

SHERMILA GUERRA SANTA CRUZ

**SISTEMA DE NAVEGAÇÃO PARA VEÍCULO AUTÔNOMO
UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Processamento de Sinais e Instrumentação.

Orientador:

Prof. Dr. Valentin Obac Roda.

São Carlos

2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira SHERMILA GUERRA SANTA CRUZ.

Dissertação defendida e julgada em 20/07/2009 perante a Comissão Julgadora:


Prof. Associado **VALENTIN OBAC RODA (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) Aprovado


Prof. Dr. **JOSÉ ROBERTO BOFFINO DE ALMEIDA MONTEIRO**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADO


Prof. Dr. **JORGE LUIZ E SILVA**
(Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação/USP) Aprovado


Prof. Titular **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Dedico:

A meus pais, Victor e Zoila, "grandes homens" que me ensinaram a trilhar os árdulos caminhos da vida com perseverança e coragem, para eles , com amor, admiração e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus todo poderoso, pela vida pelo amor.

Também quero agradecer a muitas pessoas que participaram ativa ou indiretamente para o sucesso de esse projeto.

No âmbito pessoal, gostaria de expressar meus agradecimentos e admiração ao Dr. Valentin Obac Roda, pela orientação, supervisão e construção e modelagem da arquitetura do triciclo autônomo utilizado nesta tese.

Também, gostaria de expressar meus agradecimentos e admiração pela qualidade humana a Dra. Maria Stela Paiva.

Aos companheiros do Laboratório de Instrumentação Virtual e Microprocessada da USP de São Carlos e aos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica/EESC-USP que participaram diretamente no desenvolvimento deste projeto Luciano Neris, Rui Bertho, Odair, Mônica, Aleandro e Elaine.

A meus amigos Soledad, Edwin, Luana, Kibe, pelas valiosas contribuições no processo da elaboração do projeto.

Ao meu enamorado Sérgio, por seu apoio, carinho.

Aos meus amigos Padre Mario, Sonia, Yasmin, Nivaldo, Carmen, Jorge, Israel e finalmente ao pessoal do alojamento.

Aos meus pais Victor e Zoila, e minhas irmãs Isaura, Minuska e Bianca pelo amor incentivo e compreensão na realização deste projeto.

"Se um homem tem um talento e não tem capacidade de usá-lo, ele fracassou. Se ele tem um talento e usa somente a metade deste, ele fracassou parcialmente. Se ele tem um talento e de certa forma aprende a usá-lo em sua totalidade, ele triunfou gloriosamente e obteve uma satisfação e um triunfo que poucos homens conhecerão".

Thomas Wolf.

RESUMO

GUERRA, S.C.S. (2009). Sistema de Navegação para veículo autônomo utilizando Lógica Difusa. 128 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Este trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de um sistema de controle de navegação para um veículo autônomo utilizando lógica difusa. Atribui-se o nome de *SNAT (Sistema de Navegação-autônoma para um triciclo)*. O sistema é responsável pela automatização do processo de navegação de um veículo de testes monitorado e controlado de uma base remota mediante enlace de telemetria de dados. O usuário do sistema, pela tela principal da aplicação indica os pontos a seguir, cada um destes é referenciado pela sua latitude e longitude no mapa. Uma vez iniciada a navegação, o sistema de controle recebe periodicamente pacotes de dados da posição e direção do veículo; estes dados são processados pelo controlador difuso que gera os comandos para atuação sobre o veículo. O controlador difuso traduz as expressões qualitativas, comuns na comunicação humana em valores numéricos que representam a direção e a velocidade para manter ou corrigir a navegação do veículo de testes pelo rumo desejado.

Nesta dissertação são apresentados diversos aspectos do desenvolvimento do controlador de navegação difusa, os mecanismos de comunicação e acionamento do veículo de uma base remota e os testes realizados que mostram os resultados do SNAT controlando automaticamente a navegação do veículo de testes.

Palavras-Chave: Controlador difuso, Navegação autônoma, navegação difusa autônoma.

ABSTRACT

GUERRA, S.C.S. (2009). Fuzzy Logic based navigation system for an autonomous. 128 p. MSc dissertation. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

This work had as a goal the development of a fuzzy logic based navigation control system for an autonomous vehicle. The developed control system was named SNAT (from the equivalent in Portuguese of “Autonomous Navigation System for a tricycle”). The system controls and monitors the navigation of the vehicle from a remote base station using a telemetry data link. The user indicates, using a developed application, the navigation waypoints, referencing them by their latitude and longitude coordinates in a map. When the navigation starts, the system receives periodically data packets indicating the position and direction of the vehicle, these data are processed by the fuzzy control which returns commands to actuate over the vehicle. The fuzzy control translates qualitative expressions, common in human communication, into numerical values that represent the speed and the direction to keep the vehicle as near as possible to the desired navigation route.

Many development aspects of the fuzzy controller and of the communication and actuation over the vehicle from the remote base are presented. Also are presented some results of the control system over navigation of the vehicle, which demonstrate that the system operates in a quite satisfactory manner.

Keywords: Fuzzy controller, automatic navigation, tricycle autonomous, autonomous vehicles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: – Esquema referencial de um barco fixado na terra.....	9
Figura 2.2: – Sistema que coordena no plano horizontal da embarcação	10
Figura 2.3: – Gráfico que mostra o Norte Magnético, Norte Geográfico, Norte da quadricula.....	14
Figura 2.4: – Gráfico da direção do azimute.....	14
Figura 2.5: – Gráfico da direção do rumo.....	15
Figura 2.6: – Gráfico que mostra a diferença entre o rumo e o azimute.....	16
Figura 2.7: - Exemplo de funções de pertinência para variável lingüística distância. .	17
Figura 2.8. Esquema de um controlador difuso.Fonte Klir & Yuan(1998)	23
Figura 3.1: Ilustra a arquitetura proposta em comportamentos hierárquicos e difuso para sistemas autônomos com guia e navegação. Fonte: (VIEIRA, 2007)	28
Figura 3.2: Valores da distância e da diferença de direção entre a postura atual e a próxima postura. Fonte: Fracasso et Al. (2005).....	30
Figura 3.3: - Distância (D) e diferença de direção (θ) entre a postura atual e a próxima postura. Fonte: Fracasso et al. (2005).....	30
Figura 4.1: Esquema do sistema de telemetria de dados da plataforma de navegação.....	34
Figura 4. 2:- Configuração dos dados recebidos pelo sistema de telemetria do veículo.....	35
Figura 4. 3:- Interface gráfica do local de navegação do veículo de testes.....	36
Figura 4.4: Interface gráfica com seis pontos objetivos para navegação no Sistema de Coordenadas Plana do SNAT.....	37
Figura. 4.5: Diagrama de blocos simplificado do sistema de navegação autônomo do veículo de testes.....	37
Figura 4.6: Diagrama de blocos da comunicação do sistema de navegação SNAT e	

sua interação com o veículo de testes.	38
Figura 4.7:- Foto do veículo utilizado como plataforma de testes no campo de Futebol do campus I Usp de São Carlos.	41
Figura 4.8:- Trajetória circular percorrida pelo veículo de testes, com centro de curvatura em ICC.	43
Figura 4.9:- Visualização do deslocamento do triciclo (a) em comparação a embarcação (b).	43
Figura 4.10: Gráfico do desvio da trajetória da embarcação: OG é a trajetória pretendida (rumo desejado), e OC a trajetória percorrida.	44
Figura 4.11:-Gráfico do “derrape” da embarcação. A direção OG é a proa da embarcação. A linha OG representa o rumo desejado. A direção da linha OC representa a trajetória percorrida.	44
Figura 4.12. Estrutura em camadas do sistema SNAT.	45
Figura 4.13. Diagrama da interação das variáveis da Navegação automática para o veículo não tripulado.	47
Figura 4.14: Gráfico da embarcação, considerando o ângulo de guia “ α ” igual ao ângulo objetivo “ θ ” e o deslocamento lateral do veículo “ $d=0$ ”, está alinhado com a direção desejada.	51
Figura 4. 15: Gráfico do deslocamento da embarcação, considerando o ângulo de guia.	51
Figura 4.16: Gráfico do deslocamento da embarcação, considerando o ângulo de guia.	53
Figura 4.17: Gráfico do deslocamento do veículo de testes, considerando o erro de orientação “ $\psi = 0$ ” e o deslocamento lateral do veículo “ $d>0$ ”	54
Figura 4.18: Diagrama do controlador difuso do controle do leme, com duas entradas: o erro de orientação e o erro de deslocamento lateral e uma saída compensação do leme.	56
Figura 4.19: Conjunto dos termos lingüísticos difusos para o erro de orientação.	56
Figura 4.20: Conjunto dos termos lingüísticos difusos para o erro de deslocamento	

lateral.....	57
Figura 4.21: Variável lingüística de saída do conjunto compensação do leme.....	58
Figura 4.22: Diagrama geral de fluxo do SNAT.....	63
Figura 5.1: Diagrama simplificado dos sistemas de controle do veículo de testes.	65
Figura 5.2- Dados das coordenadas capturadas ao redor da área de navegação.	67
Figura 5.3:- Gráfico que mostra a orientação do mapa no SNAT em função dos dados do GPS e da bússola captados e mapeados ao redor do campo de futebol da USP-SC.....	68
Figura 5.4:- Janela principal do SNAT.....	70
Figura 5.5:- Gráfico que mostra um ensaio. Os pontos azuis representam posições da navegação dirigida automaticamente pelo SNAT no campo de futebol da USP.	71
Figura 5.6:- Gráfico que mostra o erro de orientação pelo SNAT em função aos dados do GPS e da bússola. Para o exemplo da figura 5.5.	71
Figura 5. 7:- Gráfico que mostra o deslocamento lateral calculado pelo SNAT Para o exemplo da figura 5.5.....	72
Figura 5. 8:- Gráfico das respostas do controlador fuzzy no SNAT.	72
Figura 5. 9:- Gráfico que mostra a leitura do atuador leme no veículo de testes (linha rosa-) em comparação ao dado que gera o SNAT(linha azul-).	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Unidades com a extensão aproximada no equador.	12
Tabela 2.2 - Vantagens e desvantagens dos sistemas difusos.	21
Tabela 4. 1 – Tabela de comparação entre as linguagens Matlab e o Delphi para o SNAT.	39
Tabela 4.2 – Definição da variável lingüística: erro de orientação para o SNAT.....	57
Tabela 4.3 – Definição da variável lingüística do erro de deslocamento lateral para o SNAT.	58
Tabela 4.4 – Definição da variável lingüística da Compensação do leme para o SNAT.	59
Tabela 4.5 – Regras difusas para manter o curso do veículo mediante o erro de orientação e o deslocamento lateral.	60
Tabela 5.1–Valores geradas pelo SNAT para o ensaio da figura 5.5. no campo de futebol da USP - SC.....	70

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1: Resultados de testes de navegação realizados com o veículo autônomo no campo de futebol da USP - São Carlos.....84

Apêndice 2: Código fonte do SNAT100

LISTA DE SÍMBOLOS

n	Número de objetos, dados.
i	Índice de pontos, $i = 1, \dots, n$
δ	Orientação do leme
Ψ	Erro de orientação também chamado ângulo de desvio.
d	Deslocamento lateral.
Lat.	Latitude
Lon.	Longitude
$wpolon_i$	Waypoint objetivo, longitude inicio.
$wpolat_i$	Waypoint objetivo latitude inicio
$wpolat_f$	Waypoint objetivo, latitude fim ou objetivo.
$wpolon_f$	Waypoint objetivo, longitude fim ou objetivo.
α	Ângulo de guia
D	Distancia
tp	Trajectoria Percorrida
rd	Rumo desejado
θ	Ângulo deslocamento

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	VI
RESUMO.....	XI
ABSTRACT	XII
LISTA DE FIGURAS.....	XIII
LISTA DE TABELAS	XVI
LISTA DE APÊNDICES	XVII
LISTA DE SÍMBOLOS	XVIII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Motivação e relevância.....	1
1.2. Objetivo geral e específicos	3
1.3. Delimitação e Âmbito do Problema	3
1.4. Justificativa do trabalho.....	4
1.5. Estrutura do trabalho	4
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1. Robô	5
2.2. Navegação	8
2.3. Translação e rotação de um corpo rígido	9
2.4. Localização de um ponto na terra	10
2.5. Fundamentos da Lógica Difusa	16
2.6. Controle Difuso	22
2.7. Fuzzificação	23
2.8. Base de Regras	24
2.9. Máquina de Inferência.....	24
2.10. Defuzzificador	24
3. PROJETOS CORRELATOS	27

3.1. Considerações iniciais	27
3.2. Revisão dos projetos correlatos	27
3.3. Considerações finais	31
4. ARQUITETURA E METODOLOGIA DE NAVEGAÇÃO.....	33
4.1. Plataforma de navegação autônoma.....	33
4.2. Plataformas de Computação e de Programação utilizadas no desenvolvimento do projeto.	38
4.3. Análise do deslocamento do veículo de testes e da embarcação.	43
4.4. Arquitetura do projeto	45
4.5. Requisitos funcionais do SNAT.	46
4.6. Especificação do projeto.....	46
4.7. Implementação do controlador difuso de navegação.....	55
4.8. Algoritmo de navegação.....	61
4.9. Considerações Finais.....	64
5. ENSAIOS DE NAVEGAÇÃO DO VEÍCULO DE TESTES	65
5.1. Resultado com o veículo de testes	65
5.2. Os testes realizados para a construção do SNAT	66
5.3. Conclusão	73
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE CONTINUIDADE DO TRABALHO.....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
APÊNDICES	83

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA

Vivemos na era da automação onde produtividade, rapidez e eficiência são cada vez mais presentes e por essa razão, novos sistemas e novas tecnologias vêm sendo criados para facilitar e melhorar o trabalho humano. Tais sistemas devem ter autonomia a ponto de serem capazes de executar tarefas sem que haja interferência externa. Neste contexto, um sistema autônomo pode ser caracterizado pela capacidade de executar uma tarefa para o qual foi projetado sem a interferência de qualquer mecanismo de controle externo (FABRO e GOMIDE, 1996).

Smithers T. (1997) apresenta uma definição abrangente para o termo “autonomia”, aplicado a um sistema de controle artificial. De acordo com esta definição, “autonomia” refere-se não só à capacidade de ação e decisão independente de influências externas, mas, sobretudo à capacidade de auto-produção do mecanismo que gera a ação. Em outras palavras, um sistema autônomo deve ser capaz de sintetizar suas próprias leis de ação.

Os sistemas autônomos definem as seqüências de ações a serem tomadas em um ambiente predefinido. Na área de navegação autônoma os primeiros experimentos envolvendo mecanismos autônomos com robôs datam dos anos 60. Segundo Vieira (1999), o robô *Shakey*, desenvolvido no *Stanford Research Institute* é um dos membros desta primeira geração. Este foi projetado para navegar em um ambiente com objetos demarcados especialmente para auxiliar o sistema de sensoriamento, *Shakey* tomava suas decisões de navegação através de processos de inferência

simbólica, e as leituras sensoriais eram utilizadas para a construção e manutenção de seu modelo interno do ambiente de navegação. Assim como o *Shakey*, outros robôs com sistemas de navegação baseada em regras de inferência simbólica foram concebidos nas primeiras décadas de pesquisa na área, podendo-se citar como exemplo o *Hilare* em 1977 desenvolvido no *Laboratory Automatique Analyse System*, na França, em Stanford, e o robô *Rover* na *Carnegie-Mellon University*. Mais recentemente, o robô *Scorpio 45*, utilizado para o resgate ou salvamento submarino em operações perigosas, desce a uma profundidade máxima de 925 metros, é teleguiado com três câmeras e um braço mecânico que corta cabos de aço até 7 cm de diâmetro. Este foi responsável pelo resgate de sete marinheiros presos no fundo do mar em agosto de 2005 na baía de Kamchatka (extremo Oriente russo), Oceano Pacífico. Foi uma operação de resgate conjunta e com sucesso composta por especialistas da Rússia, Inglaterra e estados Unidos.

O campo de utilização dos robôs é vasto e vem ganhando espaço em proporções consideráveis, principalmente, pela capacidade que eles têm de captar e responder a sinais de sensores em locais remotos, através da exploração remota.

A automatização de robôs tem tido aplicações cada vez maiores nas mais variadas áreas, substituindo o homem em ambientes inóspitos e de alta periculosidade, em tarefas repetitivas como em ambientes industriais e domésticos, etc. Para isso se aliam a robótica, a inteligência artificial e outros, possibilitam a interação entre homens e máquinas, reduzindo o trabalho repetitivo e árduo dos humanos.

É possível definir posições, trajetórias e outras ações que podem ser repetidas continuamente com elevada precisão e repetibilidade. A motivação deste trabalho está relacionada à tarefa de medir as variáveis físicas e químicas da água, em diferentes pontos, em grandes corpos de água (lagos e reservatórios) que pode se tornar árdua quando realizada freqüentemente. Por esse motivo o Grupo de Instrumentação Virtual e Microprocessada, do Departamento da Engenharia Elétrica da EESC/USP, vêm desenvolvendo uma plataforma completa para medição automática de dados hidrológicos, denominada PACODAH. Essa plataforma consiste em uma embarcação, acionada por um motor de popa, que deverá navegar autonomamente nos

corpos de água em estudo, medindo e registrando as variáveis hidrológicas em pontos pré-determinados.

