de um veículo desta configuração:

3.4.1 Giro das rodas no mesmo sentido

As duas rodas traseiras giram no mesmo sentido, porém, suas velocidades diferem para que seja possível efetuar um giro - figura 3.2.

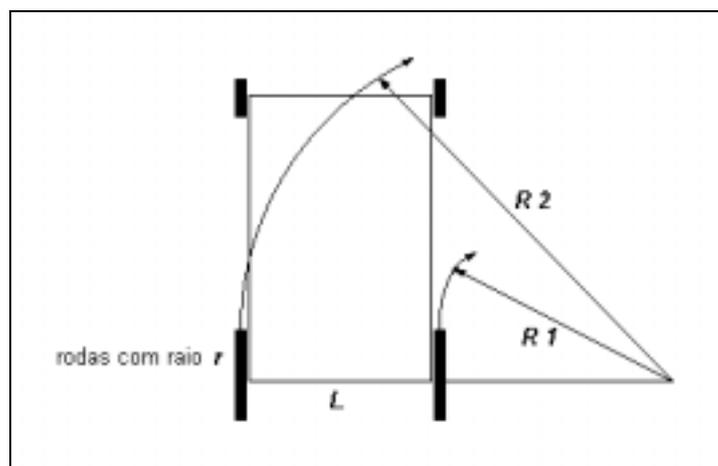


Figura 3.2 - Giro das Rodas no Mesmo Sentido

Para uma curva de n graus, temos para o percurso:

$$\frac{2\pi R_1 n}{360} = 2\pi r k_1 \quad (3.1)$$

e

$$\frac{2\pi R_2 n}{360} = 2\pi r k_2 \quad (3.2)$$

onde k_1 e k_2 são o número de voltas que cada roda deve perfazer para completar o dado percurso.

Simplificando as duas equações, teremos:

$$R_1 = \frac{360k_1 r}{n} \quad (3.3)$$

e

$$R_2 = \frac{360k_2 r}{n} \quad (3.4)$$

Mas, como:

$$R_2 - R_1 = L \quad (3.5)$$

Então:

$$\frac{(k_2 - k_1)360r}{n} = L \quad (3.6)$$

Finalmente:

$$k_2 - k_1 = \frac{Ln}{360r} \quad (3.7)$$

A importância dessa equação diz respeito à diferença do número de voltas entre as duas rodas ($k_2 - k_1$) para se obter uma trajetória curva de n graus, uma vez que L e r são valores constantes.

Observamos, entretanto, que nenhum dos lados da equação acima pode ser negativo, o que confere a:

$$R_2 \geq L \quad (3.8)$$

e

$$k_2 \geq k_1 \quad (3.9)$$

e

$$k_2 \geq \frac{Ln}{360r} \quad (3.10)$$

3.4.2 Giro das rodas em sentidos diferentes:

As duas rodas traseiras giram em sentidos diferentes, porém, suas velocidades são idênticas, uma vez que o raio da curva efetuada por cada roda é o mesmo - figura 3.3.

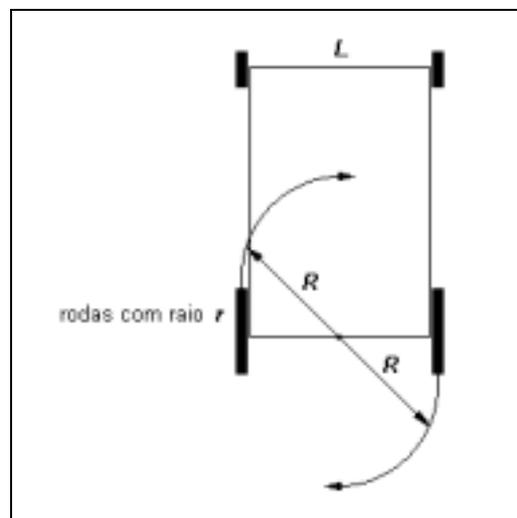


Figura 3.3 - Giro das Rodas em Sentidos Diferentes

Para uma curva de n graus, temos para o percurso:

$$\frac{2\pi Rn}{360} = 2\pi rk \quad (3.11)$$

onde k é o número de voltas que cada roda deve perfazer para completar o dado percurso.

Simplificando a equação, teremos:

$$R = \frac{360kr}{n} \quad (3.12)$$

Mas, como:

$$R = \frac{L}{2} \quad (3.13)$$

Finalmente:

$$k = \frac{Ln}{720r} \quad (3.14)$$

A importância dessa equação diz respeito ao número de voltas k que as duas rodas devem perfazer para se obter uma trajetória curva de n graus.

3.4.3 Giro das rodas em sentidos e velocidades diferentes

As duas rodas traseiras giram em sentidos diferentes, e também, suas velocidades são diferentes, uma vez que os raios das curvas efetuadas por cada roda são diferentes - figura 3.4.

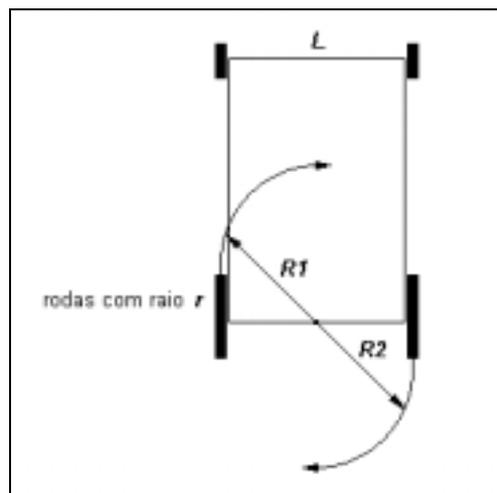


Figura 3.4 - Giro das Rodas em Sentidos Diferentes e Velocidades Diferentes

Para uma curva de n graus, temos para o percurso:

$$\frac{2\pi R_1 n}{360} = 2\pi r k_1 \quad (3.15)$$

e

$$\frac{2\pi R_2 n}{360} = 2\pi r k_2 \quad (3.16)$$

onde k_1 e k_2 são o número de voltas que cada roda deve perfazer para completar o dado percurso.

Simplificando as equações, teremos:

$$R_1 = \frac{360k_1r}{n} \quad (3.17)$$

e

$$R_2 = \frac{360k_2r}{n} \quad (3.18)$$

Mas, como:

$$R_2 + R_1 = L \quad (3.19)$$

Então:

$$\frac{(k_2 + k_1)360r}{n} = L \quad (3.20)$$

Finalmente:

$$k_2 + k_1 = \frac{Ln}{360r} \quad (3.21)$$

A importância desta equação diz respeito à soma do número de voltas entre as duas rodas ($k_2 + k_1$) para se obter uma trajetória curva de n graus, uma vez que L e r são valores constantes.

Observa-se, entretanto, que quanto menor for o raio R_1 , maior será o raio R_2 e, conseqüentemente, a posição resultante do veículo será tal que o eixo traseiro ficará cada vez mais próximo à lateral direita desse veículo. Isto se aplica aos casos em que é preciso evitar o choque do veículo com objetos ou obstáculos na lateral oposta ao giro.

3.4.4 Outras Considerações

Veículos da categoria tipo *triciclo com roda direcionada* apresentam uma roda motorizada na parte dianteira e duas rodas livres na parte traseira. Então isto significa que o movimento do veículo será dado pela direção apontada pela roda dianteira, ou seja, o

controle da direção dependerá única e exclusivamente do alinhamento desta roda em relação ao veículo.

A configuração *triciclo com roda direcionada* é empregada nos casos em que não há grandes exigências de tração, em veículos leves e menos complexos, operando em terreno com pouca irregularidade. Isto se deve à atribuição de uma única roda como força de trabalho e controle de direção, embora seja possível a implementação de motores de tração nas rodas traseiras contribuindo para o aumento de capacidade de carga. Como pontos positivos, há de se ressaltar a facilidade de controle do dispositivo e menor consumo de energia, bem como razoável manobrabilidade.

Veículos da categoria tipo *configuração automóvel* apresentam duas rodas motorizadas na parte dianteira e duas rodas livres na parte traseira. O movimento do veículo será dado pela direção apontada pelas rodas dianteiras, ou seja, o controle da direção dependerá única e exclusivamente do alinhamento destas rodas em relação ao veículo.

A *configuração automóvel* é empregada nos mesmos casos da configuração *tração diferencial*, porém não é difícil de se perceber que há uma maior complexidade na construção de um veículo nesta configuração, pois as juntas devem ser muito resistentes à força de tração mesmo em curvas de pequeno raio. As vantagens deste sistema são atrativas do ponto de vista tração e direção, pois existe a opção de se colocar o motor (ou os motores) em quaisquer uma das rodas, além do que o atrito com o terreno para as rodas que indicam a direção é grande, possibilitando trajetórias complexas em superfícies com pouco atrito. Finalmente, lembra-se aqui da boa capacidade de realizar manobras.

3.5 Motores de tração

Uma vez escolhida a configuração de tração diferencial, o próximo passo é dotar o veículo de um conjunto de motores cujas características de torque e velocidade correspondam às exigências do projeto. Obviamente, o veículo desenvolverá velocidades baixas visando a segurança do ocupante, em caso de colisão. Com estes dados, um motor de pequena potência capaz de desenvolver altas rotações pode ser uma boa solução para a

montagem, visto que intercalando-se entre o motor e a roda uma caixa de redução, diminuimos consideravelmente a velocidade, ao passo em que aumentamos o torque resultante praticamente na mesma proporção.

É desnecessária qualquer argumentação desenvolvida sobre a escolha do tipo de motor a ser utilizado, pois motores elétricos são menos ruidosos, não poluentes, de construção e manutenção mais simplificada, e mais do que isso, o circuito eletrônico de controle destes motores torna-se bastante simplificado, dadas as baixas potências envolvidas.

Em se tratando de modelos de motores elétricos, existem duas configurações principais: motores de indução ou CA (corrente alternada) e motores CC (corrente contínua). A literatura mostra que motores elétricos de indução são mais vantajosos do que os motores CC (corrente contínua) em se tratando de manutenção e operação; podemos citar características positivas daqueles dispositivos tais como o melhor isolamento, vantagens construtivas, peso e inércia reduzidos, refrigeração, entre outros aspectos que dispensam comentários (KOSOW, 1972). Entretanto, para dispositivos de baixa potência e cujo acionamento é chaveado, acredita-se ser mais conveniente o uso de dispositivos CC, principalmente devido à possibilidade de operação dos mesmos com baterias de baixa tensão, grande torque disponível na partida e estabilidade aliada ao fácil controle de velocidade através de dispositivos bastante simples.

Recordando-se as relações de torque em um motor CC, descobrimos que o mesmo não é uma função da velocidade desenvolvida, mas principalmente do fluxo magnético desenvolvido a partir do enrolamento de campo e da corrente elétrica do circuito de armadura, corrente esta que será aplicada através da fonte de alimentação. Isto parece ser importante numa situação típica de operação do veículo em um ambiente onde movimentos e paradas intermitentes são bem frequentes, pois normalmente exige-se grande quantidade de torque em baixas velocidades e principalmente quando inicia-se o movimento.

3.5.1 Relação de Torque em uma máquina CC:

$$\text{Torque} = k\Phi I_a \quad (3.22)$$

Onde k é uma constante para cada motor e depende de sua construção, Φ representa o fluxo do campo do estator e I_a é a própria corrente de armadura.

De fato, para obtermos uma maior velocidade do motor, precisamos incrementar seu torque, simplesmente aumentando o valor da corrente de armadura. Assim, quando o veículo parte, é preciso que se tenha grande quantidade de torque nos eixos das rodas tracionadoras, para que seja dado início ao movimento. Recordando-se porém a equação de velocidade de um motor CC, verificamos que não há a presença da variável torque, o que nos diz claramente que não existe uma relação direta entre as duas grandezas. Ao invés disso, a tensão aplicada aos terminais do motor aparece como fator principal ao incremento da velocidade, admitindo-se alguns dados constantes do motor, tal como o fluxo de campo.

$$n \cong \frac{V_a}{k\Phi} \quad (3.23)$$

Onde n é a velocidade desenvolvida pelo motor quando submetido à uma tensão V_a em seus terminais.

A conclusão disso é que em um motor CC qualquer pode-se obter o controle da

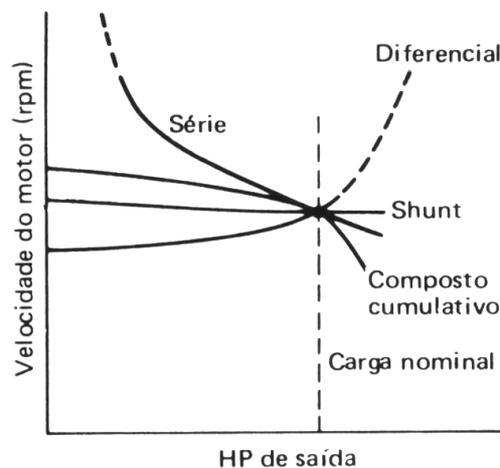


Figura 3.5 - Torque x Velocidade para um Motor Corrente Contínua(KOSOW, 1972)

velocidade de maneira bastante prática, simplesmente variando-se a tensão aplicada a seus terminais, mas tendo em mente que aproveitando-se desse artifício, a relação entre torque e velocidade será invariavelmente não-linear (FALCONE, 1985).