Os testes da plataforma PACODAHÍ precisam ser realizados na represa do Lobo (Broa), próxima à cidade de São Carlos, estas tarefas envolvem uma logística complicada de deslocamento dos pesquisadores e a embarcação até a represa. O laboratório construiu um veículo de testes para realizar ensaios do SNAT (rotinas de navegação) no campo de testes e para facilitar os testes dos circuitos eletrônicos que são utilizados na plataforma autônoma (veículo de testes). Este veículo contém toda a eletrônica embarcada e os sensores de orientação e posição utilizados na plataforma, contando também com um sistema de telemetria que envia dados e recebe comandos de uma estação fixa remota. O veículo terrestre permite avaliar rotinas de navegação em um ambiente próximo ao laboratório onde está sendo desenvolvido.

1.2. OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver e avaliar um sistema de navegação autônomo para o veículo de testes, o triciclo (SNAT), utilizando lógica difusa. Este será responsável pela tarefa de automatização de condução do veículo.

Os objetivos específicos são descritos a seguir:

- Implementar o conhecimento de especialistas em navegação, visando desenvolver procedimentos e mecanismos automáticos no controle do veículo de testes.
- Testar o deslocamento autônomo do veículo em função dos dados dos sensores GPS e a bússola.
- Utilizar os atuadores leme e manche sensores de direção e velocidade, em tempo real para orientar e dirigir a navegação do veículo.

1.3. DELIMITAÇÃO E ÂMBITO DO PROBLEMA

Para cumprir o objetivo deste projeto de pesquisa, conforme apresentado na seção 1.2, se construiu um sistema autônomo computadorizado para o veículo de testes. A tarefa de monitoração automática do veículo de testes é feita pelo SNAT, a partir de uma estação terrestre (laptop) mediante telemetria, por um usuário final, o qual envia

remotamente missões¹ de navegação.

Nos algoritmos desenvolvidos de navegação autônoma no projeto utilizou-se inteligência artificial (Lógica Difusa).

1.4. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

O presente trabalho justifica-se de diferentes maneiras:

a) dá suporte para o sistema autônomo completo PACODAHÍ, testando as rotinas de navegação autônoma no veículo terrestre;

b) os beneficiários finais do projeto completo PACODAHÍ são os especialistas biólogos ou ambientalistas que, atualmente, medem a qualidade da água manualmente.

c) com este projeto mostra-se uma aplicação na vida real, a navegação autônoma do veículo de testes monitorada por um usuário final remotamente.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

O capítulo 2 se apresenta cinco partes principais que são conceitos básicos que sustentam este projeto. Estes são: robôs autônomos, conceitos de navegação, translação e rotação de um corpo rígido, conceitos básicos sobre posicionamento de objetos com relação às coordenadas esféricas na terra e, por último, conceitos sobre a lógica difusa. No capítulo 3 são mostrados projetos correlatos referentes ao problema de navegação autônoma de veículos móveis. O capítulo 4 apresenta a implementação do projeto, focando a orientação e o deslocamento do veículo de testes.

No capítulo 5 mostram-se os resultados obtidos e no capítulo 6 são apresentadas conclusões e sugestões de continuidade do trabalho.

¹ Missões. - Conjunto de pontos pré estabelecidos num mapa por onde o veículo deve passar.

Capítulo 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Neste capítulo são revistos os conceitos mais relevantes referentes à fundamentação teórica para dar suporte a esta dissertação. O capítulo é dividido em cinco partes.

Na primeira parte são apresentados alguns conceitos relacionados a robôs, a sua topologia e à robótica móvel, já que o nosso veículo de testes pode ser considerado um robô móvel. A segunda parte trata dos conceitos de Navegação e a terminologia utilizada na área. Na terceira parte apresenta-se uma visão simples dos graus de liberdade de um corpo rígido e compara com uma embarcação e sobre a sua dinâmica em três dimensões. A quarta parte aborda os princípios de localização no globo terrestre, incluindo os conceitos básicos sobre posicionamento nas coordenadas esféricas na terra. Finalmente, a quinta parte, descreve os principais conceitos sobre lógica difusa (ou lógica *fuzzy*) que são a base para construir o controlador difuso de navegação.

2.1. ROBÔ

A definição de robô pode se alterar, dependendo da área de aplicação na qual se trabalha. A definição “oficial” do termo robô foi estabelecida pela Associação das Indústrias da Robótica (antigo RIA – *Robot Institute of América*) dos EUA, a qual representa 270 companhias: um robô industrial é um manipulador re-programável, multifuncional, projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especiais, em movimentos variáveis, programados para a realização de uma variedade de tarefas. Além disso, divide os robôs em seis classes seguintes:

Classe 1: Robôs manipulados: são dispositivos com vários graus de liberdade e operados manualmente;

Classe 2: Robôs de seqüência fixa: são dispositivos manipuladores, que desempenham tarefas sucessivas, de acordo com um método predeterminado e imutável, muito difícil de ser modificado;

Classe 3: Robôs de seqüência variável: dispositivos que desempenham tarefas sucessivas que podem ser facilmente modificadas;

Classe 4: Robôs repetitivos: são dispositivos que repetem uma seqüência de tarefas gravadas, e são conduzidos ou controlados por um operador humano;

Classe 5: Robôs de controle numérico: O operador alimenta o robô com um programa de movimentação ao invés de treiná-lo manualmente;

Classe 6: Robôs inteligentes: apresentam a capacidade de compreender seu ambiente e a habilidade de executar tarefas apesar das mudanças que se apresentam no seu meio.

Topologia dos Robôs

Segundo Nitzan (1985 apud, VIEIRA 1999) na definição de robô, como um conjunto de quatro componentes: Atuadores, Sensores, computadores e equipamentos auxiliares. Esta topologia é compartilhada por Jones & Flynn (1993 apud, VIEIRA 1999), que definem um robô como um sistema com uma coleção de sensores, atuadores e elementos computacionais.

Ampliando a visão topológica dos autores anteriormente citados, os robôs estão compostos pelos seguintes elementos:

- Corpo;
- Sistema de força(motores);
- Sistema de locomoção;
- Braços e atuadores;
- Sensores
- Equipamentos de entrada e saída.

VIEIRA (1999) e MCCOMB (1987) definem, "o suporte eletrônico" deve ser colocado separadamente, ou seja, o sistema de controle computacional do robô é considerado externo a ele, o que justifica a inclusão, na lista acima, de equipamentos de entrada e saída responsáveis pela sua comunicação. Mckerrow (1991) prefere definir o robô como um conjunto de subsistemas que de forma bem abrangente são classificados como:

- De processo;
- De planejamento;
- De controle;
- De sensores;
- Elétrico e
- Mecânico.

O subsistema de processo é o responsável pelas tarefas a serem realizadas pelo robô e sua inter-relação com o ambiente onde está contido. O subsistema de planejamento é o responsável pelo planejamento das tarefas definidas no subsistema de processo, enquanto no subsistema de controle os comandos de alto-nível são transformados em ações dos atuadores, que fazem parte do subsistema elétrico juntamente com interfaces e computadores. Para tornar possível a ação dos atuadores são utilizados sistemas hidráulicos ou pneumáticos, elementos do subsistema mecânico. Por fim o subsistema de sensores serve como monitoramento das ações do robô, fornecendo um retorno ao subsistema de controle.

Robótica Móvel

Segundo APOLINÁRIO, (2005), existem duas vertentes na definição de robôs móveis: uma diz ser o robô completo, auto-contido, autônomo, que necessita instruções de seu mestre apenas ocasionalmente. A segunda é aquela que define robô como sendo qualquer equipamento que se mova por seus próprios meios, com o objetivo de executar tarefas próximas às humanas. As duas definições levam a aceitar que um robô móvel é capaz de manobrar livremente em seu ambiente, alcançando metas.

2.2. NAVEGAÇÃO

Segundos autores: APOLINÁRIO (2005) e VIEIRA (1999), a navegação permite aos robôs móveis uma livre desenvoltura pelo seu ambiente de trabalho, alcançando metas. Isto é obtido através de sistemas de navegação, presentes em todos os robôs deste tipo, algumas vezes diferentes quanto à forma de executar o seu trabalho, mas chegando objetivamente a um ponto pré-estabelecido na geração de uma trajetória.

Terminologia em Navegação

No contexto deste trabalho os termos utilizados são:

PROA - é a direção do eixo longitudinal do veículo de testes. "É para onde a frente da embarcação aponta". É a direção horizontal que a qualquer instante a embarcação faz com uma direção de referência no sentido do movimento dos ponteiros de um relógio de 0 a 360 graus.

ROTA - é a projeção, na superfície terrestre; é a trajetória percorrida pelo veículo.

RUMO - é o que se planejou navegar. É a direção da rota no mapa; é a direção horizontal da trajetória que uma embarcação faz sobre a superfície da água. É expresso em graus a partir de uma direção de referência no sentido do movimento dos ponteiros de um relógio de 0 a 360 graus. A linha do rumo é a representação gráfica do rumo da embarcação sobre uma carta náutica.

Há uma diferenciação entre RUMO e PROA. O primeiro tem caráter permanente e a segunda tem um caráter instantâneo.

PONTO DE NAVEGAÇÃO ("WAYPOINT") - é uma posição (latitude, longitude, altura, hora), associada a um nome. O armazenamento do *waypoint* é comumente chamado de "marcar um ponto". O termo *waypoint* também está associado a pontos conhecidos.

TRAMO: “*leg*” (perna), define-se como o segmento de rota compreendido entre dois *waypoints*.

2.3. TRANSLAÇÃO E ROTAÇÃO DE UM CORPO RÍGIDO

Um corpo rígido é uma combinação de um grande número de partículas que ocupam posições fixas umas em relação às outras, sua translação e rotação independente determinam a flexibilidade de movimentação se representa pelos graus de liberdade.

Um corpo rígido no espaço tem seis graus de liberdade, correspondentes a três translações segundo três direções ortogonais e três rotações em torno dos três mesmos eixos.

O barco também conta com seis graus de liberdade (*degrees of freedom - DOF*). As seis coordenadas independentes são necessárias para determinar a posição espacial e a orientação de um corpo rígido (FOSSSEN, 1994).

Estas seis diferentes componentes de movimento são chamadas: surge, sway, heave, roll, pitch, e yaw. Nesse sentido, as notações mais utilizadas para estas quantidades são: x , y , z , ϕ , θ e ψ (Figura 2.1) A posição e orientação da embarcação são descritas em relação ao sistema referência inercial $O_E - X_E Y_E Z_E$ (Estrutura de referência inercial).

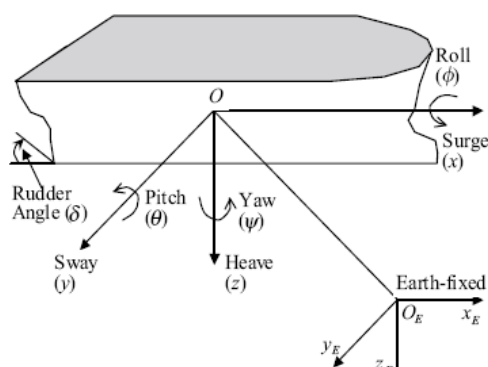


Figura 2.1: – Esquema referencial de um barco fixado na terra.

Fonte: velagic j. Vudic z, omerdic e., 2003.

No plano, todo corpo rígido tem três graus de liberdade, correspondentes as duas translações segundo duas direções ortogonais e a uma rotação em torno da direção perpendicular ao plano.

Os problemas para manter o rumo neste projeto são resolvidos considerando o movimento da embarcação no plano horizontal. Devido a isso o modelo com seis DOF é simplificado e reduzido ao modelo com três DOF (Figura 2.2)

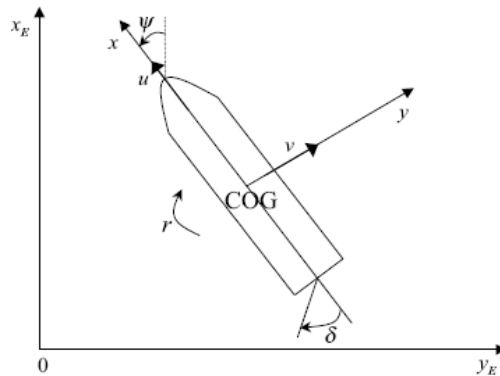


Figura 2.2: – Sistema que coordena no plano horizontal da embarcação

Fonte: velagic j. Vudic z, omerdic e, 2003.

As equações 2.1, 2.2. e 2.3 são equações não lineares do movimento da embarcação em três dimensões: avanço, deriva e guinada (surge, sway, yaw).

$$\text{surge: } m(\dot{u} - vr - X_G r^2) = X, \quad (2.1)$$

$$\text{sway: } m(\dot{v} + ur - X_G \dot{r}) = Y, \quad (2.2)$$

$$\text{yaw: } I_Z \dot{r} + m x_G (\dot{v} + ur) = N, \quad (2.3)$$

onde m é a massa da embarcação, u e v representam, respectivamente, a velocidade de movimento da onda e a estabilidade, “ r ” é a taxa do desvio, I_z é o momento de inércia no eixo Z , X e Y são as forças no eixo x e y , respectivamente, N é o momento em torno de eixo Z e $r_G = [X_G; Y_G; Z_G]$ é o centro de gravidade.

2.4. LOCALIZAÇÃO DE UM PONTO NA TERRA

A localização de um ponto sobre a Terra é feita através de um par de coordenadas de latitude e longitude que representam dois ângulos medidos a partir do

centro da Terra (HASENACK et.al, 2009). A latitude mede o ângulo entre qualquer ponto e o Equador. O outro ângulo, chamado de Longitude, mede o ângulo ao longo do Equador a partir de um ponto determinado na Terra (Greenwich, na Inglaterra, é o ponto de longitude-zero aceito na maioria das sociedades modernas).

Independente da forma da Terra tomada como referência, os valores de coordenadas são normalmente expressos em graus, minutos e segundos de grau. É usual indicar-se primeiro a latitude e depois a longitude (por exemplo: $31^{\circ}35'15''S$; $57^{\circ}28'33.5''W$). Entretanto, é necessário tomar cuidado com o uso desses valores em calculadoras ou em softwares, visto que a maioria opera apenas com sistema numérico decimal. Nesses casos, os valores de minutos (') e segundos (") precisam ser convertidos para décimos de grau e somados ao valor em graus (porção inteira da coordenada). Como um grau possui 60 minutos, o valor em minutos deve ser dividido por 60. No caso dos segundos, a relação é de um grau para 3.600 segundos, de forma que o valor em segundos deve ser dividido por 3.600. Em outras palavras, a conversão das coordenadas acima seria então realizada da seguinte forma:

$$\text{Latitude: } 31^{\circ}35'15''W = 31 + 35/60 + 15/3600 = 31,5875^{\circ}S$$

$$\text{Longitude: } 57^{\circ}28'15.5''W = 57 + 28/60 + 33,5/3600 = 57,475972^{\circ}W$$

Além da conversão para valores decimais, é necessário ainda indicar o quadrante em que se localizam estas coordenadas, substituindo respectivamente as letras referentes para o Sul (S), Norte (N), Leste (E) e Oeste (W) pelos sinais "-" (S), "+" (N), "+" (E) e "-" (W). Assim, as coordenadas acima, após devidamente convertidas, ficariam:

$$\text{Latitude: } -31,5875^{\circ}$$

$$\text{Longitude: } -57,475972^{\circ}$$

Quando é necessário identificar a posição de uma determinada informação na superfície da Terra são utilizados os Sistemas de Referência Terrestres ou Geodésicos. Estes por sua vez, estão associados a uma superfície que mais se aproxima da forma da Terra, e sobre a qual são desenvolvidos todos os cálculos das suas coordenadas. As coordenadas podem ser apresentadas em diversas formas: em uma superfície esférica recebem a denominação de coordenadas geodésicas e em uma superfície plana

recebem a denominação da projeção. Isto ocorre porque não se pode passar de uma superfície curva para uma superfície plana sem que haja deformações.

A elaboração de um mapa consiste em um método segundo o qual se faz corresponder a cada ponto da Terra, em coordenadas geográficas, um ponto no mapa, em coordenadas planas. Diferentes projeções poderão ser utilizadas na confecção de mapas, no Brasil a projeção mais utilizada é a UTM (universal transversa mercator).

A latitude varia de 0° (Equador) a 90° em direção Norte e Sul, enquanto a longitude varia de 0° a 180° para Leste e Oeste a partir do meridiano de Greenwich, estabelecido como meridiano de referência. Por convenção, latitudes no hemisfério norte são consideradas positivas (52°N ou 52°), e latitudes do hemisfério sul negativa (30°S ou -30°). As longitudes têm valor positivo para leste (37°E ou 37°) e negativo para oeste (137°W ou -137°). Graus de latitude e longitude equivalem-se no Equador. (tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Unidades com a extensão aproximada no equador.

Unidade	Extensão aproximada no Equador
1°	111,11 km
$1'$	1,85 km
$1''$	30,86 m

Nos dias atuais tornou-se usual o uso do norte como referencial de orientação.

Os três nortes

Um mapa minimamente deve ter a indicação do norte. Normalmente, o norte está indicado no topo do mapa. Isto não impede, porém, que o mapa esteja orientado em outra direção.

No caso de haver indicação simultânea de dois sistemas de coordenadas sobre a carta – coordenadas geográficas e coordenadas UTM, pode existir a indicação de mais de um norte:

- i) **Norte geográfico (NG) ou norte verdadeiro (NV)** - corresponde à orientação do eixo de rotação da Terra.

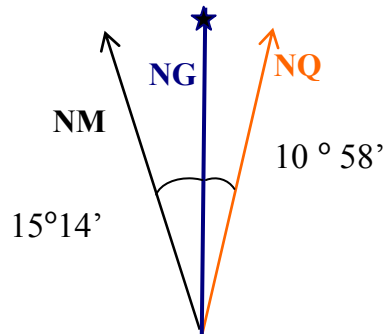
- ii) **Norte magnético (NM)** - indica a direção do pólo norte magnético; é a direção apontada pela agulha da bússola.

- iii) **Norte da quadrícula (NQ)** - indica o norte da grade de coordenadas UTM. A única linha desta grade que aponta para o norte verdadeiro ou geográfico é a que coincide com o meridiano central do fuso.

A relação entre estes nortes, entretanto, não é constante. O ângulo formado pelo norte geográfico e pelo norte magnético é denominado de declinação magnética. Este ângulo varia de acordo com a posição em que nos encontramos no globo em consequência da relação entre os pólos geográficos e magnéticos. Também ocorre variação no mesmo local ao longo do tempo, pois em função de outros fenômenos, há migração dos pólos magnéticos. Nas cartas topográficas é indicado o valor da declinação magnética na data em que o mapa foi elaborado e a variação anual desta declinação. Algumas bússolas permitem ajuste de forma a fazer coincidir o norte magnético com o geográfico, o que facilita o trabalho de orientação.

Outro elemento que também é indicado nas cartas topográficas é a convergência meridiana, que é o ângulo formado pelo norte geográfico e o norte da quadrícula. Como comentado anteriormente, a convergência meridiana é 0° apenas no meridiano central do fuso (ver figura 2.3).

Declinação magnética em 2002



Â declinação magnética cresce 9° anualmente

Figura 2.3: – Gráfico que mostra o Norte Magnético, Norte Geográfico, Norte da quadricula.

ÂNGULOS DE ORIENTAÇÃO

Para orientarem-se na terra com respeito às coordenadas esféricas dois tipos de ângulos são utilizados: horizontais e verticais. Os ângulos horizontais formam o ângulo diedro entre dois planos verticais que contêm respectivamente as direções PA e PB, como ilustrado nas figuras 2.4 e 2.5. Em mensuração, o sentido positivo do ângulo horizontal é o sentido horário (ou sentido universal, sentido azimuthal, da esquerda à direita).

Azimute. - ângulo horizontal formado pela linha NS é uma direção AP qualquer, com o sentido positivo na direção horária e varia de 0° a 360° .

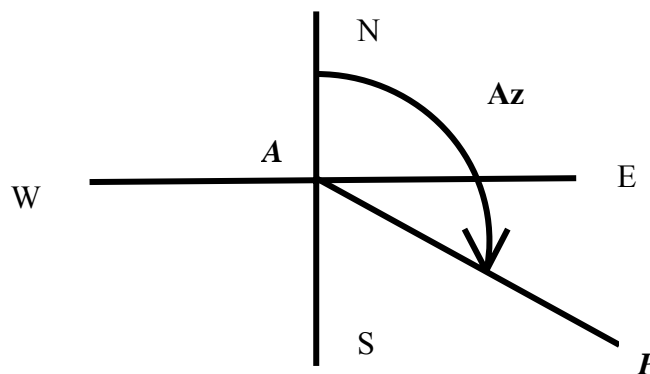


Figura 2.4: – Gráfico da direção do azimute.

Rumo. - ângulo horizontal formado pela direção N/S ou S/N e uma direção PB qualquer, varia entre 0° a 90° (ver figura 2.5).

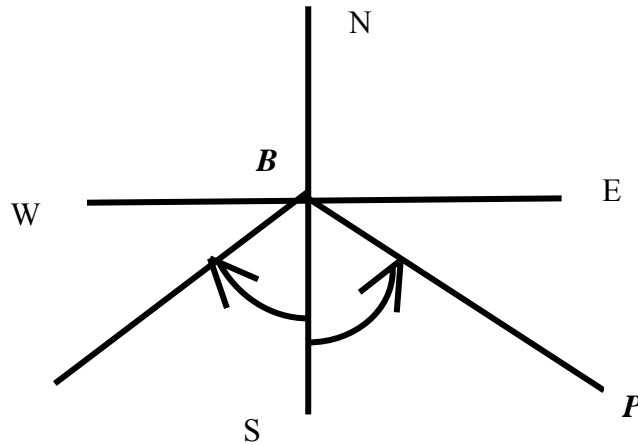


Figura 2.5: – Gráfico da direção do rumo.

Na figura 2.6 (pagina seguinte), mostram-se exemplos dos sentidos para diferenciar rumos e azimutes.

ROA: rumo ate A. AzOA: Azimute ate A.

ROA: rumo ate B. AzOB: Azimute ate B

ROA: rumo ate C. AzOC: Azimute ate C

ROA: rumo ate D. AzOD: Azimute ate D

Norte para direita: NE	Sul para a direita: SE
Norte para a esquerda: NW	Sul para a esquerda: SW

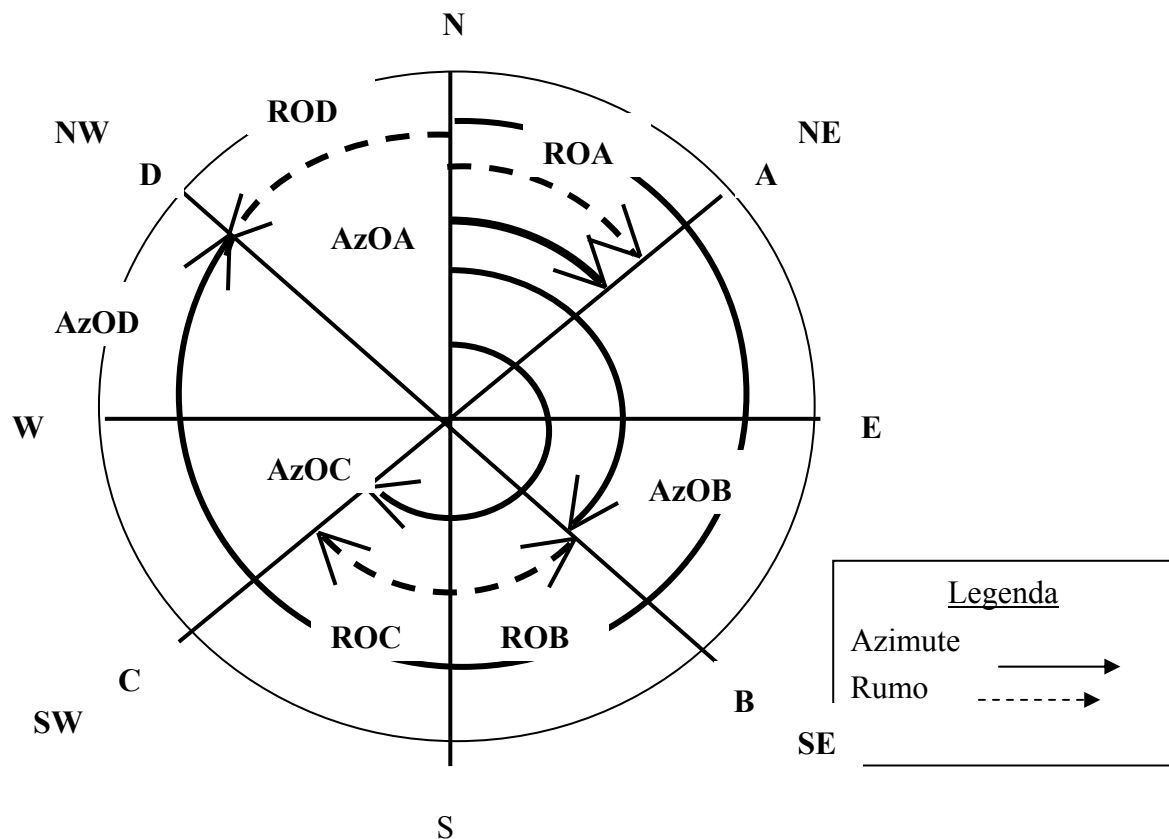


Figura 2.6: – Gráfico que mostra a diferença entre o rumo e o azimute.

2.5. FUNDAMENTOS DA LÓGICA DIFUSA

As bases da teoria da Lógica Difusa (*Fuzzy Logic*), também chamada lógica nebulosa, estão presentes nos trabalhos de Lofti A. Zadeh, ZADEH, (1965); ZADEH, (1973). A teoria da lógica difusa provê uma metodologia formal para transferir as experiências humanas (conhecimento do especialista) para os sistemas de controle, mediante uma ferramenta matemática que trata de informações de caráter impreciso ou vago. Em contraposição à lógica *booleana* (lógica tradicional) mostra o mundo real, só como duas classes, verdadeiro ou falso. Em outras palavras os programas tradicionais requerem precisão e certeza (também chamado de *crisp*): ligado ou desligado, sim ou não, certo ou errado. Porém isso não acontece no mundo real. Sabemos que 50°C é quente e que -40°C é gelado; mas 23°C é quente, morno, ameno ou frio? A resposta

depende de fatores como o vento, umidade, a experiência pessoal e a roupa que cada um está usando. Assim, um elemento pode pertencer com certo grau a um dado conjunto, originando-se o que se costuma chamar Grau de Pertinência (*Grade of Membership*).

FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA

A função que define o grau de pertinência do elemento a um dado conjunto difuso se denomina Função de Pertinência ou Função de Associação (*Membership*). Cada elemento pode pertencer a mais de um conjunto com um determinado grau de pertinência. Em cada um deles essa pode ser representada por:

$$\mu_A(x) : U \rightarrow [0,1] \quad (2.3)$$

- Um conjunto difuso A, definido no universo de discurso U, é caracterizado por uma função de pertinência, no qual se mapeia os elementos x de U para o intervalo [0, 1] em (2.3).
- O processo de mapear um valor real (exato) em um conjunto difuso é denominado *Fuzzificação*². Nesse processo as funções de pertinência são elementos fundamentais. Essas funções podem ser definidas por intermédio de funções analíticas (contínuas) como, por exemplo, Gaussianas, *Singletons* e Sigmóides ou podem ser definidas pela composição de segmentos contínuos lineares (descontínuas ou discretas) resultando em formas triangulares e/ou trapezoidais (Figura 2.7).

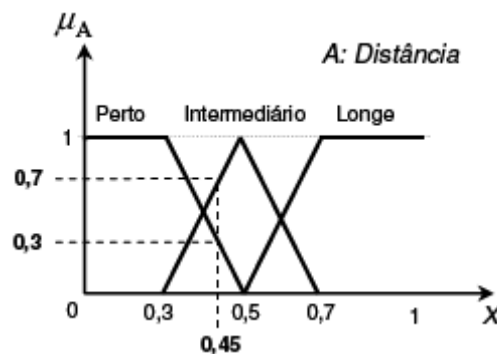


Figura 2.7: - Exemplo de funções de pertinência para variável linguística distância.

² Neologismo para traduzir fuzzification, poder-se-ia utilizar também “imprecisificação”.

VARIÁVEIS LINGÜÍSTICAS

Sendo uma variável um identificador que pode assumir um entre vários valores, uma variável lingüística pode assumir um valor lingüístico entre vários outros em um conjunto de termos lingüísticos. Os termos lingüísticos descritos por intermédio de conjuntos difusos são representados por funções de pertinência, denominados Valores da Variável Lingüística ou Valores Lingüísticos. Na teoria dos conjuntos difusos as variáveis reais (exatas) pertencentes aos conjuntos clássicos (ordinários) são denominadas Variáveis “*Crisp*”, ZADEH (1965); ZADEH (1973). Na Figura 2.7 mostra-se um exemplo que envolve os conceitos e denominações sobre a função pertinência, variáveis lingüísticas e variável *Crisp*. A variável lingüística Distância (conjunto difuso A) é composta pelos conjuntos difusos Perto, Intermediário e Longe (valores lingüísticos) que são descritos por funções de pertinência onde se associam valores *Crisp* aos valores lingüísticos. Assim, por exemplo, uma leitura *Crisp* igual a 0,45, realizada em um determinado instante por um sensor (leitura de entrada esta entre 0 e 1), pertence ao conjunto difuso Distância com pertinência igual a 0,7 para o valor Intermediário da função de pertinência Intermediário e 0,3 para o valor Perto da função de pertinência μ_{Perto} .

Como se observa, a variável lingüística é uma variável cujos valores são nomes de conjuntos difusos, essa pode ser formada por um ou mais termos lingüísticos com os respectivos graus de pertinência. Formalmente, uma variável lingüística está formada pelo grupo: {X, T(X), U, G, M} ZIMMERMANN (1991), Aplicando-se essa definição ao exemplo da Figura 2.7 tem-se:

- X é o nome da variável lingüística (nome do conjunto);

X: Distância;

- T(X) é um conjunto de termos lingüísticos (atributos, adjetivos);

T(Distância): {Perto, Intermediário, Longe};

- U é o universo de discurso (faixa, intervalo);

U: [0,1];

- G é uma regra sintática para composição dos termos lingüísticos;

G: Perto [X: 0,0 a 0,5], Intermediário [X: 0,3 a 0,7] e Longe [X: 0,7 a 0,1];

- M é uma regra semântica que associa o cada termo lingüístico de G a um Conjunto difuso.

M: associação dos termos de G aos conjuntos difusos definidos por μ_{Perto} , $\mu_{Intermediário}$ e μ_{Longe} .

OPERADORES DIFUSOS

Entre as diversas operações definidas, destacam-se três: Complemento, União e Intersecção. A função de pertinência relativa ao complemento A' de um conjunto difuso A é definido pela relação:

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad \forall x \in X \quad (2.4)$$

As operações difusas complemento, intersecção e união - constituem uma estrutura consistente da teoria dos conjuntos difusos ZADEH (1965)³. Nessas operações padrões, são utilizados os operadores min (mínimo) e Max (máximo) para a intersecção e a união de conjuntos difusos, respectivamente. Outros operadores têm sido sugeridos onde varia em generalidade e adaptabilidade, satisfazendo a certas propriedades, dependendo do contexto empregado.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad \forall x \in X \quad (2.5)$$

A função de pertinência relativa à intersecção dos dois conjuntos A e B esta definida pela relação (2.6), ou seja:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad \forall x \in X \quad (2.6)$$

³ GAVIOLI, A. Minicurso Fuzzy, UNIPAN 2006.

As funções de pertinência relativas à união (2.5) e à intersecção (2.6) também podem ser representadas respectivamente por (2.7) e (2.8).

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad \forall x \in X \quad (2.7)$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad \forall x \in X \quad (2.8)$$

Os operadores difusos utilizados no processo denominado Composição ou Agregação para obter uma resposta dependem dos dados de entrada. Esse processo de inferência permite que vários conjuntos difusos ($n \geq 2$) sejam combinados de uma forma desejável, para produzirem um único conjunto. As propriedades definidas para os conjuntos difusos ZADEH (1965); ZADEH (1973), similares às propriedades algébricas de conjuntos ordinários como, por exemplo, comutatividade, associatividade, distribuição e absorção, permitem que os operadores de união e intersecção forneçam um mecanismo para extensão de suas definições para qualquer número de argumentos (conjuntos).

RELAÇÃO DIFUSA

Os operadores de união e intersecção se aplicam também a conjuntos difusos pertencentes aos universos de discurso diferentes. Para tanto, é importante a definição de Relação Difusa (*Fuzzy Relation*) da teoria de conjuntos difusos (ZADEH, 1965).

Uma relação difusa representa o grau da associação entre dois ou mais conjuntos difusos pertencentes aos universos de discursos diferentes. Formalmente, dados dois universos U e W representados por:

$$\mu_A(x) : U \rightarrow [0,1] \quad x \in U \quad (2.9)$$

$$\mu_B(x) : U \rightarrow [0,1] \quad y \in U \quad (2.10)$$

A relação difusa R é um conjunto difuso em $U \times W$, caracterizada pela função de pertinência:

$$\mu_R(x, y) \in [0,1] \quad x \in U \text{ e } y \in U \quad (2.11)$$

A teoria de conjuntos difusos define formas de aplicação de operadores, como os

operadores de união e intersecção, utilizados no processo de composição entre relações difusas, que podem permitir a criação de novos e complexos conjuntos difusos pela combinação de conjuntos mais simples pertencentes a universos de discurso diferentes (ZADEH, 1965).