O gráfico da figura 3.5 mostra claramente que em qualquer tipo de motor CC, a potência disponível no seu eixo é normalmente alta mesmo quando a velocidade é nula. Na verdade, quando o eixo do motor está travado, o torque é muito grande, pois não havendo força contra eletromotriz (que aparece tipicamente com o giro do motor e é proporcional a ele) a corrente de armadura é máxima. A partir daí, quando a rotação do motor aumenta, proporcionalmente seu torque se reduz até que seja atingida a faixa de carga nominal, que deve ser o ponto de equilíbrio entre torque e carga (KOSOW, 1972).

3.5.2 Relação de Torque em uma máquina CA:

Para motores de indução, conforme pode-se observar no gráfico apresentado a seguir na figura 3.6, o torque do motor depende da corrente do rotor, mas a corrente do

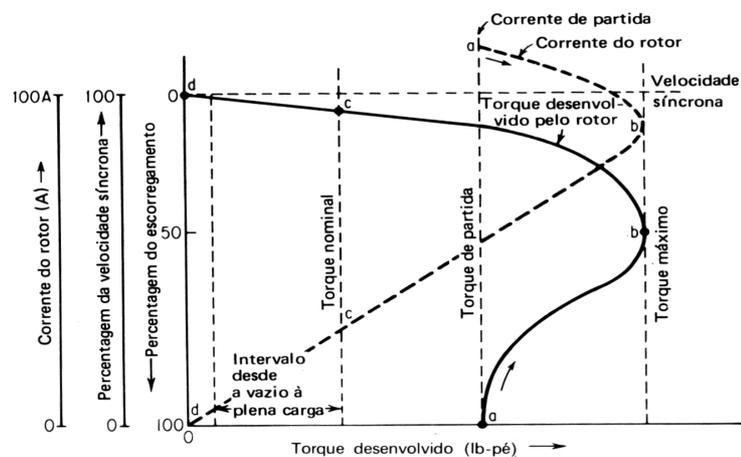


Figura 3.6 - Torque x Velocidade para um Motor Corrente Alternada(KOSOW, 1972)

rotor não é uma função linear direta da tensão aplicada aos terminais do estator do motor, como acontece nos casos CC.

O torque de partida do motor de indução faz com que a velocidade cresça, e à medida em que a velocidade aumenta, o escorregamento do rotor em relação ao estator decresce, até que o torque desenvolvido seja máximo. Neste ponto, a velocidade cresce e

o escorregamento diminui de tal modo que o torque começa a reduzir-se no motor de indução. A velocidade do motor aumentará, portanto, até que o valor do escorregamento seja tão pequeno no momento onde se equiparam torque aplicado e torque desenvolvido. Fica evidente que o controle de um motor de indução é demasiadamente complexo para uma aplicação de baixa potência, pois envolve muitas informações como a velocidade desenvolvida no rotor, frequência e tensão aplicados ao estator, torque aplicado, etc.

A melhor escolha do tipo de motor a ser utilizado nesta aplicação envolve análise de custos e disponibilidade, e na prática, dispositivos motores considerados de pequeno porte e que desenvolvem velocidades superiores a 10.000 rotações por minuto são os mais indicados. Entretanto, o torque ou a força disponível no seu eixo é muito baixa, insuficiente para a aplicação. É então por este motivo que entre o eixo do motor e o eixo da roda que traciona intercala-se uma caixa de redução, cujo objetivo é diminuir consideravelmente a velocidade desenvolvida ao passo em que eleva-se o torque ou conjugado a um nível ideal. Com isso, mesmo um pequeno motor elétrico pode tracionar cargas tão elevadas quanto o peso do veículo acrescido do peso de seu condutor, e também evitar velocidades elevadas que possam oferecer risco em caso de choque - figura 3.7 (FALCONE, 1985).

3.6 Controle dos motores de tração

Os motores elétricos de acionamento mecânico do veículo devem ser controlados por dispositivos capazes de operar com tensões e correntes elétricas adequadas às suas características pois aqui não se trabalha com sinais digitais de pequena intensidade, ao



Motor Corrente Contínua



Caixa de Redução e Motor

Figura 3.7 - Motor Elétrico CC e Caixa de Redução Acoplada ao Motor(FALCONE, 1985)

contrário, envolve correntes elevadas e determina o uso de um circuito de controle especial. Outro requisito deste problema é a necessidade de se arquitetar um sistema capaz de dominar a velocidade e o sentido de rotação desenvolvidos para que seja possível realizar trajetórias de qualquer espécie.

O primeiro passo é a escolha do motor a ser utilizado e a partir daí deve-se determinar sua rotação e potência nominais, pois não se pode exceder os limites operacionais sob pena de danos ao dispositivo. Dificuldades de comutação e estresses causados por forças centrífugas normalmente são os maiores inimigos da velocidade para motores elétricos.

A seguir serão apresentados alguns métodos de controle de motores CC, dividindo-se em sistemas passivos e ativos.

3.6.1 Controle por elementos passivos

Os modelos mais simplificados de controle de um motor CC são apresentados nos dois esquemáticos da figura 3.8 (HUBERT, 1961), e não fazem uso de componentes ou dispositivos eletrônicos alimentados por fontes ou baterias. Ambos os métodos garantem controle de velocidade eficaz, desde que esta seja inferior àquela nominal do motor.

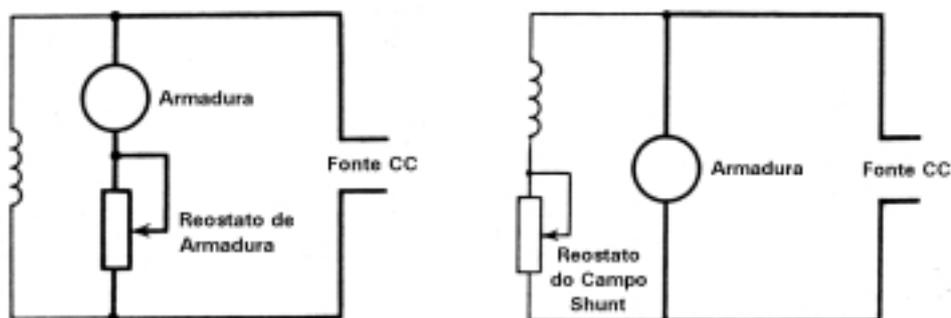


Figura 3.8 - Controle de Velocidade por Reostato em Motores CC (HUBERT, 1961)

O primeiro sistema sugere um circuito de campo com corrente constante, e conseqüentemente o único modo de se reduzir o torque desenvolvido é através da redução da corrente de armadura, via reostato.

No outro modelo, o reostato tem como objetivo variar a corrente do circuito de campo. Aumentando-se sua resistência, a densidade de fluxo que atravessa a armadura se reduz na proporção da redução da corrente de campo. Daí, reduzindo-se a força contra eletromotriz gerada na própria armadura, obtem-se um incremento substancial na corrente de armadura, com o que consegue-se maior torque e velocidade.

O primeiro método é o mais utilizado, pois não são exigidos motores com enrolamento especial e nem é preciso que se utilize motores com circuito de campo, sendo que este normalmente é obtido através de ímãs permanentes para motores de pequeno porte.

Se o reostato estiver em posição de mínima resistência ou se ele estiver presente somente no circuito de campo, a resistência de armadura geralmente muito pequena é o único fator limitante para a corrente no caso de um travamento do eixo, ou quando o motor está sob a imposição de máxima aceleração com uma carga de elevada inércia acoplada ao seu eixo. Portanto, para manter a corrente de armadura a níveis seguros e evitar danos ao enrolamento quando operando em condições mais rigorosas, um motor CC requer a adição de resistências externas conectadas em série com seu circuito de armadura durante os períodos de aceleração.

3.6.2 Controle por elementos ativos

Quando é importante obter alta precisão e independência dos efeitos das perturbações externas, deve ser empregado um sistema de controle mais elaborado, preferencialmente com realimentação. Assim, discutiremos aqui o uso e aproveitamento de algumas técnicas do controle eletrônico de velocidade dos motores CC, das mais simplificadas até aquelas que aproveitam sinais de sensores de velocidade (tacômetros ou *encoders*) para se conseguir grande precisão.

Quando se dispõe de uma fonte CA, é possível utilizar um circuito retificador controlado para a alimentação dos motores. Se entretanto, a alimentação disponível for CC, devem ser usados os chamados *choppers*, que são conversores CC-CC.

O circuito básico de um conversor CC-CC é mostrado na figura 3.9:

A tensão resultante aplicada à carga é obtida controlando-se a abertura e o fechamento da chave **CH**. Quando a chave fecha, o diodo **DR** permanece cortado, uma vez que o mesmo fica reversamente polarizado pela tensão **V** da fonte. Ao mesmo tempo, a corrente na carga começa a aumentar de maneira exponencial, passando a existir uma

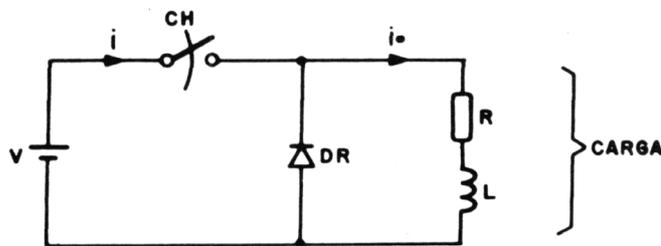


Figura 3.9 - Elementos Básicos de um *Chopper*

energia armazenada no campo magnético da indutância **L**. A tendência é que a corrente de carga se estabilize em um valor determinado pela relação **V/R**.

No instante em que a chave abre, como a corrente não pode cair instantaneamente a zero no indutor, o diodo de retorno entra em condução, mantendo nula a tensão na saída. Então, a corrente de carga decairá exponencialmente através de **R**, **L** e **DR**, até o novo fechamento da chave.

Desta forma, a tensão na carga terá o aspecto genérico da figura 3.10:

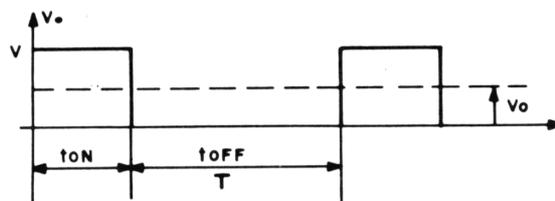


Figura 3.10 - Tensão de Saída de um Circuito "*Chopper*"

Através da análise da forma de onda visualizada na figura apresentada acima, é fácil de se obter o valor médio da tensão na carga, que será dado por:

$$V_0 = \left(\frac{t_{on}}{T} \right) V \quad (3.24)$$

Daí, fica evidente que o valor médio V_0 da tensão de saída pode ser variado de três maneiras diferentes:

- a) Variando t_{on} , o tempo de permanência da chave fechada, e mantendo constante T , o período total invariante. Tal método é chamado modulação por largura de pulso, também conhecido pela sigla PWM (*Pulse Width Modulation*).
- b) Mantendo t_{on} ou t_{off} , o tempo de permanência da chave aberta ou fechada constante e variando o período T . Esse processo é chamado modulação em frequência.
- c) Variando tanto t_{on} como T .

Das três possibilidades de controle, a mais utilizada é a modulação por largura de pulso, pois no caso da modulação em frequência, esta precisa ser variada por uma faixa muito grande para se obter o controle total da tensão da carga. A este problema, acrescenta-se o fato de que, para baixos valores de V_0 , a corrente de carga se torna descontínua ou pulsante em baixa frequência, o que é um grande problema se a carga acionada for um motor CC. Ademais, quando a frequência não é fixa, é de difícil elaboração o projeto de filtros para eliminar as interferências resultantes do chaveamento em outros circuitos auxiliares.

Em circuitos de baixas potências, a chave **CH** nada mais é do que um transistor bipolar ou de efeito de campo; entretanto, quando estão envolvidas potências elevadas, esta chave é implementada por um **SCR** (*Silicon Controlled Rectifier* ou do português, Diodo Controlado de Silício). Neste último caso, além do circuito de disparo do tiristor, deve ser previsto um circuito de comutação que bloqueie o **SCR**, pois operando em corrente contínua tal dispositivo não pode interromper a condução até o momento em que se anula a corrente elétrica que circula por ele.

A figura 3.11 ilustra uma aplicação típica do **SCR** como dispositivo de controle de velocidade de um motor CC, recordando-se da necessidade de um circuito de disparo e bloqueio do tiristor (ALMEIDA, 1991).

Como já foi dito anteriormente, melhor precisão seria obtida com o uso de

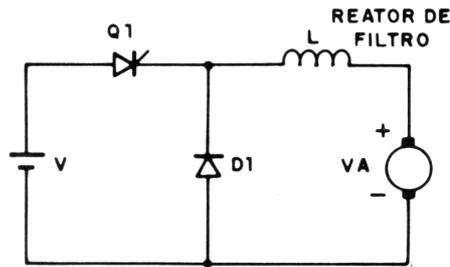


Figura 3.11 - Uso do SCR como Dispositivo de Controle de Velocidade

sistemas de controle de velocidade realimentados. A seguir, discutiremos um desses modelos em seu diagrama de blocos:

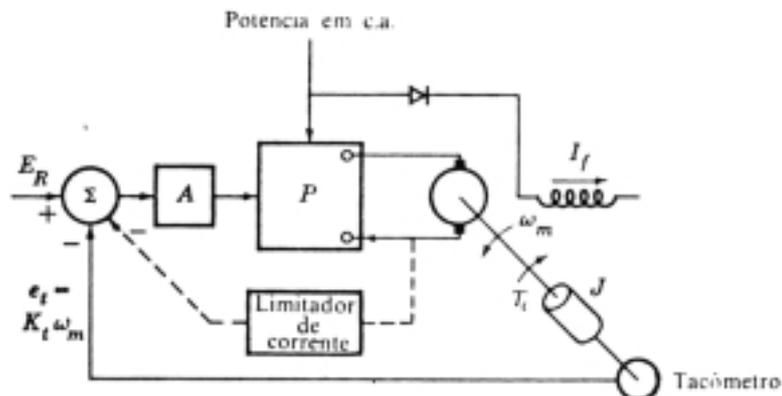


Figura 3.12 - Esquema de Controle de Velocidade com Realimentação (ALMEIDA, 1991)

A velocidade do motor CC medida em forma de tensão através do tacômetro é comparada com uma tensão de referência E_R , resultando em uma tensão de erro ϵ , que por sua vez é amplificada e controla a tensão de saída do *driver* de potência conectado ao motor, de maneira a manter sua velocidade substancialmente constante.

Usualmente, acrescenta-se ao sistema de controle um dispositivo limitador de corrente contra sobrecargas normalmente presentes em grandes variações de torque (o que sempre ocorre na partida).

O detalhamento individual de cada bloco depende fundamentalmente do tipo de sistema, mas para exemplificar, podemos sugerir para o bloco **P** um tiristor cujo ângulo de disparo é definido pelo bloco **A**. Assim, nós estamos supondo que a combinação de **A** e **P** é equivalente a uma fonte de tensão controlada linearmente, cuja função é:

$$V_f = k_a \epsilon \quad (3.25)$$

Onde K_a é o ganho da fonte de tensão, e os atrasos no tempo devidos ao ciclo CA de alimentação são desprezados.

Com um controle realimentado baseado no sistema descrito, a velocidade independe do torque aplicado ao eixo do motor, respeitando-se as capacidades máximas do motor e desprezando-se o amortecimento natural que acompanha as variações de conjugado (FITZGERALD *et alli*, 1981).

Na atualidade, sistemas de montagem em superfície (SMD –*Surface Mounted Device*) têm sido comercializados onde a capacidade de corrente manobrada possibilita a ativação de motores de corrente contínua cuja corrente drenada chega a uma dezena de Amperes ou mais, e podem naturalmente ser aplicados para a montagem prática do veículo em questão.

3.7 Conclusão

Neste capítulo apresentamos os resultados dos estudos de diversas alternativas de implementação do sistema de tração do veículo. O texto apresentado destaca as alternativas escolhidas para ser aplicado em nosso veículo. Estas são resumidas a seguir:

O nosso veículo será tracionado por um sistema de tração diferencial, acionados por dois motores de corrente contínua. O circuito de controle do acionamento destes motores deverá ser implementado procurando minimizar as suas dimensões, utilizando para isto circuitos de montagem em superfície.

Capítulo 4

VEÍCULOS AUTOGUIADOS – SISTEMAS DE CONTROLE

4.1 Introdução

Projetar um sistema auxiliar que atendesse a cada caso de deficiência de uma maneira específica seria uma tarefa muito complexa ou mesmo impossível. Então é preciso imaginar um método genérico de escolha do tipo de controle de movimento, que possa englobar a grande maioria dos casos.

Uma boa solução poderia ser uma seqüência de níveis ou fases com diferentes graus de dificuldade. Qualquer que seja a dificuldade apresentada pelo aluno, pode-se ter uma promoção de suas habilidades através de várias etapas de experiência com o veículo.

Portanto, no decorrer do aprendizado, o hábito deverá melhorar a capacitação de cada um em determinado nível, assumindo níveis cada vez mais complexos de controle e navegação, e consumindo um espaço de tempo compatível com as necessidades individuais. Cuidados devem ser tomados ao permitir um grau muito elevado de autonomia para o veículo, o que poderá fazer com que o aprendiz sinta-se excessivamente dependente daquele, traduzindo-se numa indiferença em relação à sua própria capacidade, tornando-se prejudicial para o bom desenvolvimento mental da criança.

É importante dizer que esses estágios não têm a intenção de classificar os indivíduos de acordo com a sua inteligência, mas atualizar as possibilidades do condutor do veículo, segundo os níveis de desenvolvimento em que se encontram, sempre lembrando que alguns podem naturalmente alcançar determinados níveis de progressão mais rapidamente do que outros.

4.2 Níveis de Automação

Baseado na experiência do Projeto PALMA, o nosso veículo dispõe de um modelo seqüencial de aprendizagem escalonado em cinco diferentes níveis de aprendizado, esses níveis implicam uma seqüência lógica de experiências no veículo, encaixando-se na mesma condutores com diferentes capacidades de desempenho, a saber:

1º Nível - Veículo Autônomo – movimenta-se sem a intervenção do usuário, sendo capaz de desviar dos obstáculos, de modo automático, através de sensoriamento. O comando para acioná-lo é procedente de seu computador;

2º Nível - Causa / Efeito - Uma interface permite à criança iniciar, parar ou reiniciar o movimento, mas o veículo segue em uma única direção. Este modo incentiva a criança a operar o veículo;

3º Nível - Decisão Simples - A interface permite à criança iniciar, parar ou reiniciar o movimento, que agora pode ser realizado em todas as 4 direções, frente, trás, direita e esquerda, de maneira automática. A criança já percebe os efeitos físicos dos movimentos curvilíneos realizados. O veículo pára se encontra algum obstáculo;

4º Nível - Semi-Autônomo - A criança é capaz de controlar o veículo em todas as 4 direções. Porém, o veículo pára automaticamente, se encontra algum obstáculo e somente avança, se a decisão da criança for correta;

5º Nível - Registro de Dados - Os sensores somente recebem a informação a fim de registrar os dados, e a criança tem total comando sobre o veículo.

Teoricamente, os condutores menos habilitados devem iniciar suas atividades com o veículo programado para trabalhar em modo totalmente autônomo, ou seja, no primeiro nível, e aqueles que já detêm maior experiência, podem conduzi-lo com mínima ou nenhuma interferência externa, o que quer dizer que estão aptos a participar de experiências com o veículo nos níveis de maior dificuldade. Também haverá condutores cujas habilidades permitem saltos na seqüência sugerida, conforme o critério de quem esteja habilitando a criança a conduzer o veículo.

Para que a criança possa exercer controle sobre o veículo e poder dirigi-lo, há de se elaborar um estímulo visual para que ela perceba a direção exata que o veículo deverá tomar. Estudando a capacidade de percepção humana, descobrimos que os órgãos dos sentidos são mais sensíveis às mudanças das excitações e se tornam insensíveis às excitações permanentes, de nível constante. As mudanças das excitações estimulam o cérebro em suas estruturas de ativação, o que não ocorre no caso de excitações

permanentes, já que o organismo se adapta ao nível das mesmas, fazendo parecer como se elas não existissem.

Na prática, verifica-se que o desempenho na percepção de sinais pode ser aumentado, melhorando-se a visibilidade do sinal (contraste, forma) e aumentando-se sua frequência, desde que não ultrapasse o nível de saturação do canal sensorial. Na figura 4.1 pode-se observar que o rendimento máximo ocorre com a apresentação entre 3 e 10 sinais por minuto, em média (LIDA, 1990).

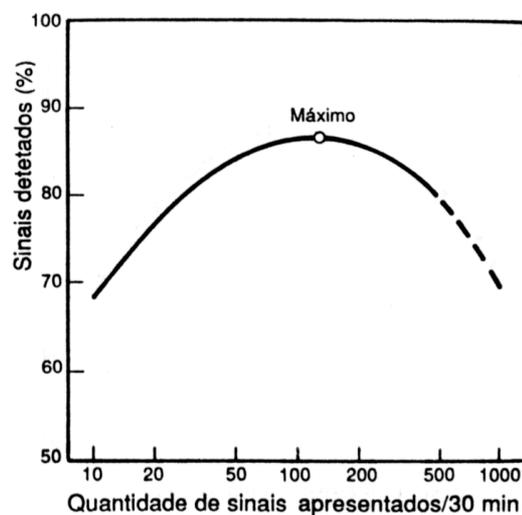


Figura 4.1 - Média de Detecção Humana de Sinais (LIDA, 1990)

4.3 Controle autônomo do veículo

Após toda uma análise do comportamento físico do veículo e das suas especificidades do ponto de vista dos processos de ensino e aprendizagem, vamos então estabelecer a estratégia para controle da trajetória. Nesta segunda fase, o passo inicial é o controle individual dos motores de tração. Tal controle define duas características importantes: os limites para acelerações, desacelerações e velocidades de cruzeiro (perfis de velocidade) e o desempenho do controle de posição de cada roda motriz.

A partir daí, busca-se a solução para a correção do erro da trajetória realizada, ou seja, a trajetória desejada. Numa análise precoce, podemos imaginar que este erro inexistirá, uma vez que há uma atuação de controle sobre os motores de tração que é

corrigida centenas de vezes por segundo pelo computador de bordo. Porém, diversos fatores exercem influência sobre o comportamento do robô, tornando o controle individual dos motores de tração uma estratégia incapaz de cumprir suas principais metas. Dentre os fatores, podemos citar principalmente:

- Ocorrência de distúrbios de diversas ordens nos motores;
- Distribuição desuniforme de carga sobre a plataforma impondo diferentes torques sobre cada motor;
- Diferenças entre os raios das rodas ou desalinhamento das mesmas;
- Presença de atrito de rolamento diferente para cada roda;
- Irregularidades no terreno de navegação;
- Patinação das rodas.

Os fatores supra citados tornam obrigatória uma malha de realimentação no sistema de controle, permitindo uma troca de informações entre cada conjunto de tração e finalmente proporcionando a correção do erro de trajetória. Dos métodos existentes dedicados à solução deste problema, predominam o uso de modelos cinemático e dinâmico do veículo, gerando como realimentação o erro entre trajetória desejada e trajetória realizada; ou o uso de sensoriamento externo, nada mais do que a colheita de informações do ambiente de operação para conferir a exatidão das coordenadas em que se encontra o veículo em um dado momento.

O estudo do comportamento cinemático e dinâmico de um sistema de locomoção, além das possíveis estratégias de controle a serem aplicadas possibilitam a predição do desempenho do mesmo no momento da efetivação de uma trajetória. Podemos dizer que a qualificação do trabalho efetuado neste contexto é determinada através da análise de três fatores:

- a) medida do erro entre a trajetória desejada e a trajetória realizada;

- b) medida do tempo dispendido na realização de uma determinada trajetória e
- c) custo necessário para a implementação da estratégia de controle.

A maior parte dos robôs que eram projetados no passado tinha por função somente o uso de uma trajetória aleatória e, quando encontravam algum obstáculo, eram sensibilizados por algum sensor e aí faziam uso de uma rotação sobre si mesmo para iniciar nova trajetória, diferente daquela anterior. O maior problema desses equipamentos não era somente as freqüentes falhas nos sensores, mas principalmente que o *software* responsável pela sua locomoção não lhe garantia uma certa liberdade de locomoção.

E ainda mais, a programação de um computador de controle de um robô pode ser realizada de maneira bastante simples e em pouco tempo se o que se deseja é uma simples movimentação entre quatro paredes. Entretanto, se o robô precisa ser hábil para tratar um grande espectro de situações, então muito mais trabalho será necessário.