SISTEMA DE INFERÊNCIA DIFUSO

Sistemas baseados em lógica difusa, também denominados Sistemas de Inferência Difusa, permitem tanto a geração como a coordenação do comportamento para realizar tarefas semi-autônomas e inteligentes (SERAJI, HOWARD, 2002). Um sistema difuso baseado em regras se caracteriza pela combinação de variáveis lingüísticas em regras estabelecidas por operadores (SE, ENTÃO) usando os princípios da lógica difusa (ZIMMERMANN, 1991).

Na tabela 2.2 são mostradas as vantagens e desvantagens dos sistemas com inferência difusa.

Tabela 2.2 - Vantagens e desvantagens dos sistemas difusos.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Baixo custo do processo de fabricação. Rápido desenvolvimento do protótipo. Mais variáveis observáveis podem ser valoradas; O uso de variáveis lingüísticas nos deixa mais perto do pensamento humano; Simplifica a solução de problemas;	A velocidade de processamento é limitada. Os testes em um sistema com controle difuso necessitam muitas provas para ajustar as variáveis difusas.

A computação evolutiva e a lógica Difusa possuem subáreas de aplicação em muitos sistemas de controle. Essas aplicações podem variar desde simples controles de

temperatura até complexos sistemas de navegação por satélite.

Existe uma infinidade de aparelhos que possuem sistemas controlados gerenciando complexos dispositivos de áudio, vídeo, som, motores. A característica comum a todos eles é possuírem softwares baseados em computação evolutiva e lógica Difusa.

Citam-se alguns exemplos onde esta teoria se faz presente com ótimos resultados:

Metrô de *Sendai*: Sistema difuso desenvolvido nos anos 80 pela empresa japonesa Hitachi para o controle do tráfego de trens. Cobre 16 estações em 13,5 km. Em 1987 este sistema substituiu os operadores humanos, que passaram a operar o sistema apenas nos horários em que os trens estão mais vazios. Antes de entrar em operação foram feitas 300.000 simulações e 3000 testes com os vagões vazios.

Lavadora de roupas: a Continental do Brasil fabrica uma lavadora com tecnologia difusa.

Aspirador de pó: controle difuso detecta mudanças no fluxo de pó para ajustar a potência do motor.

Indústria automobilística: a Mitsubishi desenvolveu um sistema difuso que regula a força com que os freios são acionados, evitando derrapagens nos sistemas.

2.6. CONTROLE DIFUSO

Segundo Klir e Yuan (1995), em arquiteturas de controle difuso as regras heurísticas estão associadas às percepções, ações onde se geram comportamentos ou elementos para compor as arquiteturas de controle de navegação. Entre o controlador difuso e o processo a ser controlado são necessários elementos adicionais como as leituras de sensores dos atuadores do sistema de controle. Estes estão posicionados na entrada e saída do sistema de controle, elementos são denominados *fuzzificador* e *defuzzificador* respectivamente. Estes elementos são responsáveis por transformar as medidas obtidas dos sensores em conjuntos difusos (*fuzzificador*), e em transformar os

conjuntos difusos obtidos na saída do controlador em valores não difusos de controle para o processo (*defuzzificador*).

Normalmente, os conjuntos clássicos trabalham com limites fixos bem estabelecidos, onde a transição dos valores membros para não-membros é abrupta. Em um conjunto difuso, essas transições são graduais, sendo associado um grau de pertinência ao elemento entre “0” (totalmente não-membro) e “1” (totalmente membro). A cada variável é atribuída uma pertinência que é usada nos cálculos para a tomada de decisão.

Os sistemas difusos baseados em regras mais comuns são constituídos em quatro etapas (KLIR & YUAN,1995), como se mostra na figura 2.9..

- *Fuzzificador*;
- Máquina de inferência;
- Base de regras;
- *Defuzzificador*.

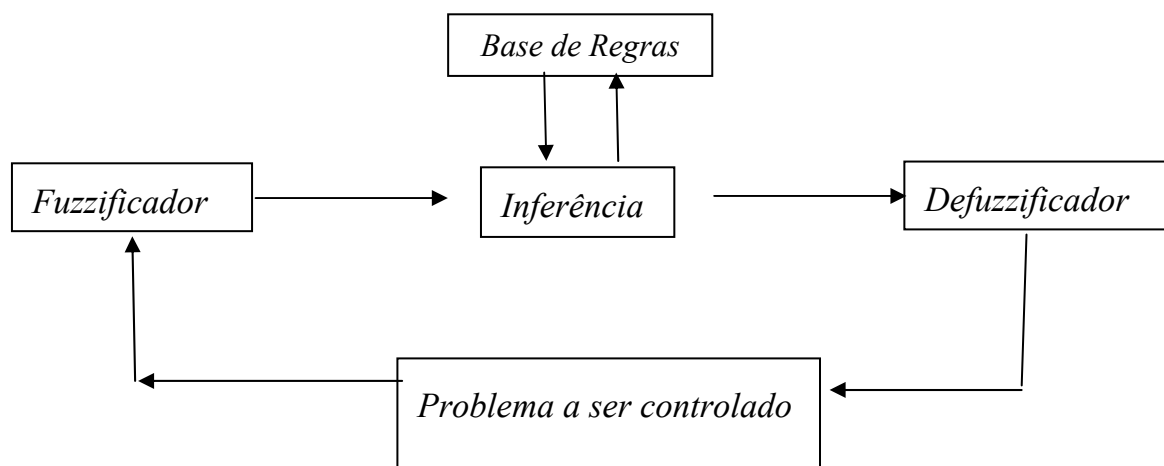


Figura 2.8. Esquema de um controlador difuso. Fonte Klir & Yuan(1998)

2.7. FUZZIFICAÇÃO

A *fuzzificação* é o processo de mapear as entradas numéricas em representações lingüísticas através dos conjuntos difusos. Nessa etapa é realizada a formatação dos dados de entrada para que sejam manipulados pela máquina de inferência.

2.8. BASE DE REGRAS

A base de regras consiste em uma coleção de regras do tipo SE-ENTÃO

Expressada da seguinte forma:

$R^{(1)}$: SE a_1 é A_{11} e a_2 é A_{21} e... e a_n é a_{n1} ENTÃO b é B_1 .

Os primeiros “n” termos são chamados antecedentes das regras enquanto o último termo (conclusão do ENTÃO) é a consequência da regra.

Posteriormente, as saídas necessitam serem convertidas de números Difusos para valores *crisp*. Essa é a função do *defuzzificador*.

2.9. MÁQUINA DE INFERÊNCIA

A máquina de inferência deduz a resposta do sistema a partir das entradas apresentadas. Nesse momento, será avaliado quando e como as regras e os dados serão utilizados. Nessa etapa é efetuada a combinação dos antecedentes das regras, implicação e *Modus Ponens* generalizado. *Modus Ponens* é o tipo de argumento em que as premissas hipotéticas são testadas e implicam no resultado (DADONE, 2001).

2.10. DEFUZZIFICADOR

O objetivo é obter um único valor numérico que melhor represente os valores inferidos da variável lingüística de saída. A saída é calculada com base na inferência obtida no motor de inferência. Sumariamente, a *defuzzificação* é uma transformação inversa que traduz a saída do domínio difuso para o domínio da aplicação(DADONE, 2001). Existem vários métodos utilizados para *defuzzificação*. Os mais utilizados são:

Média dos Máximos;

Centro de área;

Altura.

Para obter um valor numérico de saída, o valor difuso obtido pelo método de *Mamdani ZADEH*,(1965); *ZADEH*, (1973) deve ser transformado através do processo de *defuzzificação*. Entre os métodos de *defuzzificação* podemos citar os principais como

o centro de área e a média dos máximos. No método centróide o valor de saída é o centro de gravidade da função de pertinência resultado da inferência, isto é, $G(z)$.

Em geral, uma base de conhecimento difusa necessita ser completa e consistente, garantindo que exista sempre uma regra a ser disparada para qualquer entrada e procurando evitar contradições entre as regras.

Capítulo 3

PROJETOS CORRELATOS

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Na literatura são encontrados diversos projetos que envolvem veículos autônomos com controle de navegação autônoma. Neste capítulo são revistos alguns destes com o objetivo de dar um direcionamento e um embasamento para o nosso trabalho.

3.2. REVISÃO DOS PROJETOS CORRELATOS

VIEIRA (2006), em seu trabalho de doutorado, desenvolveu um robô Agrícola Móvel (RAM) que é uma arquitetura baseada em comportamentos hierárquicos e difusos para sistemas autônomos com guia e navegação. No seu trabalho mostra uma arquitetura robótica baseada em comportamentos, esta é desenvolvida para guiar e navegar os RAMs (Robôs Agrícolas Móveis) e VAAs (Veículos Agrícolas Autônomos). Regras difusas são utilizadas para compor e coordenar comportamentos primitivos e comportamentos complexos.

A ativação de cada comportamento é definida pelo módulo de arbitragem ilustrado na Figura 3.1, que pode conter um ou mais árbitros. Os árbitros difusos componentes desse módulo utilizam as regras lingüísticas. Posteriormente, esses fatores formados por conjuntos difusos de saída são submetidos ao processo de *defuzificação* através do método centro de gravidade, que seleciona um dos comportamentos em cada instante de arbitragem.

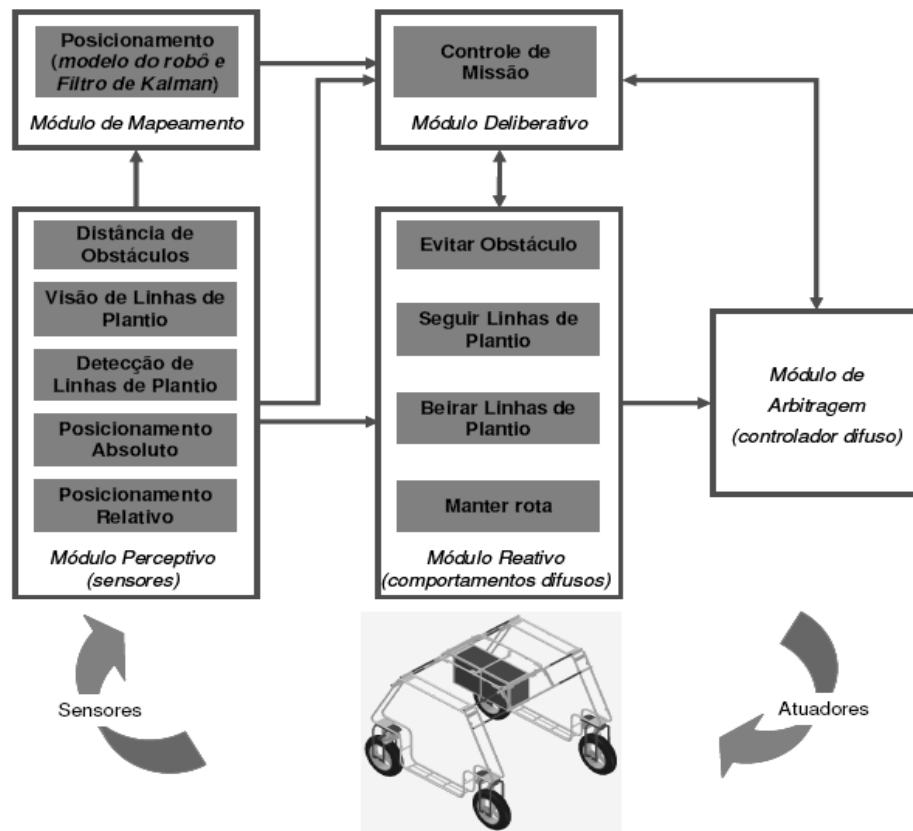


Figura 3.1: Ilustra a arquitetura proposta em comportamentos hierárquicos e difuso para sistemas autônomos com guia e navegação. Fonte: (VIEIRA, 2007)

Todas as rotinas de programa foram desenvolvidas e executadas em um computador externo conectado à plataforma robótica por uma interface serial. As rotinas de programa foram desenvolvidas no ambiente de desenvolvimento de programa *Labview* da empresa *National Instruments* (NI, 2007). Além do módulo básico do programa *Labview*, foi utilizada uma biblioteca complementar denominada *Fuzzy Logic Toolkit*, com funções (Instrumentos Virtuais ou VI's – *Virtual Instruments*) específicas para o desenvolvimento de aplicações com lógica difusa. Também, foram utilizadas funções disponibilizadas pelo fabricante do *mini-robô Khepera* para comunicação com troca de mensagens de baixo nível para operação de todos os sensores e atuadores.

Experimentos foram realizados para avaliar a implementação e os comportamentos da operação da plataforma robótica em um ambiente agrícola

simulado. Os resultados mostraram a viabilidade da abordagem proposta. A arquitetura modular com a utilização de controladores difusos descentralizados simplificou a implementação da arquitetura. O processo de arbitragem difuso mostrou que um método simples e viável para implementar e coordenar comportamentos e para compor comportamentos complexos.

Outra tese que ajudou a orientar este trabalho é o estudo de um Sistema de Controle para um Dirigível Autônomo desenvolvido por Guerra (2005). O objetivo desse trabalho foi o de estudar um sistema de controle para dirigíveis autônomos. A tese apresenta um modelo em camadas de um controlador difuso aplicado ao piloto automático. O trabalho conclui que a utilização de lógica difusa é um método eficiente na definição de métodos de decisão, economizando horas de trabalho em relação aos métodos de controle tradicionais.

Fracasso et. al. (2005), desenvolveram um trabalho sobre navegação reativa de robôs móveis autônomos com a lógica difusa e regras ponderadas, esse trabalho tem bastante semelhança a este trabalho de mestrado. O objetivo desse projeto foi o de navegar um robô móvel em volta de um quadrado de 2 m. de lado. O sistema foi desenvolvido e testado no robô móvel Pioneer 2DX, em um ambiente criado especialmente para impor dificuldades na obtenção de respostas mais próximas às diversas situações que o robô pode encontrar. Uma capacidade importante do robô foi a realização de curvas. Este sistema é composto por três módulos independentes: Planejamento do caminho, módulo de navegação difusa reativa e o módulo de localização. O módulo de planejamento de caminho fornece uma lista composta por posturas intermediárias que o robô móvel deve alcançar para atingir o seu objetivo. O módulo de navegação difusa reativa é responsável por calcular os movimentos efetuados pelo robô para atingir certo alvo, a partir de uma origem conhecida. O módulo de localização, baseado em filtro de Kalman estendido (BROWN E HWANG, 1997), calcula a estimativa da postura do robô móvel através das informações dos sensores de proximidade, dos odômetros e de uma representação interna do ambiente. No módulo de navegação difusa reativa, as intensidades dos movimentos de translação e rotação são calculadas por um controlador difuso. Este controlador difuso recebe os

valores da distância ($D(k)$) e da diferença de direção ($\varphi(k)$) entre a postura atual ($x(k)$, $y(k)$, $q(k)$) e a próxima postura ($x(k+1)$, $y(k+1)$, $q(k+1)$), e as medidas dos oitos sensores de proximidade (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 e S8).

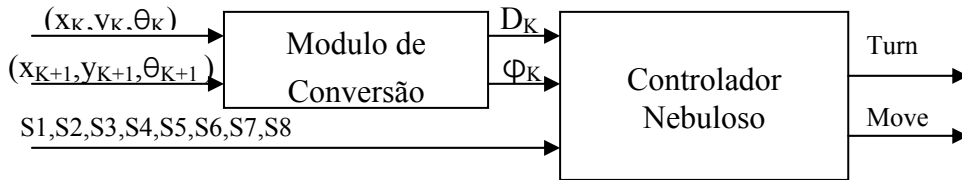


Figura 3.2: Valores da distância e da diferença de direção entre a postura atual e a próxima postura. Fonte: Fracasso et Al. (2005).

A obtenção dos valores da distância e da diferença de direção entre a posição atual e a próxima posição, conforme ilustra a Figura 3.2, são descritos pelas equações (3.1) e (3.2):

$$D(k) = \sqrt{(X(k+1) - x(k))^2 + (y(k+1) - y(k))^2} \quad (3.1)$$

$$\varphi(k) = \theta(k) - \tan^{-1}\left(\frac{y(k+1) - y(k)}{x(k+1) - x(k)}\right) \quad (3.2)$$

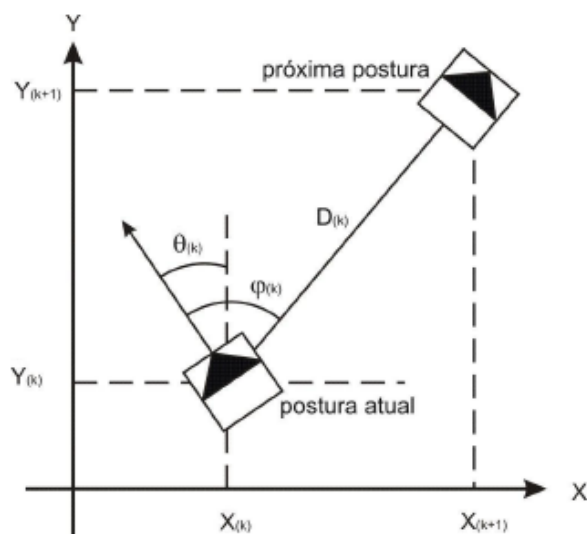


Figura 3.3: - Distância (D) e diferença de direção (φ) entre a postura atual e a próxima postura. Fonte: Fracasso et al. (2005)

O sistema difuso de navegação tem como saída às intensidades dos movimentos de translação (MOVE(k)) e rotação (TURN(k)) efetuados pelo robô móvel. Para simplificar a modelagem da cinemática do robô móvel não foram consideradas as velocidades e acelerações dos movimentos e os movimentos de translação e de rotação foram considerados separadamente. Desta forma, primeiro o robô móvel efetua o movimento de rotação e posteriormente, o movimento de translação como pode ser observado na figura 3.3.

A conclusão do projeto diz que com a enumeração de poucas regras, se consegue elevada velocidade de processamento do sistema de controle difuso (cerca de 3 metros por iteração, incluindo a aquisição dos dados e o cálculo dos movimentos a serem efetuados), o que proporciona respostas rápidas do robô móvel aos estímulos do ambiente. Com a adoção da ponderação das regras de inferência do sistema difuso de navegação, e uma redução significativa no número de regras que modelam a navegação em comparação com abordagens semelhantes.

3.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram abordados diversos exemplos de automatização, incluindo alguns na área da navegação de veículos autônomos. A característica comum dos projetos apresentados é que o controlador de navegação esta implementando com lógica difusa.

Cada projeto apresentado conta com características particulares, nem todos utilizam lógica fuzzy, alguns utilizam redes neurais, ou ponderação das regras fuzzy. Esses projetos ajudaram a esclarecer algumas lacunas referentes ao problema de navegação autônoma. Observou-se que o modelo de solução do problema depende das características físicas do robô o tipo e o numero de sensores do robô. Assim, se procura verificar e reflexionar como as tecnologias, e os conceitos presentes da inteligência artificial, poderiam influenciar, no desenho do desenvolvimento deste projeto da automatização da navegação.

Capítulo 4

ARQUITETURA E METODOLOGIA DE NAVEGAÇÃO

O foco neste capítulo é mostrar a análise de movimentos do veículo de testes (triciclo) independente do modelo matemático com o objetivo de gerar o modelo de solução que é utilizado para navegar automaticamente o veículo de testes, também se mostra os materiais utilizados no projeto e o algoritmo de controle difuso desenvolvido.

O capítulo foi dividido nas seguintes seções: a seção 4.1, apresenta uma visão geral da plataforma de navegação; a seção 4.2, descreve o hardware e o software empregados no desenvolvimento do projeto; a seção 4.3, apresenta a análise do deslocamento do veículo de testes; a seção 4.4, descreve a arquitetura do projeto; a seção 4.5, apresenta os requisitos funcionais do sistema de navegação; a seção 4.6, descreve as especificações do projeto do controlador difuso; a seção 4.7 apresenta a implementação do controlador difuso de navegação e a seção 4.8 descreve o algoritmo de Navegação implementado.

4.1. PLATAFORMA DE NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA

Conforme já mencionado no capítulo 1, o PACODAHÍ é uma plataforma completa para medição automática de dados hidrológicos. Essa plataforma consiste em

um veículo⁴, acionada por um motor de popa, que deverá navegar autonomamente nos corpos de água em estudo, medindo e registrando as variáveis hidrológicas em pontos pré-determinados.

Como também mencionado, neste trabalho os testes de navegação foram realizados em um veículo terrestre autônomo (triciclo adaptado) e deverão, no futuro ser incorporados ao sistema PACODAHÍ. Nos desenvolvimentos realizados utilizou-se um acionamento remoto do veículo (triciclo adaptado) a partir de uma base em terra, como ilustrado na figura 4.1.

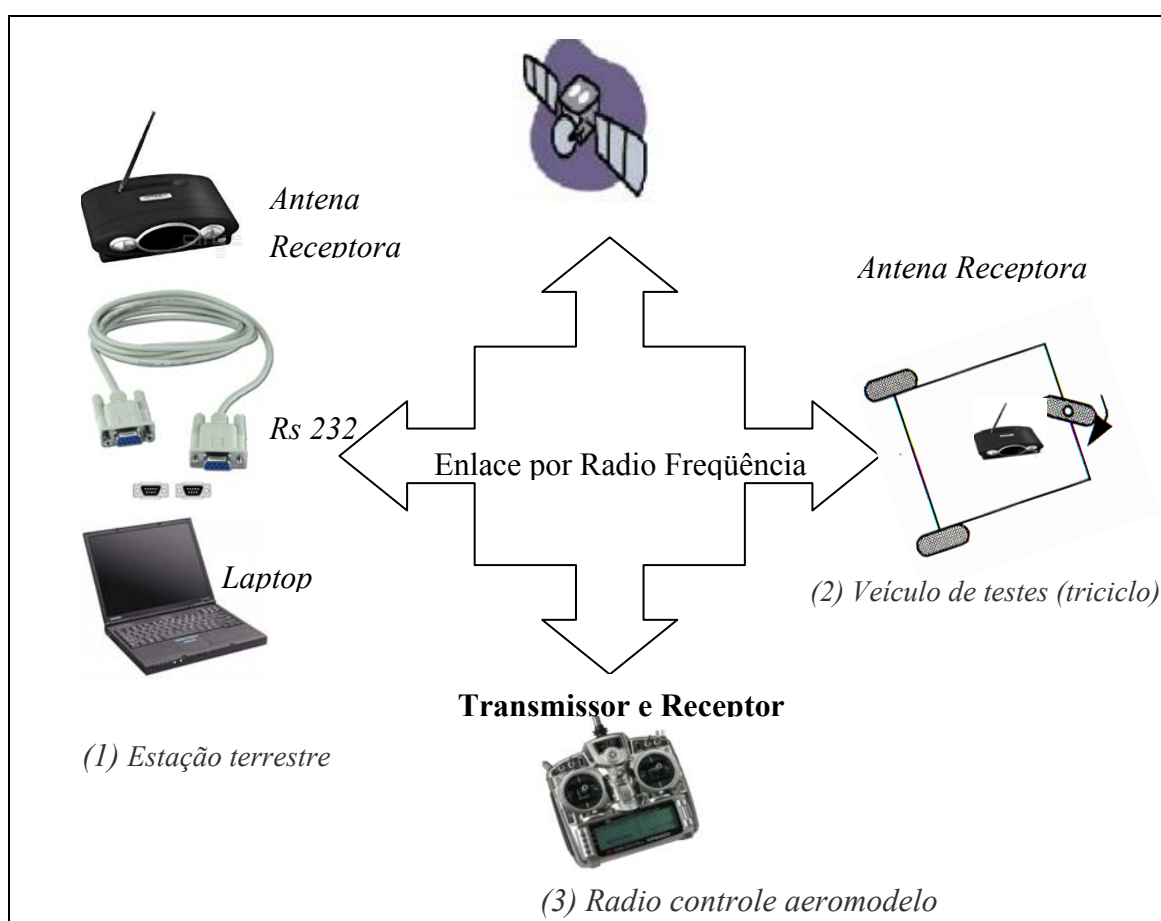


Figura 4.1: Esquema do sistema de telemetria de dados da plataforma de navegação.

O item (1) da figura mostra a estação base ou estação terrestre, que é constituída por um microcomputador e pelo equipamento de recepção de dados e telemetria, esta estação é responsável pela recepção dos dados de telemetria do veículo e permite controlá-lo remotamente.

⁴ Neste parágrafo refere-se ao barco

O item (2) da figura mostra o veículo de testes. O veículo de testes comunica-se com a estação base por um sistema de telemetria, que transmite pacotes de dados com informações dos sensores da direção e posição (bussola e GPS respectivamente) e recebe comandos para atuação sobre os controladores da direção e velocidade (leme e manche respectivamente). O veículo de testes conta com um micro controlador central responsável pela comunicação de dados e pelo envio de comandos para os sistemas de controle da direção e da velocidade.

No item (3) da figura é mostrado o radio controle, que permite controlar manualmente o veículo de testes remotamente, também para posicionar o veículo no campo de testes e para desligá-lo em caso de alguma emergência.

Os dados transmitidos pelo veículo de testes consistem em cadeias de números e caracteres que obedecem a um padrão de codificação dedicado, como mostrado na figura 4.2.

I0023#2200.35323, S, 04753.88287, W#2.8,351. 1#2077L, 1700MF

Parâmetros de entrada:

	I	Identificador de início da cadeia
<i>a.</i>	0023	Dado da bússola.
<i>b.</i>	22 00.37856, S	Latitude e minuto sexagesimal no sentido Sul.
<i>c.</i>	04753.86915, W	Longitude e minuto sexagesimal no sentido Oeste.
<i>d.</i>	2.8	Velocidade (em Km/h)
<i>e.</i>	351	Direção do GPS.
<i>f.</i>	2077 L	Posição do Leme (valor numérico entre 1000 e 3000 equivalente à variação entre -90 ° e 90 °).
<i>g.</i>	1700 M	Velocidade (valor numérico entre 0 a 4000 corresponde à velocidade)
	F	Identificador do final da cadeia

Figura 4. 2:- Configuração dos dados recebidos pelo sistema de telemetria do veículo.

O caráter 'I' e o 'F' indicam o início e o final da cadeia, estes caracteres são pré-requisitos para processar o parâmetro de entrada da figura 4.2, o caráter # é o separador do tipo de dado e a vírgula separa dados do mesmo tipo.

O programa desenvolvido para o controle da navegação autônoma do veículo do teste recebe as informações dos sensores do veículo e envia comandos que permitem atuar sobre a direção e velocidade do veículo de maneira de guiar ao veículo o mais próximo possível ao(s) ponto(s) desejado(s).

O programa apresenta inicialmente ao usuário uma interface gráfica com o sistema de coordenadas planas do local onde o veículo irá se movimentar, conforme ilustrado na figura 4.3, oferecendo a possibilidade de definir, redefinir os pontos de navegação (no caso do sistema PACODAHl cada ponto significa ponto de coleta de uma amostra de água). Usando a interface gráfica disponível, o usuário pode inserir o rumo composto por um ponto inicial, um ou mais intermediários e um final, a interligação desses pontos forma o rumo esta ilustrado na figura 4.4.

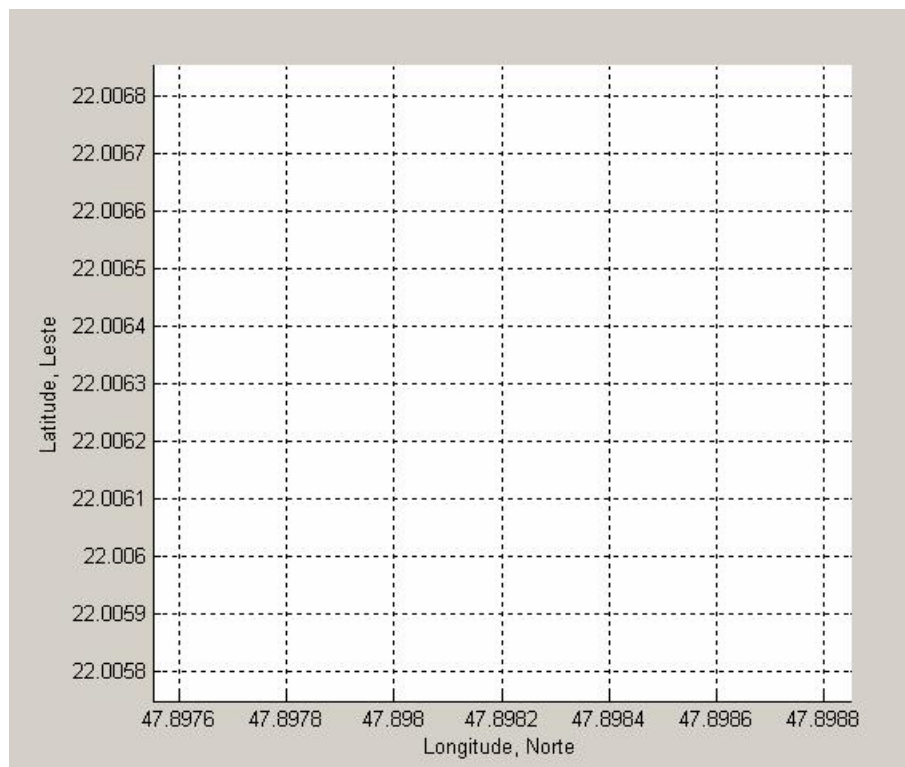


Figura 4. 3:- Interface gráfica do local de navegação do veículo de testes.

A missão de navegação no sistema SNAT é iniciada pela inserção do(s) ponto(s) de navegação objetivo(s), como por exemplo, na interfase da figura 4.4.

Na ilustração 4.5 no item (1), se insere a missão de navegação. Para atingir o(s) ponto(s) pré-estabelecidos utilizam-se sensores no veículo de testes que fornecem dados da posição (GPS), orientação (bússola eletrônica), da velocidade e da direção. No item (2), Estes dados são processados pelo sistema de navegação autônoma do triciclo (SNAT) na estação base. No item (3), CD(controlador difuso) as respostas são enviadas por telemetria para atuar no veículo de testes. Dessa maneira o sistema de navegação controla o deslocamento do veículo de testes, controlando sua direção e velocidade para que atinja o(s) ponto(s) objetivo(s).

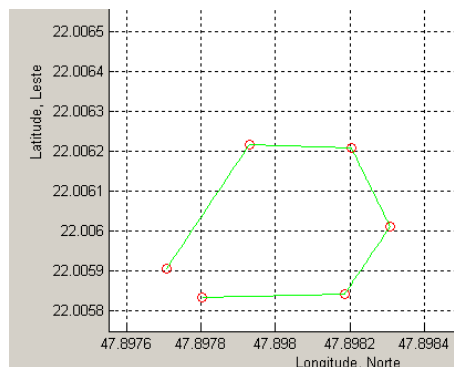


Figura 4.4: Interface gráfica com seis pontos objetivos para navegação no Sistema de Coordenadas Plana do SNAT.

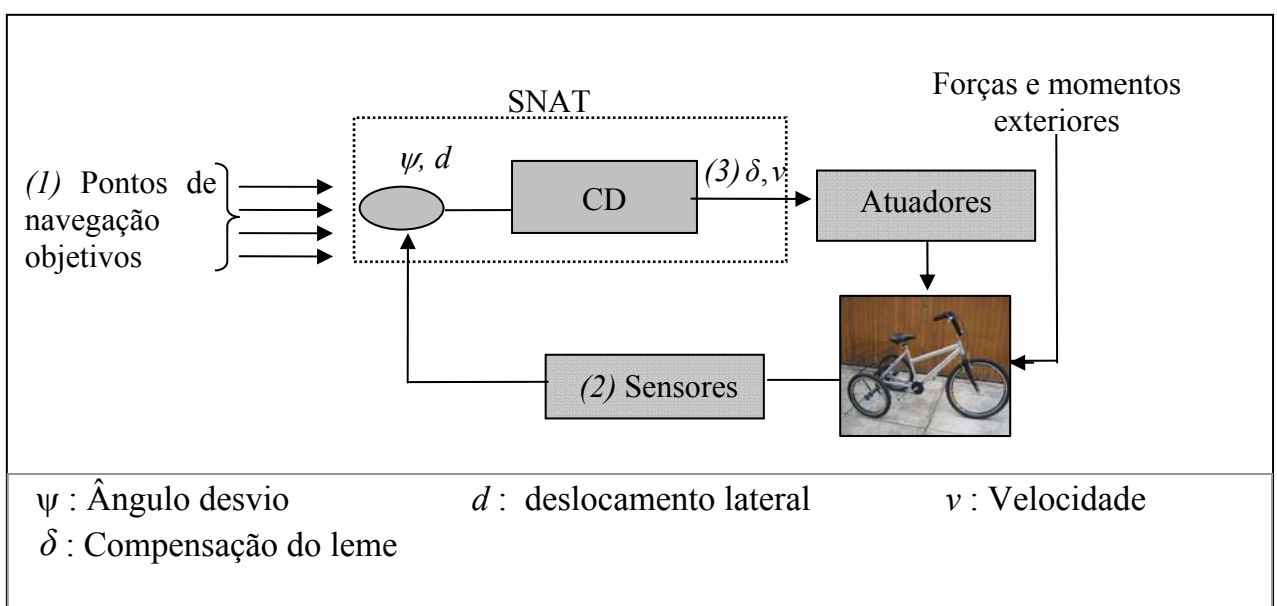


Figura. 4.5: Diagrama de blocos simplificado do sistema de navegação autônomo do veículo de testes.

Na figura 4.6 mostra-se de forma simplificada a comunicação remota entre o sistema de navegação e o veículo. A missão de navegação se inicia solicitando o ponto de posição do veículo de testes no campo de teste (numa situação real), depois se insere o(s) ponto(s) objetivo(s) através da interface gráfica pelo usuário. O sistema recebe os dados dos sensores (GPS, bússola, velocidade e direção do leme), depois de processá-los as respostas são enviadas ao veículo controlando seu deslocamento através da compensação do leme e da velocidade no manche.