A título de exemplificação prática, citamos WAKAUMI *et alii*, 1992, como responsáveis pelo desenvolvimento de uma cadeira de rodas autônoma que segue trilhos impressos no chão servindo de guia para o direcionamento da cadeira. Este método é bastante funcional em problemas de automação industrial, porém é impraticável e de difícil implementação devido à grande complexidade e variedade de caminhos, além da falta de espaço em um ambiente residencial. Por outro lado, YODER *et alii*, 1996, usaram duas câmeras de vídeo e informações sobre a tração das rodas para se obter dados da posição e do ambiente de navegação da cadeira e WANG, 1997 também utilizou câmeras mas desta vez para auto-localização, além de um dispositivo a laser para determinar a que distância se encontravam os obstáculos. BRZAKOVIC e GONZALEZ propõem um sistema de visão tri-dimensional que pode determinar a presença de obstáculos através da análise de duas cenas obtidas em tempos diferentes, utilizando-se de uma câmera que se move na direção dos obstáculos. Atualmente, porém, o uso deste tipo de tecnologia é infelizmente restrito pois tem um custo proibitivo quando se fala da estrutura computacional necessária para tratar todos os dados provenientes dos sensores. Finalmente podemos citar BOURHIS AND PINO, 1996, utilizando em sua pesquisa transdutores dos tipos ultrasônico e infravermelho para estimar a posição e configuração

dos obstáculos no ambiente de navegação. Hoje em dia, esta parece ser a configuração mais viável para se utilizar como sensoriamento e determinação de posição de um veículo autoguiado para uso com deficientes físicos (BECKER, 1999).

A seguir, serão apresentados os métodos clássicos de controle:

4.3.1 Controle em malha fechada (por realimentação):

Suponha que se deseja para o robô andar com o seu lado esquerdo voltado para uma parede próxima. Qual é a melhor maneira para se realizar esta tarefa?

Uma solução seria orientar o robô exatamente paralelo à parede, e fazê-lo andar em linha reta. Entretanto, esta solução simples apresenta dois problemas: Se o robô não é inicializado de maneira correta, seu percurso vai falhar. Além disso, a menos que a sua direção seja extremamente precisa, ele eventualmente poderá desviar de sua trajetória original e caminhar em direção à parede ou à sala em que se encontra. Assim, a maneira mais comum e mais eficiente de se solucionar o problema é a implementação de uma realimentação negativa. Com o contínuo monitoramento e correção, um estado aceitável poderá ser atingido.

Para fixar as idéias, podemos imaginar um robô movendo-se paralelamente a uma parede e aferindo sua distância da mesma através de um sensor de distância que funciona por inclinação de uma haste resistiva (a resistência da haste varia conforme a sua inclinação). Medindo em tempo real a distância entre o robô e a parede através do sensor, o veículo pode percorrer a trajetória sem se chocar com o obstáculo em nenhum momento. Portanto, quanto mais próximo está o robô da parede, mais inclinado fica o sensor, indicando esta informação para o comando central. Tal comando informa às rodas do robô a decisão que foi tomada, ou seja, se o robô está indo muito próximo à parede, ele deve tomar a direção contrária e vice-versa.

Assumindo que o sensor de inclinação fornece a distância entre o robô e a parede, se o veículo encontrasse uma parede à sua frente, seria preciso fazer o robô alternar uma caminhada em linha reta e uma curva de pouca inclinação, até que ele completasse os noventa graus desejados - figura 4.1.1.

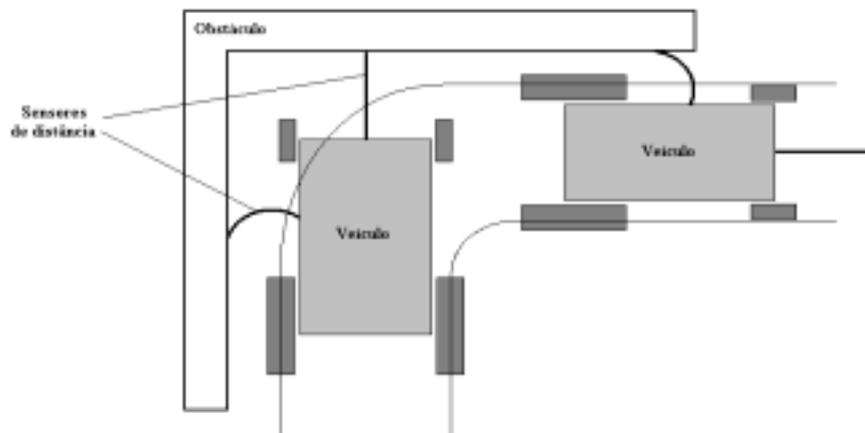


Figura 4.2 - Exemplo de Controle de Direção em Robôs Móveis

A qualidade deste movimento vai depender de vários fatores, a saber:

- Precisão das informações do sensor de inclinação;
- Precisão da direção do veículo suporte do robô;
- Configuração dos valores-padrão para muito próximo ou muito longe da parede e
- Taxa de correção da direção.

Se, na prática, a programação do sistema for realizada a nível totalmente automatizado, isto é, exatamente a maneira com a qual deve-se proceder com um aluno que não detém experiência suficiente para manobrar o veículo por si próprio, então o computador de bordo deve proceder uma rotina de avaliação da medida de distância do veículo a qualquer obstáculo que esteja dentro de seu raio de ação, concluindo uma tarefa em malha fechada ou com realimentação.

4.3.2 Controle em Malha Aberta:

Admitindo-se a mesma hipótese de que o robô encontrou uma parede em sua frente e um sensor de toque indica que ele não pode mais caminhar em linha reta, qual

seria a melhor solução para que ele fizesse um giro de noventa graus no sentido dos ponteiros do relógio para continuar seguindo a parede?

Um método simples seria fazer um pequeno retorno pelo caminho em que ele mesmo chegou e em seguida executar uma rotação. Mas este comando somente seria eficiente se uma rotação de determinada duração correspondesse exatamente aos noventa graus desejados. Como se sabe, dificilmente seria possível obter bons resultados com imperfeições causadas por exemplo com baixa carga da bateria, tração inconstante da superfície, perdas por fricção entre outros problemas.

Desta maneira, conclui-se que é praticamente inviável a obtenção de bons resultados sem que exista realimentação.

4.3.3 Controle Combinado:

Trata-se de uma mistura do uso de malha aberta e realimentação ao mesmo tempo. Isto significa que o sinal comandado é função de mais de um parâmetro que é medido no momento da ação. Exemplifica-se com a medida da carga da bateria que se está usando - quanto maior a carga, menor o tempo necessário para se ativar qualquer um dos motores - levando-se em conta também os dados dos sensores de distância. Certamente, é o método mais eficiente, e deve ser considerado para melhorar a precisão do movimento do veículo, embora tenha um custo elevado.

4.4 Sensoriamento de obstáculos

Robôs precisam ser dotados de sensores com a finalidade de deduzir o que está acontecendo em seu mundo, e também para estarem aptos a reagir a situações variáveis.

O avanço acelerado das tecnologias disponíveis para medidas e sensoriamento elétrico foi determinado por diversas influências marcantes. Uma delas foi a necessidade de se obter grandes quantidades de informações sob condições dinâmicas, inicialmente na indústria aeroespacial e posteriormente em outras áreas da engenharia. Outro motivador foi a disponibilidade de um grande número de transdutores cujo projeto avançado permitiu avaliações remotas de praticamente todos os parâmetros físicos.

Em muitas aplicações, existe a possibilidade de se utilizar mais de um tipo de sensor para realizar determinada medida. Assim, há de se escolher o modelo que mais se adapta às condições exigidas, ou aquele que detém maior número de vantagens de uso sobre os demais. As diferentes características das unidades variam desde tamanho ou peso até a natureza do sinal de saída, o que significa que um transdutor selecionado para uma medida em particular deve ser cuidadosamente avaliado pelas características físicas e elétricas (CERNI *et alli*, 1962).

A tabela apresentada a seguir relata algumas possibilidades de uso de sensores dos mais variados tipos, cujas aplicações de medidas podem ser necessárias ao projeto do veículo autoguiado:

	Capacitivo	Indutivo	Magneto Elétrico	Foto Elétrico	Piezo Elétrico	Radioativo	Resistivo	Termo Elétrico
Aceleração	X	X	X		X		X	
Deslocamento	X	X	X	X	X	X	X	
Fluxo	X	X	X		X	X	X	
Força	X	X			X	X	X	
Nível	X			X	X	X	X	
Luz				X			X	X
Massa		X	X		X	X		
Pressão	X	X	X		X	X	X	X
Temperatura				X		X	X	X
Espessura	X	X		X	X	X		
Velocidade	X	X	X	X	X	X	X	

Os instrumentos desenvolvidos para efetuar as medidas necessárias à boa navegação ou comando do veículo devem estar de acordo com os padrões internacionais de medidas, relacionados a seguir: segurança (pessoal e operacional), precisão (grau de incerteza tão pequeno quanto possível), baixo custo, resposta rápida, estabilidade, boa resposta dinâmica, durabilidade, transportabilidade, consumo de energia (tão baixo quanto possível), insensibilidade a variações de condições internas e externas e finalmente capacidade contra sobrecarga (KARSA, 1967).

Se a finalidade principal é desenvolver e construir sistemas de guiagem e navegação com algum tipo de interação com o ser humano, é preciso concentrar especial interesse em transdutores do tipo mecânicos, especialmente aqueles cujas avaliações incluem dimensionamento, deslocamento, força, velocidade, aceleração e tempo, pois

estes dados combinados informam a posição de um veículo dadas algumas condições de contorno iniciais, como por exemplo a posição inicial e a massa do mesmo; e também os sensores biomecânicos, cuja finalidade é a detecção e/ou o tratamento de informações provenientes do indivíduo que se utiliza da máquina. Os mesmos modelos de transdutores citados podem informar a presença e a distância de obstáculos ou até fornecer ao computador de bordo dados competentes ao aprendizado e à memorização do ambiente, e ainda determinar a decisão a ser tomada para uma manobra qualquer do veículo.

Observa-se que existe uma distância mínima programada entre o alvo e o veículo para evitar colisão, o que danificaria a sua plataforma. Também constata-se a velocidade crescente tanto no sentido direto quanto no sentido reverso, proporcionando ao condutor noção de inércia e aceleração.

Dentro deste contexto, é preciso levar em conta uma redução (ou elevação) progressiva da velocidade do veículo quando se aproxima (ou se afasta) do alvo. O gráfico apresentado na figura 4.3 é auto-explicativo e resume a velocidade do veículo proporcionalmente à distância em que se encontra do obstáculo.

Para um sistema simplificado e de baixo custo, podemos considerar como sensoriamento de obstáculos um determinado número de sensores ultrasônicos estrategicamente espalhados ao redor do veículo. E embora possa ser medida em qualquer direção, a medida da distância representada neste gráfico é a única informação proveniente do meio externo e de seus obstáculos, que provavelmente estarão dispostos de modo aleatório no ambiente de operação.

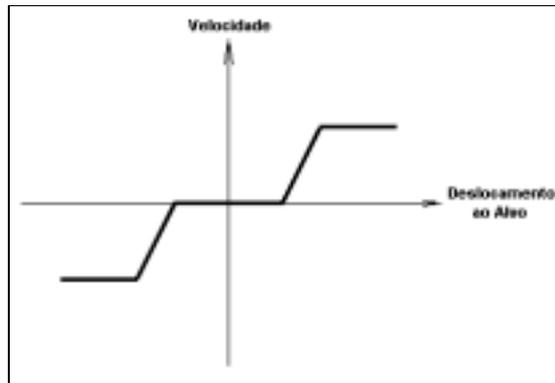


Figura 4.3 - Relação Velocidade do Veículo x Distância do Alvo

A seguir, são apresentados os diversos modelos de transdutores normalmente aplicados a equipamentos modelados como o estudo em questão:

4.5 Transdutores Mecânicos

4.5.1 Transdutores para Dimensões Lineares (Medidas de Comprimento ou Espessura)

Estes tipos de elementos transdutores geram sinais elétricos que servem para aferir uma distância linear entre dois limites, seja um comprimento ou uma espessura. Baseiam-se na variação de uma resistência, de um fluxo de corrente, de uma indutância ou mesmo de uma capacitância. Há ainda um tipo menos utilizado que envolve tensão de faiscamento entre dois terminais, e alguns modelos mais sofisticados que utilizam-se de circuitos auxiliares como os sensores sônicos e os métodos de absorção de radiação.