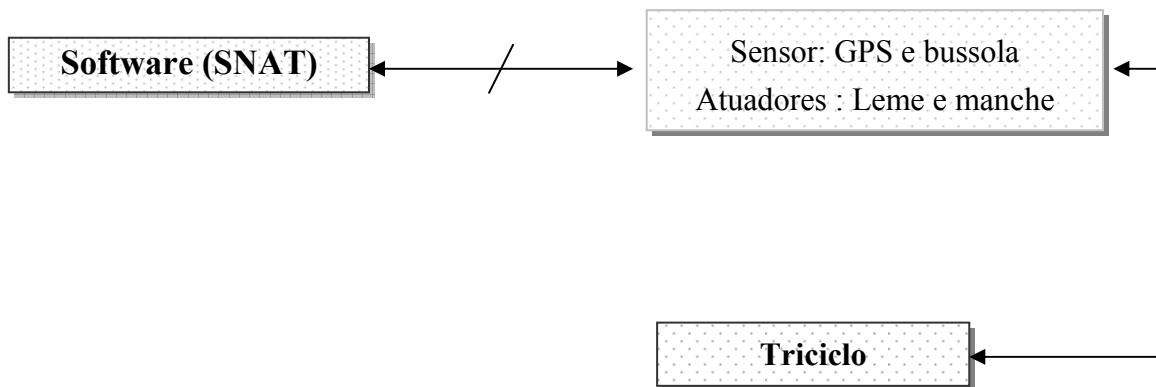


Figura 4.6: Diagrama de blocos da comunicação do sistema de navegação SNAT e sua interação com o veículo de testes.

4.2. PLATAFORMAS DE COMPUTAÇÃO E DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADAS NO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.

Nesta secção mostram-se as plataformas de computação e de programação utilizadas e discute-se a razão de escolha dessas plataformas.

1. - Plataforma software

Como ferramenta inicial de comunicação entre a plataforma e o veículo autônomo utilizou-se o aplicativo *Tera Term* que é um emulador de terminal que permite o uso do SSH (*Secure Shell*) para acessar o micro controlador remoto. A transmissão de dados foi feita por um canal serial implementado por telemetria através de um modem de rádio frequência operando na frequência de 900 *Mhz*, a taxa de comunicação utilizada foi de 9600 *bauds*, determinada pelo micro controlador no veículo.

Com relação a recursos gráficos do projeto considerou-se a necessidade de visualizar o percurso de navegação do veículo num mapa na estação terrestre e observar os dados dos sensores em tempo real.

Tabela 4. 1 – Tabela de comparação entre as linguagens Matlab e o Delphi para o SNAT.

Matlab	Delphi
<i>a.</i> A facilidade e naturalidade no uso das funções de matrizes existentes no MATLAB facilitam o desenvolvimento dos algoritmos.	<i>a.</i> As funções de matrizes existentes no Delphi não são naturais nesta linguagem de programação.
<i>b.</i> Cria o percurso do veículo a partir de vetores ou matrizes num sistema de coordenadas planas em tempo real. Este precisa ser visualizada em tempo real. O Matlab conta com a biblioteca “Axés”(objeto gráfico) permite mostrar o deslocamento do veículo em um plano cartesiano.	<i>b.</i> Nesta linguagem de programação seria necessário criar o gráfico do itinerário do veículo.
<i>c.</i> A ferramenta adicional disponível no Toolbox fuzzy logic do Matlab, facilitou o desenvolvimento e o teste do projeto.	<i>c.</i> Requer o desenvolvimento de rotinas específicas para lidar com sistemas com lógica difusa esta tarefa implica em maior tempo de programação. Obs: Cabe mencionar que existem componentes comerciais para o Delphi que facilitariam o desenvolvimento dos itens b e c nesta linguagem.

Quanto à linguagem de programação a ser utilizada foram consideradas duas linguagens como candidatas: DELPHI e MATLAB, de acordo com a facilidade e

domínio do autor, desempenho e aceitação e utilização nos meios acadêmicos.

O MATLAB é uma linguagem interpretada, que apresenta usualmente um desempenho limitado em termos de velocidade de processamento. No entanto as versões mais recentes apresentam um desempenho bastante melhorado com a possibilidade de transformar funções em dynamic link *libraries (dlls)*, permitindo um desempenho quase equivalente ao das linguagens C/C++.

Com relação ao entorno gráfico, MATLAB e o Delphi permitem a entrada e recuperação de dados. A tabela 4.1 mostra uma comparação da linguagem de programação do Delphi e Matlab para o programa SNAT, o autor opta pelo uso do Matlab para o desenvolvimento do projeto.

2. - Plataforma de hardware

A plataforma de computação utilizada para desenvolvimento do aplicativo de navegação e testes em campo do sistema foi a seguinte:

a. - Um Computador compatível com Pentium IV, 800 MHz, com 256 MB de memória, 40 GB em disco rígido, leitor de CDs, placa de rede.

b. - *O veículo de testes (Triciclo).*

O triciclo, utilizado como plataforma de testes, foi concebido e desenvolvido por uma equipe do Laboratório de Instrumentação Virtual e Microprocessada do Departamento de Engenharia Elétrica da USP de São Carlos. Este veículo foi idealizado com o objetivo de ser relativamente barato e com componentes de “fácil” aquisição. O triciclo suporta uma carga de até 50 Kg., possui duas rodas traseiras através do qual é tracionado e uma roda frontal com controle da direção. A eletrônica embarcada do triciclo consiste em diversos microcontroladores interligados entre si que recebem comandos de um microcontrolador principal que se comunica por um enlace de rádio frequência à estação base. Um dos microcontroladores controla a roda frontal da direção, um outro envia sinais para o módulo de potência que controla a tração e um terceiro microcontrolador é utilizado como segurança para desligar todo o sistema em caso de emergência. Os microcontroladores podem receber sinais de um

controle remoto de aeromodelo, sendo ligado ao receptor do controle remoto, esta situação é utilizada para posicionar remotamente o veículo no campo de testes, ou então receber comandos de um microcontrolador principal ligado através de telemetria à estação base no caso de utilização como navegação autônoma. Os motores adaptados para o controle da direção e da tração são controlados eletronicamente pelos micro controladores e controle de potencia por largura de pulso (*PWM pulse Width Modulation*), uma ilustração deste veículo é mostrada na foto da figura 4.7

Foram utilizados como sensores de posicionamento e direção um módulo receptor de Sistema de Posicionamento Global (GPS) e uma bússola magnética eletrônica. Também existem no triciclo um sensor que mede a potência elétrica enviada ao motor de tração e outro que mede a posição angular da roda da direção. A estação base consiste em um microcomputador tipo laptop e um modem receptor de rádio frequência ligado à porta serial.



Figura 4.7:- Foto do veículo utilizado como plataforma de testes no campo de Futebol do campus I Usp de São Carlos.

Sistema de posicionamento global (GPS)

É possível atualmente localizar-se, com boa precisão, sobre a superfície do globo terrestre através de um sistema de posicionamento global que utiliza para

determinação da localização satélites artificiais posicionados estrategicamente. São ao todo 24 satélites que dão uma volta à Terra a cada 12 horas e que enviam continuamente sinais de rádio, que decodificados permitem determinar a posição geográfica. Em cada ponto da Terra estão sempre visíveis pelo menos quatro satélites e com os diferentes sinais desses quatro satélites o receptor GPS calcula a latitude, longitude e altitude do lugar onde se encontra, podendo também determinar a velocidade de deslocamento e a hora.

O modulo receptor GPS utilizado no projeto, Módulo receptor GPS DYAA0857 da empresa *Dynatech*, incorpora um circuito completo de recepção e decodificação de sinais dos satélites, não requer ajuste de programação ou calibração para a operação, e proporciona interface serial direta, facilitando a sua conexão com outros dispositivos (AYRES, 2006).

Bússola

Uma bússola fornece uma direção de referência conhecida que é de grande ajuda na navegação, este permite encontrar direções com relação ao norte magnético. As bússolas convencionais consistem em um ponteiro magnetizado livre para se alinhar de maneira precisa com o campo magnético da Terra.

No presente projeto utilizou-se uma bússola eletrônica de baixo custo fabricada pela empresa *Precision Navigation Inc.*, com dois eixos magnéticos para uso em aplicações embarcadas. Essa bússola utiliza tecnologia de *magnetômetro* magneto-indutivo, que garante alta precisão e baixo consumo (AYRES, 2006).

As características da bússola eletrônica são:

- Precisão: +/- 2 graus (calibrada), +/- 5 graus nas latitudes extremas norte e sul.
- Resolução: 1 grau.

Os dados dos sensores da bússola e o GPS permitem que o veículo de testes possa cumprir suas missões de navegação, de forma flexível. O usuário final localizado

remotamente pode monitorar mediante os dados que fornece o GPS e a bússola a navegação do veículo.

4.3. ANÁLISE DO DESLOCAMENTO DO VEÍCULO DE TESTES E DA EMBARCAÇÃO.

O veículo de testes controla a direção do movimento pela orientação da roda dianteira. Quando o veículo percorre uma trajetória circular, esta é em torno de um ponto ICC (Centro da Curvatura Instantânea), como ilustrado na figura 4.8.

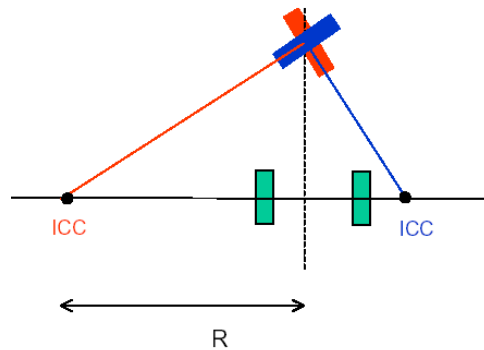


Figura 4.8:- Trajetória circular percorrida pelo veículo de testes, com centro de curvatura em ICC.

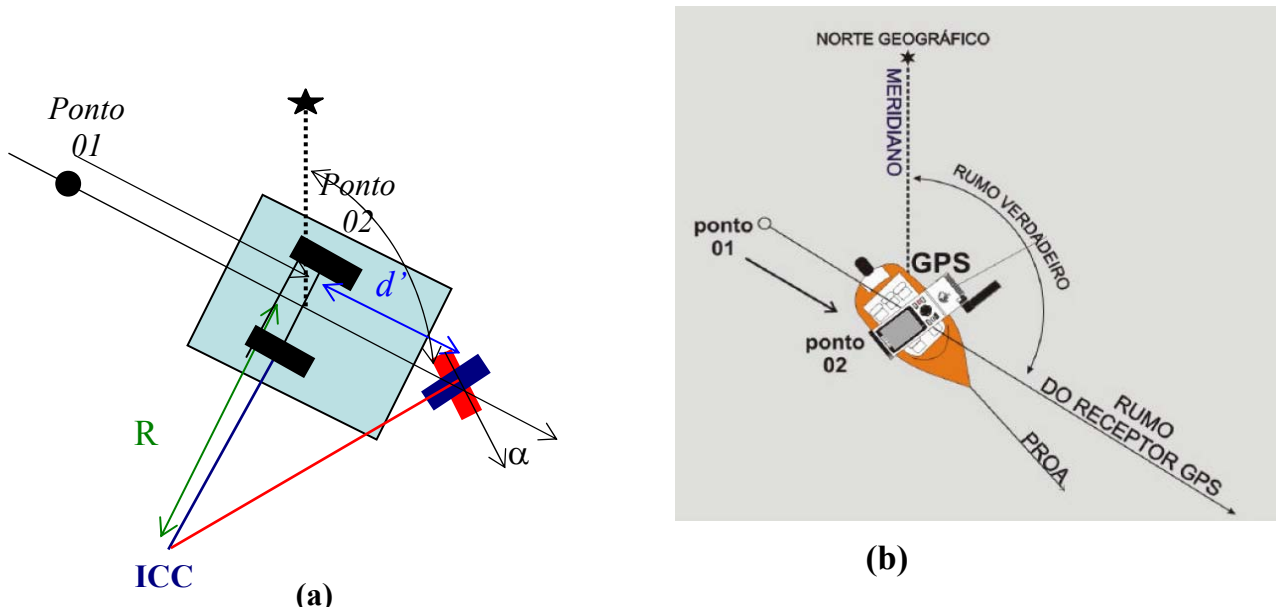


Figura 4.9:- Visualização do deslocamento do triciclo (a) em comparação a embarcação (b).

Na figura 4.9 mostra-se graficamente a relação entre o veículo de testes (triciclo) e embarcação para a qual futuramente serão transferidos os sistemas eletrônicos de

navegação. Os dois veículos são dirigidos por GPS, sendo a mudança da proa da embarcação simulada com a mudança da roda dianteira do triciclo. O barco tem objetivos de investigação e análise de água, porém não requer movimentos bruscos, o que possibilita a simulação de seus movimentos pelo triciclo em uma superfície plana

A navegação de uma embarcação na água depende da sua velocidade e da correnteza da água, mas na navegação apresenta fatores externos que influenciam o planejamento da navegação. A figura 4.10 mostra um exemplo de uma embarcação saindo do ponto O em direção ao ponto G, com um ângulo de 0° em relação ao norte geográfico. Observa-se que durante a navegação, há influência de forças externas (correntes na água), o que faz a embarcação desviar-se da trajetória OG para a trajetória OC, com um ângulo de 15° . Este efeito natural chama-se “derrape”, GUERRA (2002). A figura 4.11 mostra esse mesmo exemplo representando apenas o derrape.

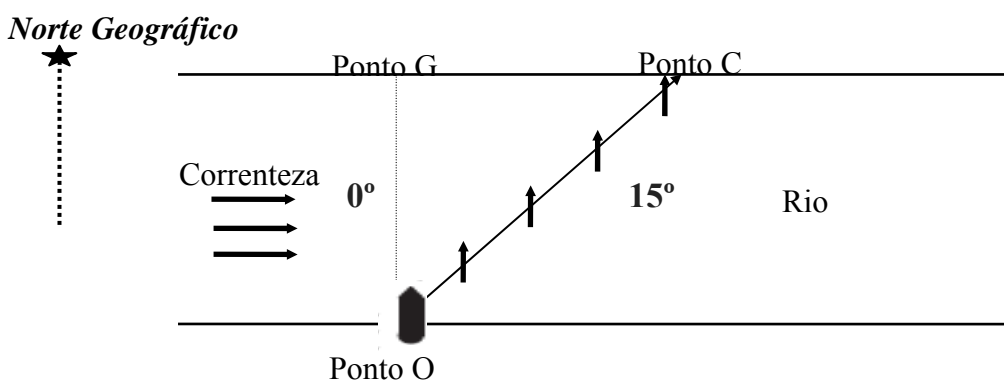


Figura 4.10: Gráfico do desvio da trajetória da embarcação: OG é a trajetória pretendida (rumo desejado), e OC a trajetória percorrida.

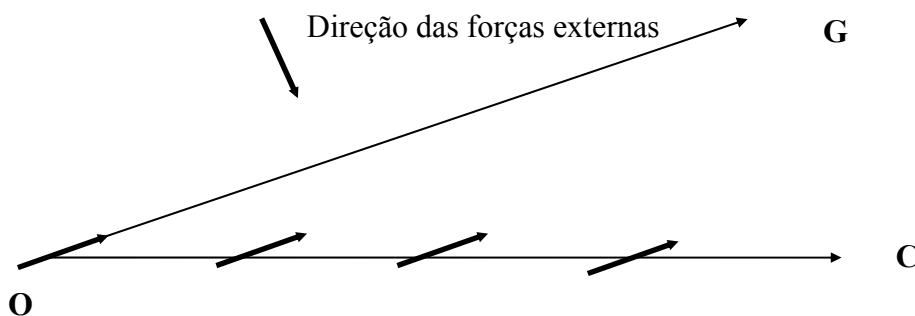


Figura 4.11:-Gráfico do “derrape” da embarcação. A direção OG é a proa da embarcação. A linha OG representa o rumo desejado. A direção da linha OC representa a trajetória percorrida.

4.4. ARQUITETURA DO PROJETO

A arquitetura do presente projeto baseou-se no ambiente proposto por MACDONALD (2003), e foi estruturada em duas camadas, conforme ilustrado na figura 4.12. Essa estrutura de camadas foi utilizada para facilitar o desenvolvimento, além do que cada camada pode ser estendida para a implantação de novas funcionalidades.

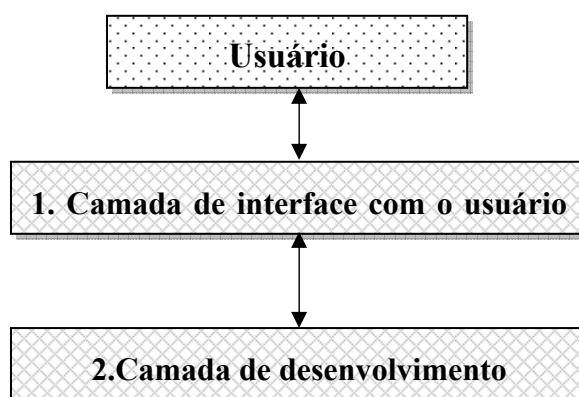


Figura 4.12. Estrutura em camadas do sistema SNAT.

As camadas dessa arquitetura são descritas a seguir:

Camada de Interface com o Usuário (CIU): é a camada de apresentação dos dados (*presentation layer*), onde são apresentados os dados dos sensores. Através desta camada ocorre a interação do usuário com o sistema SNAT, possibilitando ao usuário indicar o(s) ponto(s) destino(s). Para a implementação dessa camada foram utilizados os componentes GUIDE do Matlab da interface gráfica.