4.5.2 Transdutores para Deslocamento ou Força

Tais transdutores geram sinais elétricos em resposta a um deslocamento ou à aplicação de uma força. Note que todos os dispositivos sensores de deslocamento necessitam de uma força aplicada sobre os mesmos para sua atuação. Entretanto, devem ser dimensionados para exigir níveis mínimos de força contra um sinal de saída mensurável para a avaliação de um deslocamento. O inverso também é verdadeiro, ou seja, o transdutor agirá como um bom sensor de força se o deslocamento exigido para este fim for desprezível em relação àquele praticado pelo sistema mecânico.

Comportando-se na maneira descrita, os transdutores não interferem no sistema mecânico existente.

Transdutores que se utilizam de variações de resistência, indutância ou capacitância são os mais utilizados para efetuar medidas de deslocamento ou força. Mas também há um grupo de sistemas eletrotérmicos onde a temperatura e a resistência de um fio aquecido sofrem variações em resposta ao deslocamento. Por fim, há aqueles tipos que aproveitam as propriedades piezoelétricas de alguns materiais para o mesmo objetivo.

4.5.3 Transdutores para Velocidade e Aceleração

Medidas de velocidade e aceleração são obtidas através de três modelos de sistemas, descritos a seguir:

- **Sistemas diferenciadores:** Sinais elétricos proporcionais à velocidade, aceleração ou à n-ésima derivada do deslocamento são obtidos através de um processo de diferenciação elétrica do sinal proveniente de um transdutor de deslocamento. Se o transdutor utilizado avaliar a própria aceleração, como por exemplo uma massa sob a influência de movimentos mecânicos externos, um processo de integração certamente converterá o sinal de entrada em velocidade.
- **Transdutores de indução:** É o único tipo de transdutor que pode realmente converter a velocidade de um movimento diretamente em um sinal elétrico. É frequentemente utilizado para medir velocidade angular como o faz um tacômetro.
- **Medidas separadas de distância e tempo:** Se um corpo se move através de uma distância Δs durante o intervalo de tempo Δt , um sinal proporcional à velocidade pode ser obtido produzindo sinais elétricos proporcionais à taxa de variação $\Delta s/\Delta t$. Este método é geralmente modificado fixando-se uma das grandezas distância ou tempo e aferindo-se a outra.
- **Transdutores Ópticos:** Também conhecidos como *Encoders*. Servem para avaliar a velocidade de rotação de um eixo girante. É muito utilizado em veículos cuja

velocidade é controlada eletronicamente, pois quando acoplado a um das rodas do mesmo, determina sua velocidade na forma digital e transmite esta informação ao computador de bordo, que por sua vez pode realimentar o motor acoplado à roda a fim de manter sua rotação constante com grande precisão.

4.6 Conclusão

Este capítulo apresentou uma introdução aos conceitos de controle de locomoção ou navegação que podem ser utilizados no projeto de nosso veículo. Ele começa propondo cinco níveis de automação, depois considera especificamente o nível de automação de navegação autônoma e por último apresenta as diversas opções de sensoriamento para apoio a esta navegação.

Capítulo 5

A INTERAÇÃO E POSICIONAMENTO DO USUÁRIO

5.1 Introdução

Este capítulo se inicia destacando os **sensores biomédicos** que permitem a interação do usuário com o veículo. Ele destaca ainda a questão do posicionamento ou da postura da criança com deficiência física embarcada no veículo, ou seja, as características do assento. Esta questão é tratada por técnicas chamadas de **posicionamento terapêutico** ou, simplesmente, de “*seating*”.

5.2 Sensores Biomédicos

Aqui o conceito de sensor concentra-se sobretudo na sua qualidade de interface homem-máquina. Podemos classificá-los de acordo com a maneira invasiva em que atua; sensores não invasivos são obviamente os preferidos, estes não penetram no corpo mas podem ser dispostos em sua superfície. Também é conveniente uma breve apresentação da maneira pela qual devem se comportar quando em funcionamento:

- Apresentar requisitos básicos dos sensores clássicos;
- Mínimo efeito no sistema biológico;
- Não-tóxico;
- Mecanicamente adaptado ao sistema biológico (qualidade de ergonomia);
- Estável em sistema aquoso e
- Capaz de ser esterilizado, se necessário. (GOPEL, 1989).

Se bem que estamos tratando de um sistema cuja interface é não invasiva justamente pela necessidade única de determinar a intenção do operador quanto à direção a ser tomada pelo veículo, existe um número expressivo de possibilidades para este tipo de dispositivo.

A título de exemplificação, recentemente alguns pesquisadores têm se dedicado ao desenvolvimento de sensores táteis consistindo de uma matriz de transdutores de força, podendo ser utilizado em um robô para que este tenha a habilidade de perceber o formato, posição ou a textura de um objeto. Neste caso, não é difícil de se imaginar tal dispositivo detectando e interpretando a intenção de um operador que tem movimentos de seu corpo restritos a um braço, mão ou mesmo um dedo.

Antes mesmo de se determinar um modelo de sensor, é preciso que seja escolhido o tipo de controle ou atuação mais adequado à informação que se deseja obter. Esta opção será dirigida conforme a dificuldade apresentada pelo aprendiz que utiliza o veículo, mas de uma maneira geral, se há dificuldades com as pernas, então pode-se utilizar botões, interruptores, teclados, alavancas ou volantes. Se as pernas ou os pés podem atuar melhor do que os membros superiores, daí a melhor escolha será um tipo de pedal. O esquema apresentado na figura 5.1 detalha as funções e características dos principais tipos de controles:

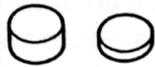
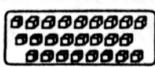
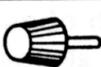
TIPO DE CONTROLE	FUNÇÃO		CARACTERÍSTICAS		
	DISCRETA	CONTÍNUA	VELOCIDADE	PRECISÃO	FORÇA
 Botão liga-desliga	Otimo para ativação 2 posições	Não	Boa	Baixa	Pequena 0,1 a 0,2kg
 Interruptor	Otimo para ativação 2 ou 3 posições	Não	Boa	Regular	Pequena até 1,0kg p/dedos até 5,0kg p/a mão
 Teclado	Para entrada de dados	Não	Boa	Regular	Pequena 0,1 a 2,0kg
 Botão rotativo	Não	Bom	Baixa	Regular	Até 2,5 kgxcm com diâm. máx. de 75mm
 Botão discreto	Regular para 3 a 20 posições	Não	Boa	Boa, dependendo do desenho	Até 1,5 kgxcm com diâm. máx. de 100mm
 Alavanca	Boa, para 2 a 10 posições	Bom	Boa	Boa	Até 13kg
 Manivela	Recomendada só para grandes forças	Não	Lenta	Baixa	Até 3,5kg com braço de 150 a 220mm
 Volante	Não	Excelente	Regular	Boa	Até 25kg com diâm. de 180 a 500mm
 Pedal liga-desliga	Bom para ativação 2 posições	Não	Boa	Regular	Até 10kg
 Pedal simples	Regular	Bom	Boa	Baixa	Até 90kg

Figura 5.1 - Possíveis Tipos de Controles para Aplicação em um Veículo

5.3 Posicionamento Terapêutico - Seating.

Este termo abriga todas as atividades de pesquisa e desenvolvimento realizadas em centros de pesquisas e instituições de tratamento visando a melhoria na qualidade da postura da pessoa com deficiência em seu meio alternativo de locomoção. Pela diferenças de postura e mesmo pela sua formação fisiológica, cada um dessas pessoas possui uma necessidade específica de assento. Outro termo que é usado para estas técnicas é “*seating*”.

Esta é uma questão que passou a receber mais atenções a partir da década de 80, quando ficou bem evidente a importância do assento na restrição dos movimentos dos usuários de cadeiras de rodas. Estas novas técnicas, baseadas principalmente no desenvolvimento tecnológico de novos materiais, procuram prover aos usuários posturas dinâmicas que permitirão posições mais ativas e vivas.

Os principais compromissos nos projetos de adaptações são (MATOS, 1999):

- 1 - Estabilidade:** Muitas patologias prejudicam a habilidade de manter a postura estável e a adaptação é solicitada para compensar esta instabilidade pela adição de suportes adicionais, que em excesso impedem o movimento e restringem a função. Quando insuficientes irão resultar em posturas assimétricas ou mau posicionamento.
- 2 - Características físicas - tamanho e forma corporal:** As anormalidades da forma corporal, especialmente coluna e pélvis causam severos problemas no sentar. O “*seating*” pode acomodar estas deformidades para diminuir a progressão.
- 3 - Considerações fisiológicas:** Escaras, dor lombar e insuficiência respiratória;
- 4 - Considerações funcionais:** Mobilidade, tocar cadeira, sentar / levantar da cadeira de rodas, alimentação e atividades laborativas.
- 5 - Conforto,** superfícies de adaptação, pressão, temperatura, umidade e excesso de suportes.

Segundo MAESTRELLI *et alii*,(1999), após a realização das adaptações os pacientes do Hospital Sarah em Brasília conseguem permanecer por maior tempo na cadeira de rodas com conforto e segurança, possibilitando as atividades na escola e na comunidade.

Sendo assim, é necessário o conhecimento da patologia, das necessidades de cada paciente e dos fatores ergonômicos para que se possa indicar uma adequada cadeira de rodas com suas adaptações.

5.4 Conclusão

Este capítulo considerou a questão da interface usuário – veículo. Para isto foram apresentados as alternativas de transdutores para esta interação. Deve-se realçar que estes transdutores podem ser os mesmos utilizados para a Comunicação Alternativa do usuário. As técnicas desta comunicação fogem ao escopo de nosso trabalho.

Neste capítulo também foi considerada a questão das técnicas de “*seating*”. É importante destacar que esta questão é importante se considerarmos que o veículo poderá ser utilizado por diversos usuários dentro de um ambiente de ensino. Sendo assim ele impõe um requisito de modularidade do assento, ou seja, deve ser possível substituir o assento personalizado em função do usuário.

Capítulo 6

ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO

6.1 Introdução

Um veículo autoguiado, ou seja, um veículo capaz de locomover-se de forma autônoma, está sendo desenvolvido no DCA-FEEC-UNICAMP para aplicação na educação de crianças com sérias deficiências motoras. Este desenvolvimento começou a ser realizado em paralelo com um programa de cooperação internacional - Projeto PALMA (Plataforma de Apoio Lúdica à Mobilidade Alternativa, descrito em Oliveira *et alii*, 1998). Dentro deste programa, este é o segundo protótipo implementado, sendo que o primeiro está concluído após testes exaustivos na Faculdade de Psicologia da Universidade de Barcelona, Espanha e no Centro de Reabilitação de Paralisia Cerebral Calouste Gulbenkian em Lisboa, Portugal.

O veículo do DCA aproveita a experiência da nossa participação no projeto PALMA e procura inovar em alguns detalhes. Este capítulo inicia destacando as principais características do projeto PALMA para depois apresentar a especificação de nosso projeto. O projeto do nosso veículo iniciou-se com o nosso trabalho, foi detalhado e implementado em sua parte de programação no trabalho de SOUZA (2001) e está atualmente sendo depurado em alguns pontos de seu programa de controle e no seu circuito de acionamento de motores, visando ampliar a sua autonomia energética.

6.2 Principais Características do Projeto PALMA

O projeto PALMA teve a sua estrutura concluída num esforço muito intenso da equipe do Prof. Ramón Ceres do Instituto de Automática Industrial - Consejo Superior de Investigaciones Científicas em Madrid – Espanha, que durante dois meses acolheu engenheiros das diversas instituições participantes do projeto para a sua integração final.

Como características finais do veículo desenvolvido podemos destacar:

- Programação em C para o ambiente MSDOS;
- Utilização de um carrinho comercial com tração por esteiras;
- A interface com o usuário é absolutamente dedicada e feita principalmente por um painel de varredura, que imita um volante de um automóvel (console do usuário);

- Um receptáculo para o encaixe do assento do usuário
- Sistema de navegação por sensores ultrassônicos
- Motores de corrente contínua para a tração independente nas duas esteiras
- Um painel do instrutor com toda a botoeira para configuração do veículo pelo instrutor.
- O conjunto eletrônico é composto por uma placa de microcomputador compatível com PC de acordo com o padrão PC104, dois módulos de controle dos motores baseados no microcontrolador HC11 e um módulo de controle dos sensores ultrassônicos baseado no microcontrolador PIC da família 16F84

Abaixo temos uma fotografia que mostra o veículo PALMA em sua versão final.



Figura 6.1- Veículo PALMA

6.3 Especificação do Projeto do DCA

O veículo em desenvolvimento no DCA possui diferenças fundamentais de implementação comparado com o projeto Palma. Dentre estas destacamos:

- o uso mais explícito de processamento distribuído. Para tanto foram utilizados os conceitos de projetos de barramentos automotivos (AZEVEDO, 1998.), visando principalmente aumentar a flexibilidade do sistema e reduzir o cabeamento, aumentando sua confiabilidade;

- o uso de um sistema operacional multi-tarefas que facilita a programação de controle para atender as necessidades de execução simultânea de operações (*threads*), bem como aumentar a confiabilidade operacional.