Camada de desenvolvimento: responsável pelo gerenciamento dos códigos vindos do ambiente de programação (Matlab) e pelo processamento dos dados dos sensores.

Esta camada é responsável por integrar os dados dos dispositivos de hardware e software do sistema, ou seja, decodifica os dados provenientes dos sensores (remotamente) (Figura 4.3) e interpreta as instruções inseridas pelo usuário e as processa. Em seguida, os dados resultantes desse processamento são inseridos no controlador Fuzzy, que gera comandos de acionamento, os quais são codificados e transmitidos remotamente para o micro controlador do triciclo.

4.5. REQUISITOS FUNCIONAIS DO SNAT.

Os requisitos funcionais do SNAT são:

- a. assume-se que o triciclo move-se em um terreno plano horizontal;
- b. o veículo movimenta-se suavemente e sem escorregamento ou derrape;
- c. o SNAT monitora continuamente a navegação, direção e velocidade do veículo de testes, mediante leituras dos sensores de posição (GPS) e direção (Bússola);
- d. o sistema apresenta ao usuário uma interface gráfica com o Sistema de Coordenada Plana do campo de futebol da USP-SC por onde o veículo se movimenta; fornece as opções de definir e redefinir a direção do(s) ponto(s) a navegar (pontos coletados), possibilitando ao usuário inserir o rumo composto por um ou mais pontos intermediários, de forma que a interligação desses pontos forma o rumo de navegação;
- e. para o controle do veículo utilizam-se as variáveis de posição e direção do veículo mostradas na Figura 4.2. Estes dados são recebidos pelo sistema de telemetria do veículo. O SNAT processa os dados de posição, direção e a cada intervalo de um segundo calcula as manobras para dirigir o veículo de testes até o ponto desejado; este processo é chamado controle com realimentação.

4.6. ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO

4.6.1. Descrição e interação das variáveis no sistema de navegação do veículo de testes.

Os três elementos básicos da automação são: Sensor -> Controlador -> Atuador. Nesse projeto os sensores utilizados são o GPS e a bússola; o controlador corresponde ao sistema SNAT que foi desenvolvido; os atuadores correspondem aos controles de direção (equivalente ao leme da embarcação) e velocidade (equivalente ao manche da embarcação).

A interação do veículo de testes (triciclo) com o ambiente segue a mesma lógica que a navegação de um barco na água: ambos são influenciados por forças externas do ambiente, mas pela potência dos seus respectivos motores vencem as forças externas e conseguem se deslocar.

A figura 4.13 mostra a interação das variáveis físicas do projeto: o sensor de posição e orientação, o atuador do leme e o manche, o veículo de testes, o ambiente de navegação e finalmente o operador de computador, pessoa que monitora ou controla, sendo este o principal componente deste sistema. Cada elemento desse sistema será descrito a seguir.

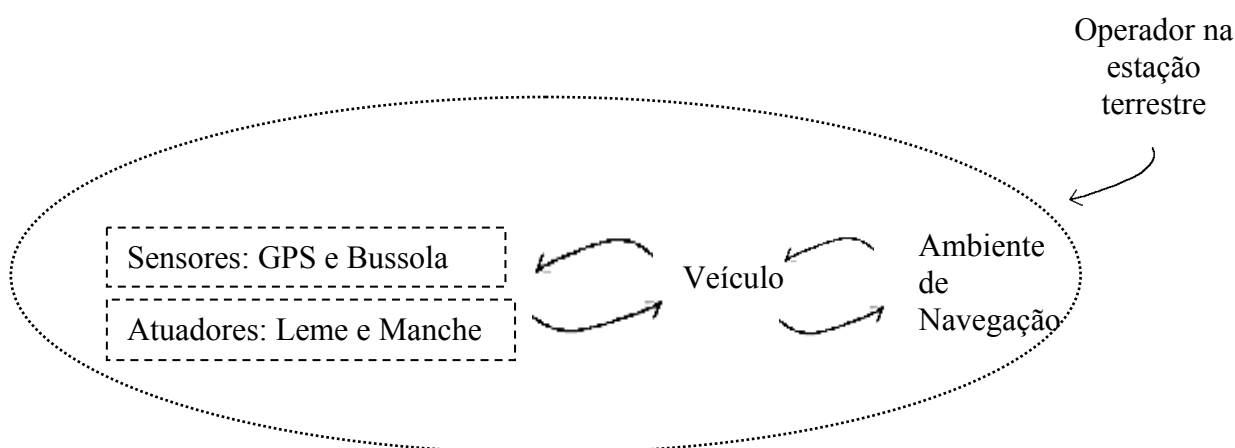


Figura 4.13. Diagrama da interação das variáveis da Navegação automática para o veículo não tripulado.

I. Os sensores

I.1 - Bússola

Fornece os dados relacionados à direção da proa do veículo em relação ao norte geográfico.

I.2 – GPS

Fornece a informação do posicionamento geográfico do veículo.

II. Os atuadores

II. 1 – Leme (controle de direção, no caso do triciclo direção da roda dianteira).

O leme é um dispositivo para atuar na direção do veículo de testes, de modo a que através de uma par ação /reação conseguir guiar o veículo para a direção

pretendida.

II. 2 – Manche (controle de velocidade).

O Manche é um atuador apropriado para controlar a velocidade do veículo de testes. No caso deste trabalho atuou-se sobre a potência do motor de tração que está relacionada, mas não é uma indicação precisa da velocidade.

III. Ambiente de Navegação: lago ou o campo de teste.

É uma variável importante já que é o cenário onde ocorre a navegação. As condições hidrográficas ou físicas influenciam na navegação autônoma do veículo.

IV. Veículo

É o objeto que se movimenta no ambiente de navegação; este movimento está rodeado de diversas características físicas que o influenciam, tais como comprimento, peso do casco com ou sem motor (barco), carga máxima, potência máxima, peso máximo do motor, força do motor e forças laterais.

V. Operador do Sistema

Também conhecido por perito, é a pessoa que determina e monitora a navegação do veículo.

4.6.2. Heurística da navegação autônoma

O SNAT apresenta ao usuário uma interface gráfica da área de navegação, limitada pelo sistema de coordenadas plana da área do teste. Neste mapa o usuário insere o rumo composto por um ponto inicial, um ou mais pontos intermediários e um ponto objetivo, sendo que a interligação desses pontos forma o rumo desejado. O veículo de testes deve seguir os pontos objetivos indicados no mapa pelo usuário.

Um ponto objetivo do GPS é uma posição absoluta na superfície do globo terrestre definida pela latitude e longitude em graus e minutos. Para simplificar o problema, cada ponto recebido é transformado ou convertido para o sistema de coordenadas plana da área do teste, por exemplo:

$$\text{Latitude: } 31^{\circ}35,1586' = 31 + 35,1586 / 60 = 31,5875^{\circ}$$

$$\text{Longitude: } 57^{\circ}28.1554' = 57 + 28.1554 / 60 = 57,4759^{\circ}$$

A aproximação para calcular a direção entre uma posição inicial e o ponto objetivo desejado é dada pela equação 4.1.

$$\hat{\text{ângulo}} = \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{Y_{wp} - Y_{veh}}{X_{wp} - X_{veh}} \right) \quad (4.1)$$

Outro formula para calcular o ângulo de orientação em função das coordenadas esféricas é aquele formado entre o eixo X do veículo e o eixo X da terra, chamado azimute (BOCZKO, R. 1984), quando o veículo está com direção ao norte geográfico o ângulo de direção é zero.

Para alcançar os pontos objetivos desejados sob ação das forças externas, o SNAT deve compensar o erro de orientação alterando a direção de movimento do veículo de testes em sentido ao objetivo. O sentido da compensação é oposto ao deslocamento do veículo até que o ângulo desvio seja neutralizado. Assim se corrige o desvio se refere com o nome ângulo de desvio ou erro de orientação (“ Ψ ”), que é calculado pelo ângulo formado entre o ângulo do rumo pretendido (“ α ”) e a direção percorrida (onde se encontra o veículo de testes) (“ θ ”) com relação ao norte geográfico:

$$\psi = \alpha - \theta. \quad (4.2)$$

Ψ esta no intervalo [-180 180], α e θ varia entre [0 360].

A equação 4.2 mostra que o ângulo desvio ou erro de orientação é a diferença da direção do rumo desejado “ α ” e a direção da trajetória percorrida “ θ ” do veículo. Além disso, para cada amostra do sensor do GPS é necessário calcular a distância percorrida do veículo em relação ao objetivo. Esta distância é calculada pela equação 4.3 (em coordenadas esféricas) e a direção “ θ ” se calcular pela equação 4.4 (ED WILLIANS, 2003).

$$D = \cos^{-1} (\sin(lat1).\sin(lat2)+\cos(lat1).\cos(lat2).\cos(long2-long1)).R' \quad (4.3)$$

$$\theta = \tan^{-1} (\sin(\Delta long).\cos(lat2), \cos(lat1).\sin(lat2) - \sin(lat1).\cos(lat2).\cos(\Delta long)) \quad (4.4)$$

I. - Heurística do ângulo de guia.

Nas figuras 4.14 a 4.17 mostra-se que o rumo desejado é uma linha reta denotada por “rd”, o ponto inicial tem coordenadas wp_i (lat_i , lon_i) e o ponto objetivo tem coordenadas wp_f (lat_f , lon_f). Durante a navegação o veículo esta na posição (lat_{i+1} , lon_{i+1}).

Considerando a posição do veículo em relação a direção do rumo desejado “rd”, estabelecida pelo usuário, há quatro situações possíveis descritas a seguir.

1. Quando a direção da trajetória percorrida do veículo coincide com a trajetória do rumo desejado, o objetivo primordial do controlador é comandar uma ação que consiga manter a direção do veículo como ilustrado na figura 4.14, as direções de “ α ” e “ θ ” são iguais em relação ao norte Geográfico e a distancia do deslocamento lateral e zero.
2. Quando a direção do percorrido do veículo não coincide com a direção do rumo desejado, como mostrado na figura 4.15, as regras lingüísticas neste caso, serão voltadas para guiar ou virar o veículo para o rumo desejado. O sentido da compensação é oposto ao deslocamento do veículo até que o desvio ou erro de orientação seja neutralizado. O erro de orientação é calculado pela equação 4.2.

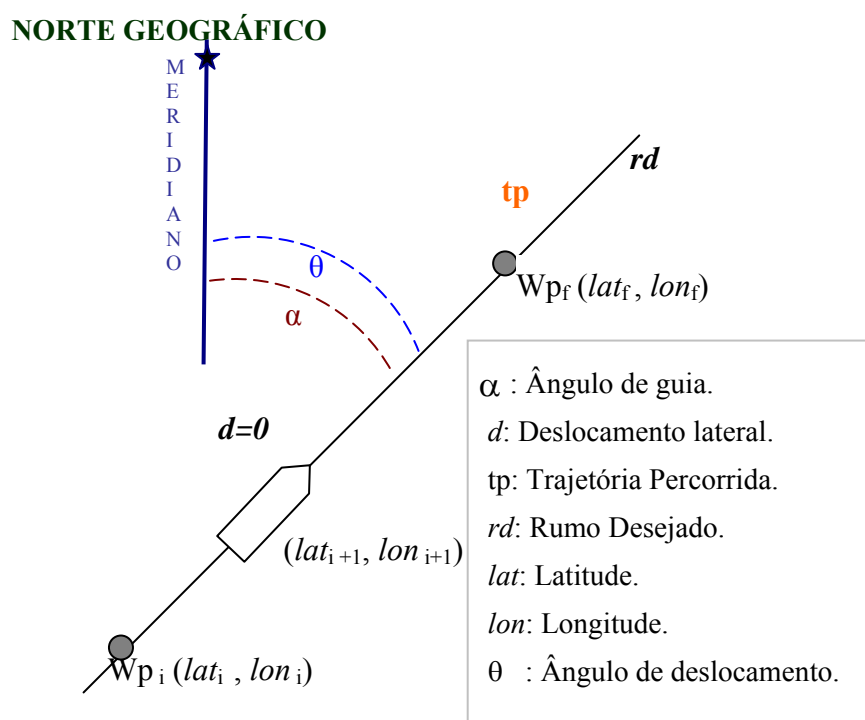


Figura 4.14: Gráfico da embarcação, considerando o ângulo de guia “ α ” igual ao ângulo objetivo “ θ ” e o deslocamento lateral do veículo “ $d=0$ ”, está alinhado com a direção desejada.

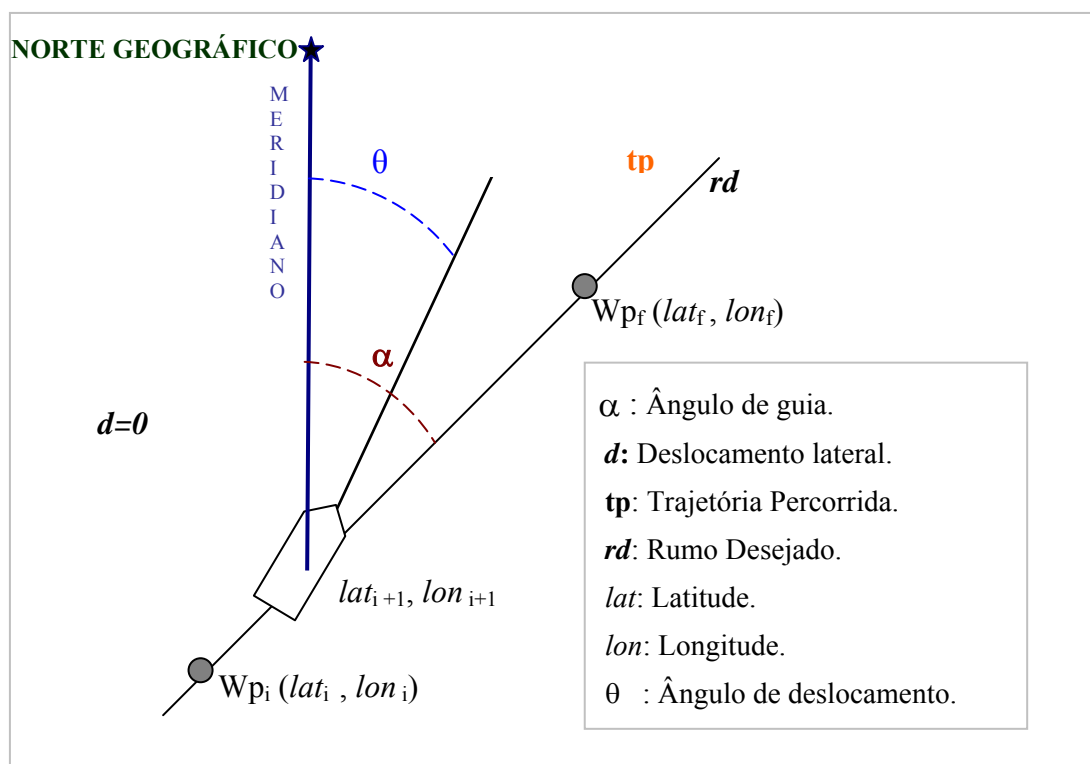


Figura 4. 15: Gráfico do deslocamento da embarcação, considerando o ângulo de guia “ α ” diferente do ângulo objetivo “ θ ” e o deslocamento lateral do veículo “ $d=0$ ”.

3. Quando o veículo percorre, como se mostra na figura 4.16, e ele estiver em (lat_{i+1}, lon_{i+1}) fora do rumo desejado com um ângulo de guia diferente do ângulo objetivo (ou erro de orientação maior a zero) e a distancia do deslocado lateral d com relação ao rumo desejado maior a zero. O deslocamento lateral do veículo com respeito ao rumo desejado é calculado pela equação 4.5. (PATRICK, 2006). O SNAT deve compensar o erro de orientação movendo a proa do veículo de testes em sentido ao rumo desejado. O sentido da compensação é oposto ao deslocamento do veículo até que o erro de orientação ou desvio seja neutralizado. Se o veículo está localizado no ponto S ($d > 0$) a ação do controle (no desvio) é aplicada ao veículo para retorná-lo ao caminho desejado, onde $d=0$.

$$d = \text{sen } \Psi \cdot c \quad (4.5)$$

$$A = \cos\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}\right) \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned} s &= (w\text{polat}_f - w\text{polat}_i) * [lon_i - w\text{polon}_i]; \\ y &= [lat_i - w\text{polat}_i] * [w\text{polon}_f - w\text{polon}_i]; \\ g &= s - y; \quad m = 1; \quad \text{if } g < 0 \quad m = -1; \end{aligned} \quad (4.7)$$

.....

O ângulo de guia “ α ” é calculado utilizando a lei dos co-senos no plano cartesiano pela equação 4.6. (PATRICK,2006). Os símbolos a,b,c, são mostrados graficamente na figura 4.16, estes são calculados a partir das coordenadas wp_i (lat_i, lon_i) (ponto de início) e o ponto objetivo tem coordenadas wp_f (lat_f, lon_f) (ponto fim ou ponto objetivo) e a posição onde se encontra o veículo de testes (lat_{i+1}, lon_{i+1}).