Este veículo é baseado em um carrinho de brinquedo comercial ao qual foi adicionado um sistema de controle baseado em multiprocessadores dedicados a tarefas específicas e num microcomputador PC industrial.

A seguir passamos a fazer uma breve descrição técnica do veículo que estamos implementando.

6.4 Descrição do Veículo

O diagrama de blocos do veículo está mostrado na figura 6.2.

O núcleo de controle do veículo é um microcomputador PC industrial que executa o *software* de controle e registra os dados de interesse numa unidade de disco local. Este microcomputador, um AMD586-133 com 12MB de memória RAM principal e 60MB de disco, possui ainda uma interface paralela para a comunicação externa e duas interfaces seriais RS232C, sendo que uma delas é utilizada para a comunicação com os outros módulos do veículo. O sistema operacional utilizado é o Linux (RUBINI,& ORAM, 1998.) devido às suas características de baixa demanda de *hardware*, excelente estabilidade e capacidade de execução de programas *multithreaded*¹.

Próximo à unidade de controle principal está um conversor de padrão serial RS232C para RS485. Todos os módulos estão interconectados através deste barramento serial, o qual permite uma modularização importante para a adição de novos blocos ao veículo. A escolha desse padrão é devida ao ambiente ruidoso a que o sistema está submetido, pois a existência de duas linhas de comunicação distintas (TX e RX) permite ao protocolo uma imunidade maior ao ruído.

¹ *Multithreading* é a divisão de uma única CPU entre diversas linhas de tarefas () de forma a reduzir o tempo necessário a comutar as linhas de tarefas. Isto é conseguindo repartindo ao máximo o ambiente de execução do programa entre diferentes *threads* de forma que o menor contexto precise ser salvo e restaurado durante a mudança de *threads*. *Multithreading* é diferente de *multitasking* no fato de que as *threads* compartilham mais do seu ambiente com outras *threads* do que as *tasks* num ambiente *multitasking*. *Threads* podem ser distintas somente pelo valor do contador de programa ou pelo valor dos apontadores de pilha (*stack pointers*) ao invés de repartir

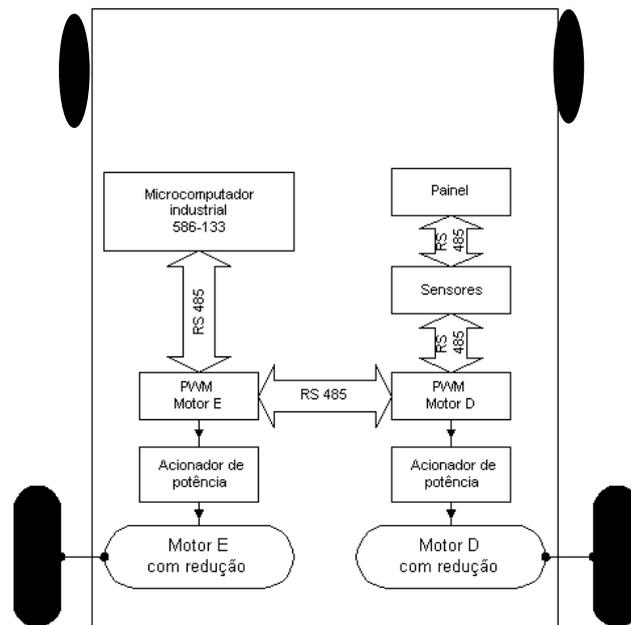


Figura 6.2 – Diagrama funcional do veículo

A movimentação é feita por dois motores acoplados às rodas traseiras que operam em modo diferencial, e além disso há duas rodas de giro livre posicionada na dianteira do veículo, garantindo o controle total do veículo. Controlando os motores estão dois módulos microprocessados (Motorola 68HC11) que produzem a modulação PWM a partir dos sinais de controle provenientes do barramento de dados RS485². Anexados a esses módulos estão dois acionadores de potência chaveados a relé e MOSFETs, garantindo um sinal bastante regular nos motores.

A navegação automática é baseada em um conjunto de sensores de proximidade instalados ao redor do veículo que é gerenciado por uma unidade autônoma microprocessada ligada ao barramento serial. Esta unidade processa as informações de proximidade relativa a obstáculos e as transfere para o núcleo de controle do veículo.

um espaço de endereços de memória ou um conjunto de variáveis globais. Existe assim muito menor proteção de uma *thread* para uma outra em contraste com *multitasking*.

(http://www.ictp.trieste.it/~manuals/programming/sun/workshop/beyond_basics/mtconcepts.doc.html#309)

² O padrão serial EIA RS485 é muito parecido com o padrão RS422. As suas principais características elétricas e temporais são compatíveis com as daquele padrão. A principal diferença é que o padrão RS485 define que os seus acionadores de linha são dispositivos com três estados (0, 1 e alta impedância). Isto possibilita a ligação do tipo barramento entre unidades, ou seja, num mesmo par de fios poderemos ter diversos acionadores de linha. Num dado instante somente um destes acionadores estaria habilitado e os demais em alta impedância.

O controle da guiagem do veículo é feito através de um painel microprocessado com conectores para os diversos tipos de manipuladores que podem ser usados pela criança. Este painel permite uma maior flexibilidade para a adoção de novas tecnologias de interfaceamento com a criança. Além disso, este painel permite a configuração do modo de operação do veículo pelo educador.



(a)



(b)

**Figura 6.3 - Detalhes do carrinho utilizado em nosso projeto
(a)-chassi; (b) carenagem.**

6.5 Software de Controle

O programa de controle é escrito na linguagem C e tem como função principal o gerenciamento dos processos do veículo de maneira eficiente através da utilização de *threads* designadas a cada operação como: controle dos motores 1 e 2, tratamento da porta serial, envio de dados através da porta paralela e tratamento dos comandos provenientes da interface com a criança.

Além disso este programa possui a função de inicializar todos os módulos através da designação de endereços a cada um, de forma a individualizar cada bloco.

O gerenciamento do protocolo de comunicação é outra tarefa realizada pelo *software* de controle, porém é comum também aos outros dispositivos de forma a possibilitar a interpretação dos comandos enviados em ambas as direções (micro PC → dispositivos; dispositivos → micro PC).

6.6 Conclusão

O princípio que consideramos mais importante para o veículo em desenvolvimento é que ele deve possuir um aspecto lúdico. Este aspecto é importante, primeiro, para que não haja a possibilidade de rejeição por parte da criança e segundo, para facilitar a integração dela com outras crianças, pois o veículo deverá atraí-las também. Para atender este princípio o desenvolvimento do veículo tornou-se mais difícil, pois o conjunto de recursos eletrônicos deveria ficar o mais “escondido” possível.

Capítulo 7

CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

O trabalho de desenvolver um veículo autoguiado para uso por crianças com severa deficiência, pode parecer à primeira vista um trabalho limitado ao campo da engenharia. Sendo assim, bastaria usar a experiência de desenvolvimentos anteriores (OLIVEIRA, 1996; DA COSTA, 1993), toda uma bibliografia disponível nas áreas de controle, navegação e projeto de veículos autoguiados industriais AGV (HOLLIER, 1986; MÜLLER, 1983; HAMMOD, 1986, IYENGAR, 1991; IYENGAR, 1991a; MARTINS FILHO, 1999; SANDI, 1998) e de motores elétricos (SEN, P.C., 1996; FITZGERALD, A.E. *et alii*, 1993; BOFFI, L.V. *et alii*, 1988; KOSOW, I.L., 1992; MCPHERSON, G., 1992; CHAPMAN, S.J., 1990) além de contatos com outros desenvolvedores na área de automação industrial para o trabalho ficar completo.

Entretanto a disponibilização de um veículo com estas características ultrapassa os limites da engenharia. O simples fato de embarcarmos neste veículo um ser humano já restringe as nossas opções de uma completa automação. Estas restrições se ampliam se este ser humano for uma criança e, muito mais ainda, se for o caso de uma criança com deficiência.

Simplesmente embarcar uma criança com deficiência num veículo auto guiado (AGV) e deixar que este veículo navegue autonomamente por um espaço limitado é tão simples como colocá-la em um carrossel de parque de diversão. A automação, ou melhor, a inteligência a ser colocada neste veículo pode permitir muito mais que isto. Pode, por exemplo, servir como um instrumento de estímulo ao desenvolvimento desta criança, deixando que a criança assuma o controle da guiagem. Pode ser adicionada aí uma atenção assistencial pelo sistema aos comandos fornecidos pela criança evitando, por exemplo, obstáculos como uma escada ou um buraco. Neste caso é importante que o sistema sinalize de uma forma perceptível e inconfundível, o erro da opção feita pela criança.

Para atender às diferentes capacidades das crianças que possam utilizar o veículo do nosso projeto, assim como no projeto PALMA, estabelecemos cinco níveis de

automação. Cabe ao assistente da criança, ou seja, aos educadores, terapeutas, pais ou parentes prestar atenção à atividade do mesmo e configurar o veículo para o nível adequado.

7.1 Modularidade.

A característica mais importante que introduzimos com a nossa proposta é a modularidade dos recursos a serem agregados ao nosso veículo. Consideramos importante definir um padrão de comunicação entre os módulos de forma que a adição de um novo recurso seja feito da forma mais simples possível, algo como o conceito de “*plug and play*”. No nosso projeto, assim como no PALMA, os módulos de controle de tração e dos sensores de proximidade obedecem a um único protocolo. Propomos, diferente do PALMA, que os módulos de console do usuário e do assistente obedecem ao mesmo protocolo. Assim se um fabricante de dispositivos de comunicação alternativa desenvolver um novo recurso de acordo com este protocolo, este poderá substituir muito facilmente o console já existente.

7.2 Aspecto Lúdico

Outra característica que consideramos importante é o aspecto de brinquedo que o nosso veículo deve ter. Com esta característica o veículo será atrativo para o usuário que necessita utilizá-lo, mas também atrairá outras crianças que não precisem dele para se movimentar. Este aspecto poderá servir como um vetor de interação social da criança usuária com seus coleguinhas numa sala de aula. Quantos coleguinhas desta criança não gostariam de dar uma voltinha em seu “carrinho”? Resta avaliar como a destreza demonstrada por um coleguinha no uso deste carrinho poderá servir de estímulo à criança para tentar fazer o mesmo.

7.3 As aplicações possíveis.

Este veículo é proposto inicialmente para o uso por crianças com severas deficiências motoras em idade muito tenra, para servir como primeiro elemento de deslocamento. Entretanto, por suas características de modularidade, este veículo poderá

servir à mesma criança até a fase escolar. As experiências realizadas com o PALMA em Barcelona e em Lisboa, indicam a sua utilização por crianças já bem crescidas.

O nosso veículo é um instrumento de apoio terapêutico e pedagógico ao desenvolvimento motor e cognitivo da criança. Não substitui o assistente, muito pelo contrário, deve ser uma ferramenta deste para apoiar seu trabalho com a criança.

Este veículo poderá também servir para pesquisa e avaliações neuro psicológicas da criança embarcada. Para tanto deverá ser possível anexar ao sistema unidades de comunicação remota.

7.4 O que foi feito e o que falta fazer

A nossa participação neste projeto vai do estudo e especificação descritos aqui até atividades difíceis de serem avaliadas cientificamente, mas que consumiram muito tempo e recursos, como por exemplo, a procura no mercado nacional de dispositivos eletrônicos e mecânicos.

Devemos destacar a nossa participação no projeto PALMA, onde ajudamos a definição do sistema de acionamento e de controle dos motores de tração, bem como participamos de diversas reuniões do projeto em Campinas.

Outra atividade importante para a realização deste nosso trabalho foi a nossa participação nos Encontros Unicamp de Comunicação e Mobilidade Aumentativa e Alternativa, onde pudemos estabelecer o contato com o trabalho de diversas instituições e de pesquisadores, bem como conhecer diversas técnicas e áreas do conhecimento importantes para o nosso trabalho e que inicialmente desconhecíamos.

O projeto continua no trabalho de SOUZA (2001), onde os aspectos de implementação foram tratados diretamente, assim como a especificação do protocolo de comunicação e o desenvolvimento das rotinas básicas.

O veículo precisa ser concluído, faltando, para isto, atender os requisitos de “*seating*” e de adaptação de uma base de ancoragem de diferentes assentos. O próximo

passo é levar o veículo para uma entidade onde a sua aplicação com crianças com deficiência motora possa ser efetivamente testada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, J. A. A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, pp. 111-150. 1971.

ALMEIDA, José Luís Antunes de. Conversores CC-CC (choppers). *Eletrônica Industrial*, pp. 198-202. São Paulo: Ed. Érica, 1991.

AZEVEDO, Erico de Lima, *Projeto e Implementação da Unidade de Controle de um Sistema de Barramento Automotivo*. Tese de Mestrado, DSIF-FEEC-UNICAMP, Dezembro de 1998,

BECKER, M. (1999) *Control Techniques Applied to Autonomous Vehicle for Disabled - Avd.*

BEE, Helen. Desenvolvimento Mental Atípico. *A Criança Em Desenvolvimento*, pp. 356-361. São Paulo: Ed. Globo, 1993.

BOBATH, Berta; BOBATH, Karel. *Desenvolvimento Motor nos Diferentes Tipos de Paralisia Cerebral*. São Paulo: Ed. Manole, 1978.

BOFFI, L.V., SOBRAL JR, M. & DANGELO, L.C. *Conversão Eletromecânica de Energia* Editora Edgard Blucher Ltda. – 1988

CERNI, R. H.; FOSTER, L. E. Transducers and Primary Sensors. In: *Instrumentation for Engineering Measurement*, pp. 54-55. London: Ed. John Wiley & Sons, Inc., 1962.

CHAPMAN, S.J. *Electrics Machinery Fundamentals*. McGraw-Hill Book Company - 1990

CONNOR, F.; WILLIAMSON G.; SIEPP J. In: *Program Guide for Infants and Toddlers With Neuromotor and Other Developmental Disabilities*, pp. 288. New York: Ed. Teachers College Press, 1978.

CRUICKSHANK, William M.; JOHNSON, G. Orville. In: *Educação De Excepcionais*, Tradução: Jurema Alcides Cunha, Rio de Janeiro: Ed. Globo, 1982.

DA COSTA, Sérgio Eduardo Gouvea, - *Estudo e Implementação de Sistemas de Controle de Direção para Veículo Auto-Guiado* 21/09/1993 Tese de Mestrado, FEEC-UNCAMP

FALCONE, Aurio Gilberto. Métodos de Ajuste de Velocidade nos Motores CC. In: *Eletromecânica*, pp. 422-425. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1993.

FALVEY, M.A. e HANEY, M. (1989) Partnerships with parents and significant others. Em: Falvey, M.A. *Community-basa curriculum. Instructional strategies for students with severe handicaps*. Baltimore, MD: Paul H. Brookes Publishing Co. 15-34.

FERGUSSON,D.L. *et alii* (1992). Figuring out what to do with grownups:how teachers make inclusion “work”for students with disabilities. Em: *The Journal of the Association for Persons With Severe Disabilities (JASH)*, 17 (4), 218-226.

FITTS, P. M. Perceptual motor skill learnig In: *Categories of Human Learning*, New York: Ed. A. W. Melton - Academic Press, 1964.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, Charles; KUSKO, Alexander. Um Regulador Elementar de Velocidade de Motores In: *Máquinas Elétricas*, pp. 453-456. São Paulo: Ed. McGraw-Hill, 1981.

FITZGERALD, A.E., KINGSLEY JR.C., & KUSKO, A. *Máquinas Elétricas* McGraw-Hill do Brasil Ltda. 1993

FOREST,M. *et* LUSTHAUS,E. (1987). Le kaleidoscope: un défi au concept de la classification en cascade. Em: Forest,M.(organizadora) *Education-Intégration*. Downsview, Ontario: L’Institut A.Roeher. Vol. II.1-16.

GOPEL, W.; HESSE, J.; ZEMEL, J. Medical Sensor Requirements In: *Sensors - A Comprehensive Survey*, pp. 556-560. Weinheim: Ed. VCH, 1989.

- HAMMOND, G.C. (ed) – *Proceedings of the 4th International Conference on Automated Guided Vehicle Systems* IFS Conferences Ltd, - 1986 - Chicago USA
- HOLLIER, R.H.(ed.) – *AGV Proceedings of an Executive Briefing* 1986 – IFS Publications Ltd. UK
- HUBERT, Charles I. Direct Current Motors In: *Operational Electricity*, pp. 332-333. New York: Ed. John Wiley & Sons Inc., 1961.
- IYENGAR, S.Sitharama and Elfes, Alberto(eds.) - *Autonomous Mobile Robots – Control, Planning, and Architecture* - IEEE Computer Society Press – 1991
- IYENGAR, S.Sitharama and Elfes, Alberto(eds.) - *Autonomous Mobile Robots – Perceptio, Mapping, and Navigation* - IEEE Computer Society Press – 1991
- KARSA, Béla E. F. Requirements of The Serviceability of Electrical Measuring Instruments In: *Electrical Measuring Instruments and Measurements*, pp. 32-33. Budapest: Ed. Akadémiai Kiadó, 1967.
- KIRK, Samuel A.; GALLAGHER, James J. *Educating Exceptional Children*, Boston: Ed. Houghton Mifflin Company, 1979.
- KOSOW, I.L. Máquinas Elétricas e Transformadores Editora Globo – 1992
- KOSOW, Irwing I. Relação de Tensão nas Máquinas CC - Geradores CC. In: *Máquinas Elétricas e Transformadores*, pp. 72-83. São Paulo: Ed. Globo, 1993.
- LIDA, Itiro. *Ergonomia: Projeto e Produção*, pp. 188, 281-283. São Paulo: Ed. Edgard Blucher LTDA., 1990.
- LION, Kurt S. *Instrumentation in Scientific Research - Electrical Input Transducers*, pp. 7-234. New York: Ed. Mc Graw-Hill, 1959.
- MACHADO, Maria Terezinha de Carvalho; ALMEIDA, Marlene Concetta de Oliveira. *Ensinando Crianças Excepcionais*, Rio de Janeiro: Ed. Livraria José Olympio, 1970.

- MAESTRELLI Beatriz, Zilda Aparecida Palhares e Egmar Longo Araújo de Melo, Adaptação em cadeira de rodas de crianças com distrofia muscular progressiva (in) Quevedo, Mantoan e Oliveira – *Mobilidade e Comunicação – Desafios à Tecnologia e à Inclusão Social* – UNICAMP – 1999
- MANTOAN, M.T.E. (1988). Compreendendo a deficiência mental: novos caminhos educacionais. São Paulo: Editora Scipione
- MANTOAN, M.T.E. (1999). Notas de palestra no II ECMAA – II Encontro Unicamp sobre Comunicação e Mobilidade Aumentativa e Alternativa.
- MARTINS-FILHO, Luiz de S. & Roland Prajoux - Controle de Locomoção de um Robô Quadrúpede Utilizando Linearização Exata Entrada-Saída – *Revista Controle & Automação* Volume 10 número 3 – 1999 - Páginas: 157-166
- MATOS, Denise Regina,. - Adequação Postural Em Cadeira De Rodas (in) Quevedo, Mantoan e Oliveira – *Mobilidade e Comunicação – Desafios à Tecnologia e à Inclusão Social* – UNICAMP – 1999
- MCPHERSON, G. An Introduction to Electrical Machines and Transformers John Wiley & Sons.- 1992
- MOURA, Ênio. A Criança em Desenvolvimento e o Ambiente Escolar. In: *Biologia Educacional - Noções de Biologia Aplicadas à Educação*, pp. 54-55. São Paulo : Ed. Moderna, 1993.
- MÜLLER, Thomas – *Automated Guided Vehicles* – 1983 - IFS Publications Ltd. UK
- NIRJE, B. (1969). The normalization principle and its human management implications. Em: Kugel, R. et Wolfensberger, W. *Changing patterns in residential services for the mentally retarded*. Washington, Dc: President's Committee on Mental Retardation.
- NISBET, Paul; CRAIG, John; ODOR, Phil; AITKEN, Stuart. (1995) *Smart Wheelchairs for Mobility Training*.

- OLIVEIRA, José Raimundo de – Projeto AGVIAR – Veículo Autoguiado para Fins Didático, - FEEC-UNICAMP – Relatório de Projeto FAEP – 1996
- OLIVEIRA, José Raimundo de Oliveira; LUPI, Daniel; PONTE, Margarida Nunes da; GUARINI, Marcelo; BASIL, Carmen; CERES, Ramón; CALDERÓN, Leopoldo; GONZALEZ, Vicente; CERNUZZI, Luca; RODRIGUEZ, Nahir; AZEVEDO, Luis. *Mobilidade Alternativa no Desenvolvimento Social e Cognitivo de Crianças com Paralisia Cerebral: Uma Experiência de Cooperação Internacional. Tecnologia em habilitação Cognitiva- Uma perspectiva multidisciplinar.* EDUNISC, São Paulo 1998.
- PEREIRA, Suely F. Introdução e Revisão da Literatura. *A Aquisição da Primeira Locomoção da Criança*, pp. 10-17. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos - Centro de Educação e Ciências Humanas - Programa de Pós Graduação em Educação Especial - Tese de Mestrado, 1990.
- PURKEY,W.W. et NOVAK,J.M. (1984). *Inviting school success. A self-concept approach to teaching and learning.* Belmont: Wadsworth.
- RASMUSSEN, Jens *Semiotic Interpretation of Human Acts.* In: *Information Processing and Human-Machine Interaction*, pp. 108-110. Roskilde: Ed. Elsevier Science Publishing Co., Inc., 1986.
- RUBINI, Alessandro, Andy Oram (Editor), 1998. *Linux Device Drivers.* O'Reilly & Associates
- SAINT-LAURENT,L. (1994). *L'éducation intégrée à la communauté en déficience intellectuelle.* Montréal, Québec: Les Editions Logiques Inc.
- SANDI L.,Franz A., Elder M. Hemerly e Walter F. Lages - Sistema para Navegação e Guiagem de Robôs Móveis Autônomos – *Revista Controle & Automação* Volume 9 número 3 – 1998 - Páginas: 107-118
- SEN, P.C., *Principles of Electric Machines and Power Electronics*, 2nd. Edition. John Wiley & Sons. – 1996

SOUZA, Rafael S. J.; LEONEL, Ricardo S.; OLIVEIRA, José R. Veículo Autoguiado para Crianças com Deficiência Motora, (in) Quevedo, Mantoan e Oliveira – *Mobilidade e Comunicação – Desafios à Tecnologia e à Inclusão Social* – UNICAMP – 1999

SOUZA, Rafael. S. J., *Sistema de Controle de Navegação do Veículo Baseado no Projeto PALMA*, Tese de Mestrado, DCA-FEEC-UNICAMP. A ser defendida.

TELEFORD, Charles W.; SAWREY, James M. Excepcionalidade e o Conceito de Eu. In: *O Indivíduo Excepcional*, pp. 57-58. Rio de Janeiro: Ed. Zahar, 1978.

WERNER, David. Assentos e Cadeiras de Rodas Especiais. In: *Guia de Deficiências e Reabilitação Simplificada*, pp. 589-602. Brasília: Coordenadoria Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência - CORDE, 1994.

ANEXO A – Alternativas de Projetos Mecânicos de Cadeiras de Rodas

O projeto de uma cadeira de rodas deve observar detalhes de construção como os relacionados a seguir:

- **Custo.** Manter baixo o custo torna o dispositivo acessível a todos, porém a qualidade deve ser suficientemente alta para satisfazer as necessidades da criança.
- **Durabilidade.** Às vezes pessoas de maior peso se utilizam da cadeira e a mesma deve oferecer sistemas de tração e mancais mais fortes.
- **Construção Simples.** Quanto mais rápido e mais fácil de fabricá-la, mais crianças podem ser atendidas.
- **Disponibilidade de Materiais para Manutenção.** Utilizando-se recursos locais e de baixo custo, consegue-se facilitar não somente a montagem, mas principalmente a posterior manutenção.
- **Peso.** Quanto mais leve for a cadeira, menor o consumo de energia para tracioná-la, além do que isto facilita sua navegação.
- **Largura e Comprimento.** Quanto mais estreita e curta, mais facilmente será guiada. Mas uma cadeira muito estreita pode tombar facilmente.
- **Transporte.** Se possível, ela deve ser compacta ou dobrável ao ponto de ser transportável em um bagageiro.
- **Adaptável às Vontades e Necessidades da Criança.** Devemos elaborar uma cadeira confortável, permitindo que a criança possa sentar em uma posição saudável para sua coluna.
- **Ajuste e Fator de Crescimento.** Até quando o aparelho pode servir para determinado indivíduo? Pode ser ajustado para seu crescimento?

Reproduzimos a seguir o levantamento feito por Werner (1994) sobre as várias alternativas de projeto mecânico de cadeiras de roda.

Tabela A-1 - Tamanho e Posição das Rodas

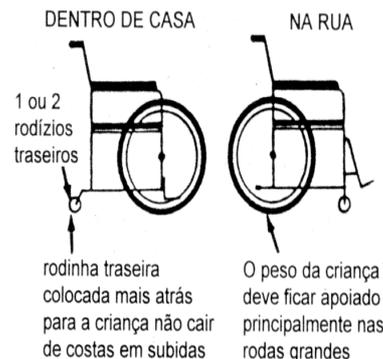
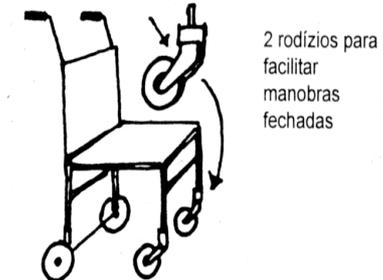
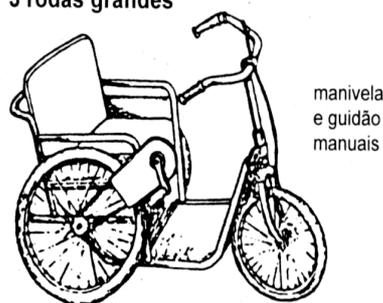
Característica	Detalhes do Projeto	Vantagens	Desvantagens
<p>2 rodas grandes com 1 ou 2 rodízios</p>  <p>DENTRO DE CASA NA RUA</p> <p>1 ou 2 rodízios traseiros</p> <p>rodinha traseira colocada mais atrás para a criança não cair de costas em subidas</p> <p>O peso da criança deve ficar apoiado principalmente nas rodas grandes</p>	<p>Rodízios facilitam manobras</p> <p>Para pessoas sem pernas, as rodas traseiras devem ser colocadas mais atrás</p>	<p>A criança pode locomover-se sem ajuda externa</p> <p>Rodas grandes são melhores em superfícies irregulares</p>	<p>Ocupa mais espaço</p> <p>É mais difícil subir ou descer da cadeira</p>
<p>4 rodas pequenas</p>  <p>2 rodízios para facilitar manobras fechadas</p>		<p>Boas somente em pisos lisos para uma criança que não pode empurrar sem ajuda</p> <p>Mais barata</p> <p>Ocupa menos espaço</p> <p>Mais fácil de colocar e tirar a criança da cadeira</p>	<p>Não é boa em superfícies irregulares</p>
<p>3 rodas grandes</p>  <p>manivela e guidão manuais</p>	<p>Pode-se usar como material alternativo, três rodas de bicicleta</p> <p>Em alguns modelos, a roda da frente é removível e são colocadas duas rodinhas dianteiras para usar a cadeira dentro de casa</p>	<p>Excelente para percorrer distâncias longas e andar em superfícies irregulares</p> <p>Pode ser utilizada manualmente ou com acionamento de motores</p>	<p>Grande demais para ser utilizada dentro de casa</p> <p>Mais cara</p> <p>De construção mais difícil</p>

Tabela A-2 - Material para Construir a Estrutura

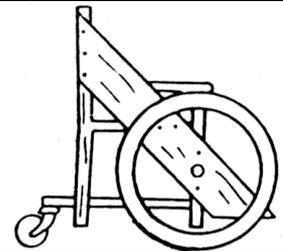
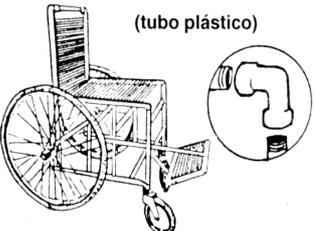
Característica	Detalhes do Projeto	Vantagens	Desvantagens
<p>tubo de aço</p> 	<p>Pode-se usar condutos elétricos de paredes finas</p>	<p>É possível construir uma cadeira forte, durável e bastante leve</p>	<p>Exige habilidade de soldagem para se obter boa durabilidade</p>
	<p>Madeira</p>	<p>Relativamente barata e fácil de se montar</p> <p>Fácil de se adaptar e/ou instalar suportes especiais</p>	<p>Pode não ser tão estável e durável quanto os outros modelos</p>
<p>Barras de Ferro (usadas em concreto armado)</p>  <p>assento e encosto de plástico trançado</p> <p>o descanso-pés desliza para dentro ou fora</p>	<p>O projeto é o mesmo das cadeiras de tubos de metal, mas é de mais fácil adaptação devido à possibilidade de se envergar a barra de ferro</p>	<p>Relativamente barata</p> <p>Mais fácil de envergar e soldar</p> <p>Pode ter assento e encosto de plástico trançado</p> <p>Particularmente boa para cadeiras pequenas</p>	<p>Cadeira sujeita a deformações devido ao descuido ou excesso de peso</p> <p>Bastante pesada, especialmente para ser tracionada por motores elétricos</p>
<p>Tubo de PVC (tubo plástico)</p> 	<p>Tubos de PVC podem acompanhar conexões e serem montados com uma cola especial</p>	<p>Material leve</p> <p>Pode ser construída simplesmente colando peças umas nas outras</p>	<p>Materiais caros</p> <p>Tubos envergam-se nos pontos de tensão</p>

Tabela A-3 - Assentos e Encostos

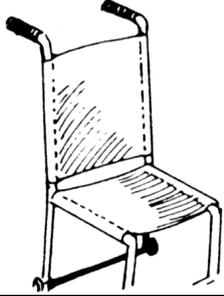
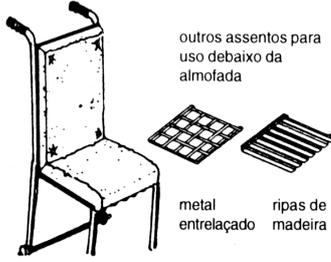
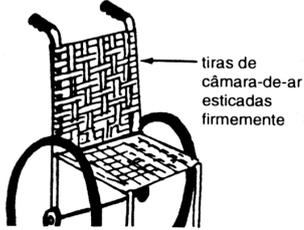
Característica	Detalhes do Projeto	Vantagens	Desvantagens
<p>Lona macia ou couro esticado de lado a lado</p> 	<p>Usar tecido fácil de lavar</p> <p>Lonas plastificadas facilitam a limpeza, mas são quentes e podem causar irritação</p>	<p>Melhor projeto de assento ou encosto para cadeiras dobráveis</p> <p>Acomodação é mais confortável e impede queda da criança</p>	<p>Encosto macio e encurvado proporciona uma posição prejudicial</p> <p>Aumenta o risco de desenvolvimento de contraturas que unem os dois joelhos</p>
<p>Assentos e encosto firmes (mas acolchoados)</p> 	<p>Uso de madeira ou compensado fino</p> <p>Projetos especiais permitem a dobra da cadeira</p>	<p>Fácil de se adaptar ou acrescentar suportes.</p> <p>Ajudam a criança a sentar-se com as costas retas e os joelhos separados</p>	<p>Pode ser menos confortável</p> <p>Mais pesada</p> <p>Difícil de dobrar</p>
<p>Assento e encosto trançados</p> 	<p>Usa fibras naturais</p> <p>Trançado de plástico</p>	<p>Entrelaçamento aberto é mais confortável em dias quentes</p> <p>Assentos de plástico ou borracha permitem banho na cadeira</p>	<p>Precisam ficar sempre bem esticados</p> <p>Podem não ter grande durabilidade</p> <p>Acabam cedendo</p>

Tabela A-4 - Pneus e Rodas

Característica	Detalhes do Projeto	Vantagens	Desvantagens
<p>Pneus infláveis</p> 	<p>Pneus e câmaras de ar funcionam bem para as rodas grandes</p>	<p>Locomoção mais macia</p> <p>Fáceis de trocar</p> <p>Pneus largos são bons para superfícies irregulares</p> <p>Pneus estreitos são melhores em terrenos lisos e ruas pavimentadas</p>	<p>Podem furar - principalmente em superfícies irregulares</p> <p>Mais caros do que os outros tipos</p> <p>Durabilidade menor</p>
<p>Pneus maciços (pneus comuns de cadeiras de rodas)</p> 		<p>Não furam</p> <p>Bons para correr em superfícies lisas</p>	<p>Caros</p> <p>Difíceis de trocar</p> <p>Locomoção incômoda em superfícies irregulares</p> <p>Quando muito estreitos, afundam na areia</p>

Tabela A-5 - Rodas

Característica	Detalhes do Projeto	Vantagens	Desvantagens
<p>Rodas (de cadeiras de rodas) feitas em fábricas</p> 		<p>Exigem pouco trabalho (se apresentarem a medida exata)</p>	<p>São mais caras</p> <p>Difíceis de encontrar</p> <p>Podem ser frágeis em superfícies irregulares</p> <p>Rolamentos são normalmente de má qualidade</p>
<p>(Rodízios são rodinhas que giram em todas as direções para fazer manobras)</p> <p>Rodízios padronizados para cadeira de rodas</p> 	<p>Rodízios vêm com pneus duros ou pneus balões em diferentes tamanhos, pesos, estilos e preços</p>	<p>Pouco trabalho para fixar - principalmente com mancais padronizados</p>	<p>Geralmente são muito caros</p> <p>Pouca disponibilidade</p>

Tabela A-6 - Cubos, Rolamentos e Eixos

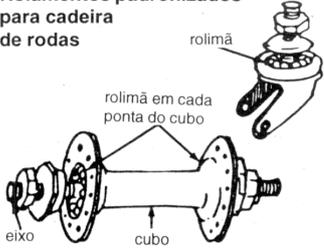
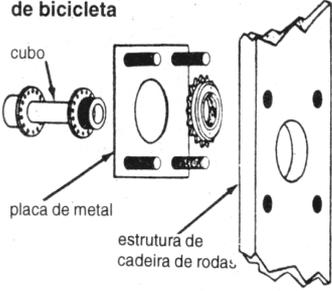
Característica	Detalhes do Projeto	Vantagens	Desvantagens
<p>Rolamentos padronizados para cadeira de rodas</p> 	<p>Uma cadeira de rodas comum usa diversos rolamentos, um para cada grau de liberdade das rodas</p>	<p>Rolamentos normalmente disponíveis com as rodas</p>	<p>Geralmente são caros, se desgastam rapidamente e apresentam-se de baixa qualidade</p>
<p>Eixo e rolamentos de roda traseira de bicicleta</p> 		<p>São de baixo custo</p> <p>São fáceis de se encontrar</p> <p>Pode-se utilizar juntamente com a roda disponível de uma bicicleta</p>	<p>Exige trabalho e soldagem especializados</p>

Tabela A-7 – Presença de Descansa-Braços

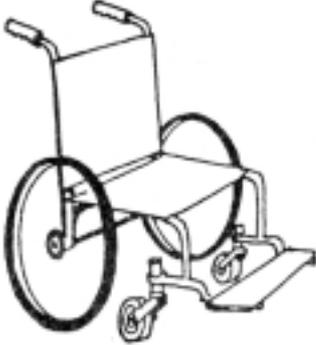
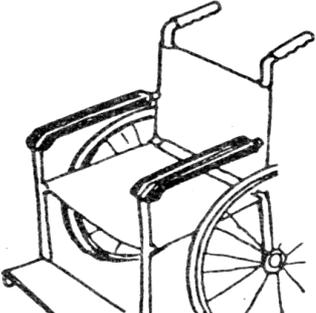
Característica	Detalhes do Projeto	Vantagens	Desvantagens
<p>Cadeira sem descansa-braços</p> 		<p>Muitas crianças com braços fortes e controle do tronco preferem cadeiras sem descansa-braços e com um encosto bem baixo</p> <p>A cadeira pesa menos</p> <p>Subir e descer da cadeira pesa menos</p>	<p>Muitas crianças pequenas precisam do descansa-braços para equilibrar-se mais, ter postura melhor ou ter mais conforto</p>
<p>Descansa-braços fixos</p> 		<p>São úteis se a criança não puder usar as pernas para descer da cadeira</p> <p>Ajudam a criança a sentar-se em uma posição mais confortável</p> <p>Às vezes, servem como apoio para uma mesinha removível</p>	<p>Podem atrapalhar o movimento das mãos ou na descida da cadeira</p>

Tabela A-8 - Descansa-Pés

Característica	Detalhes do Projeto	Vantagens	Desvantagens
<p>Descansa-pés fixos</p> <p>A altura dos descansa-pés deve ser cuidadosamente calculada para ajustar-se à criança que irá usá-lo.</p>   <p>LEMBRE-SE: Almofadas ou adaptações do assento mudam a altura necessária dos descansa-pés.</p>	<p>Devem manter os joelhos e tornozelos em ângulos retos e as pernas ligeiramente separadas</p> <p>Em geral, eles não devem torcê-los ou forçá-los a ficarem juntos</p>	<p>Uma boa postura e um bom apoio para os pés ajudam o corpo inteiro a ficar em uma posição melhor</p>	<p>Algumas crianças podem ter problemas de contraturas nos joelhos se a sua cadeira de rodas apresentar um descansa-pé que mantém a perna em ângulo reto</p>