O sentido de giro dado por “g” é calculado utilizando equação 4.7. (PATRICK, 2006). O sentido de giro depende de três pontos: ponto de início ($w\text{polat}_i, w\text{polon}_i$) e ponto final ($w\text{polat}_f, w\text{polon}_f$)(também chamado ponto objetivo) e a posição onde se encontra o veículo (lat_i, lon_i).

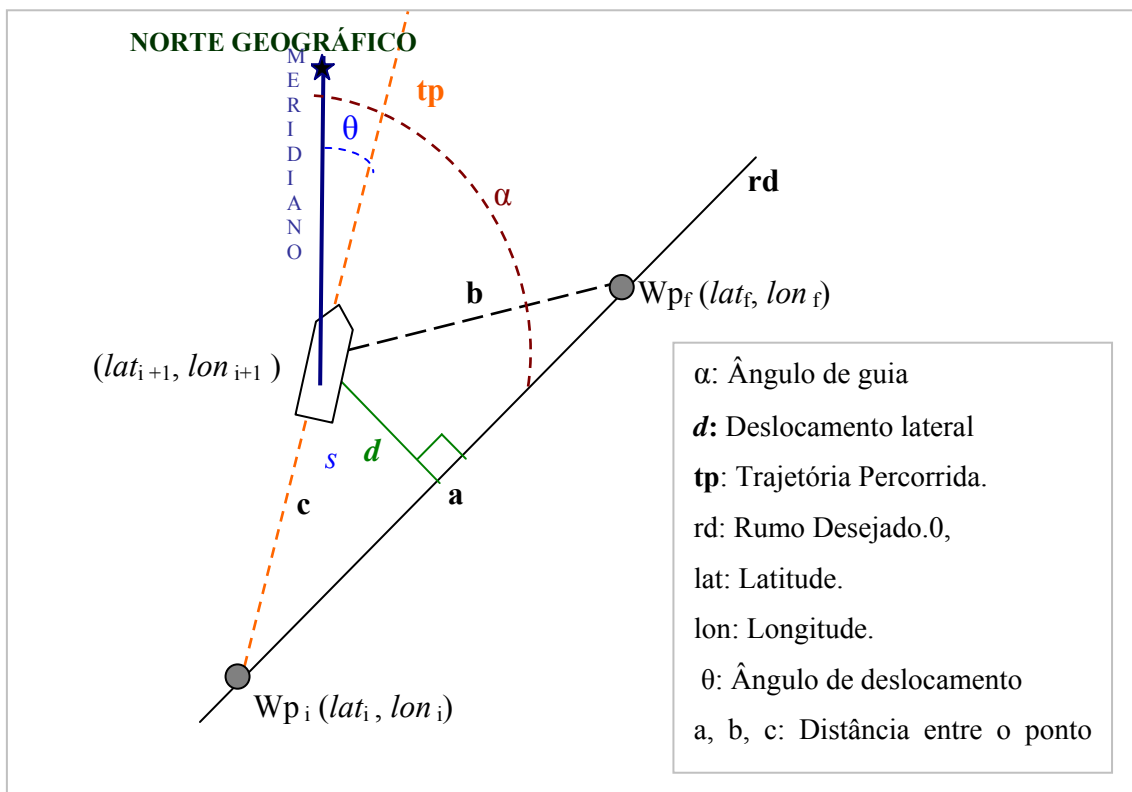


Figura 4.16: Gráfico do deslocamento da embarcação, considerando o ângulo de guia. “ α ” diferente do ângulo objetivo “ θ ” e o deslocamento lateral do veículo “ $d > 0$ ”.

4. Pode ocorrer, a direção do veículo com relação ao rumo desejado este com erro de orientação igual a zero, e nesse caso a trajetória percorrida é paralela ao rumo desejado como se observa na figura 4.17, mas o veículo está deslocado em relação ao objetivo por uma distância d . O erro de deslocamento lateral do veículo com respeito ao rumo desejado é calculado pela equação 4.5. Como o veículo está localizado no ponto S ($d > 0$), a ação do controle (no ângulo do desvio) é aplicada ao veículo para retorná-lo ao rumo desejado, onde $d=0$. Se este estiver localizado no ponto S', atuará da mesma forma, mas em sentido contrário.

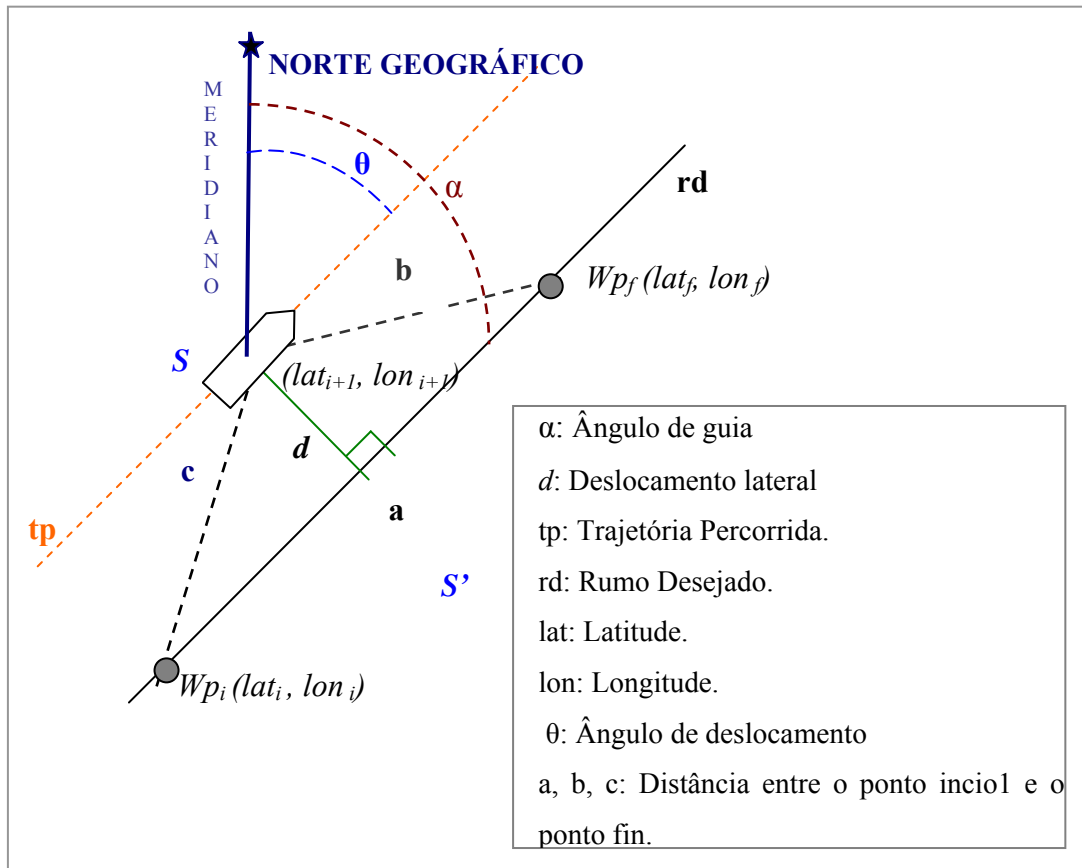


Figura 4.17: Gráfico do deslocamento do veículo de testes, considerando o erro de orientação “ $\psi = \theta$ ” e o deslocamento lateral do veículo “ $d > 0$ ”.

II. - Heurística da velocidade

Existe uma relação entre ângulo de desvio e a velocidade, de forma que, quanto maior o ângulo de desvio que se deve aplicar, menor a velocidade do veículo, isto foi baseado em observação empírica, neste projeto não solucionamos este problema.

1. A VELOCIDADE CONTROLADA PELO SISTEMA SNAT

A velocidade do veículo controlada pelo sistema SNAT varia durante o percurso, a velocidade entre dois pontos é calculada pelas equações 4.9 e 4.10. A velocidade do veículo de testes depende da distância percorrida, aumenta lentamente quando se inicia a navegação, e quando se aproxima do ponto objetivo diminui até parar. A velocidade máxima fornecida pelo sistema entre os pontos no percurso está entre 0 e 4000 (estes valores foram normalizados pelo Laboratório).

$$V_2 = SpeedLimit + (Dist - 3) * 0.18 \text{ para } Dist \geq 3 \quad (4.9)$$

$$V_1 = SpeedLimit \text{ para } Dist < 3 \quad (4.10)$$

4.7. IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLADOR DIFUSO DE NAVEGAÇÃO

Em Vaneck (1997) utiliza-se um controlador difuso para guiar um barco autônomo, com a grande vantagem de prescindir do conhecimento da dinâmica do veículo e ser de fácil sintonização.

O controlador difuso utilizado neste estudo de caso é do tipo *Mamdani* e é composto de duas entradas, sendo estas os valores de: deslocamento lateral e erro de orientação. Este é responsável por, a partir destes valores, determina as tensões a serem aplicadas no leme e em um motor que controla a velocidade.

Para o controle da navegação são consideradas as seguintes situações possíveis:

O controlador difuso deve tentar minimizar os erros de orientação do veículo e o erro de deslocamento lateral, para guiar o veículo até o ponto objetivo. As seguintes situações podem ocorrer:

- Quando o ângulo de guia é muito grande e o veículo de testes está em alta velocidade não se deve mudar a direção bruscamente, existe o risco de derrape.
- Se o veículo estiver parado (com velocidade zero), deve – se aumentar a velocidade lentamente.
- Controlar a velocidade é mais difícil do que controlar o leme por causa do arraste provocado pelas forças externas e, por esse motivo, controlamos primeiro o leme e em seguida a velocidade.

I. Definição das variáveis lingüísticas

O controlador, que atua sobre o veículo de testes, conta com duas entradas o erro de orientação “ ψ ” e o erro de deslocamento lateral “ d ” e uma saída de compensação do leme “ δ ” (ver figura 4.18). A velocidade do veículo é controlada atuando-se sobre o motor de tração do mesmo.

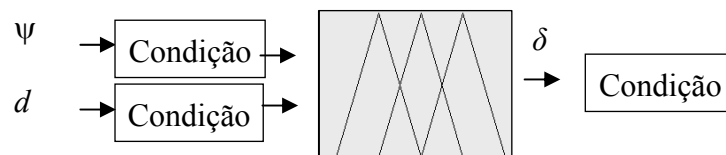


Figura 4.18: Diagrama do controlador difuso do controle do leme, com duas entradas: o erro de orientação e o erro de deslocamento lateral e uma saída compensação do leme.

II. Definição das superfícies de controle

Para as duas variáveis lingüísticas de entrada foram escolhidas cinco superfícies de controle que representam o comportamento real. As variáveis lingüísticas atribuídas são: Muito Pequeno (MP), Pequeno (PQ), Médio (MD), Grande (GR), Muito Grande (MG), suas configurações e funções de pertinência são apresentadas na Figura 4.19.

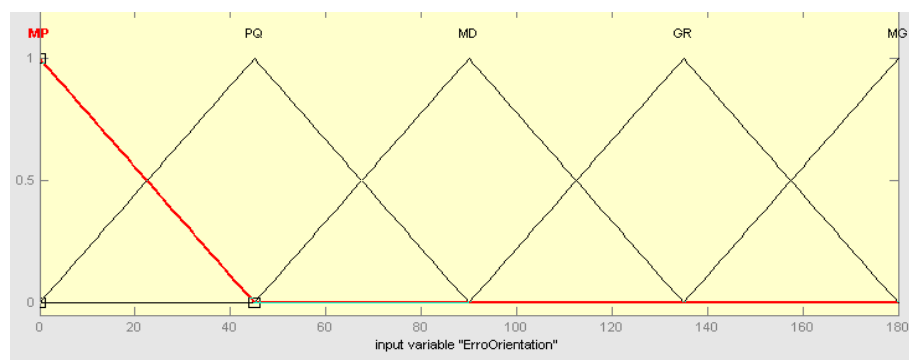


Figura 4.19: Conjunto dos termos lingüísticos difusos para o erro de orientação.

Tabela 4.2 – Definição da variável lingüística: erro de orientação para o SNAT.

X é o nome da variável lingüística (nome do conjunto);	X: erro de orientação
<p>T(X) é um conjunto de termos lingüísticos (atributos, adjetivos);</p> <p>U é o universo de discurso (faixa, intervalo);</p> <p>G é uma regra sintática para composição dos termos lingüísticos;</p>	<p>T(graus): {Muito Pequeno, Pequeno, Meio, Grande, Muito Grande};</p> <p>U: [0,180];</p> <p>G: Muito Pequeno [X: 0 a 45], Pequeno [X: 0 a 90], médio [X: 45 a 135] grande [X: 90 a 180], e muito grande [X: 135 a 180]</p>

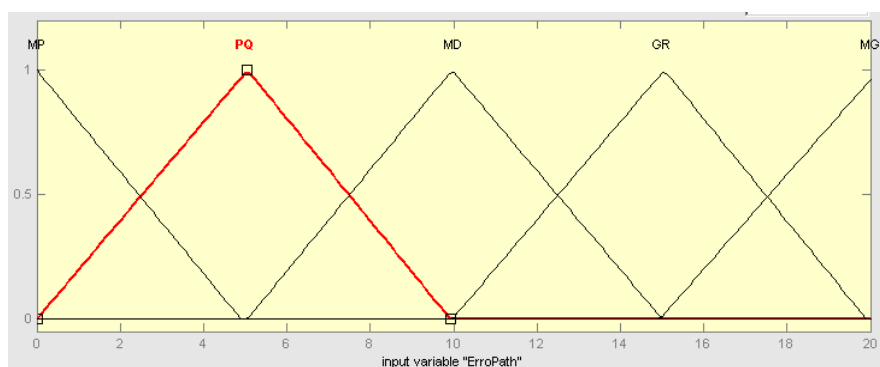


Figura 4.20: Conjunto dos termos lingüísticos difusos para o erro de deslocamento lateral.

Tabela 4.3 – Definição da variável lingüística do erro de deslocamento lateral para o SNAT.

<p>X é o nome da variável lingüística (nome do conjunto);</p>	<p>X: Erro de deslocamento lateral</p>
<p>T(X) é um conjunto de termos lingüísticos (atributos, adjetivos);</p> <p>U é o universo de discurso (faixa, intervalo);</p> <p>G é uma regra sintática para composição dos termos lingüísticos;</p>	<p>T(metros): {Quase Zero, Pequeno, Meio, Grande, Muito Grande};</p> <p>U: [0,20] (metros);</p> <p>G: Quase Zero [X: 0 a 5], Pequeno [X: 0 a 10], Meio [X: 5 a 15], Grande [X: 10 a 20], Muito Grande [X: 15 a 20];</p>

Para gerar a *defuzificação* sobre o limite da saída se divide a variável lingüística do conjunto de compensação do leme em nove conjuntos que demonstram o comportamento da direção do veículo. As variáveis lingüísticas atribuídas são: QZ Quase Zero, MP Muito Pequeno, PE pequeno, ME Médio, GR Grande, G1 Grande 1, G2 Grande 2, G3 Grande 3, G4 Grande 4, suas configurações e funções de pertinência são apresentados na Figura 4.21.

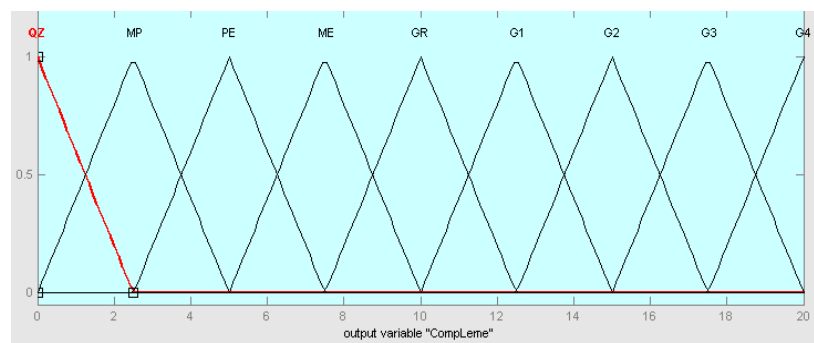


Figura 4.21: Variável lingüística de saída do conjunto compensação do leme.

Tabela 4.4 – Definição da variável lingüística da Compensação do leme para o SNAT.

X é o nome da variável lingüística (nome do conjunto);	X: Compensação do leme;
<p>T(X) é um conjunto de termos lingüísticos (atributos, adjetivos);</p> <p>U é o universo de discurso (faixa, intervalo);</p> <p>G é uma regra sintática para composição dos termos lingüísticos;</p>	<p>T(graus): {Quase zero, Muito pequeno, pequeno, meio, grande, grande1, grande2, grande3, grande4 (muito maior)};</p> <p>U: [0,20];</p> <p>G: Quase Zero [X: 0 a 2,5], Muito Pequeno [X: 0 a 5], Pequeno [X: 2,5 a 7.5], meio [X: 5 a 10], grande [X: 7.5 a 12.5], grande1 [X: 10 a 15], grande2 [X: 12.5 a 17.5], grande3 [X: 15 a 20], grande4 [X: 17.5 a 20];</p>

Base de Regras

Os comandos ou regras de controle de navegação estão baseados nos testes realizados, literalmente expressado no item da heurística do ângulo de guia e no item da heurística da velocidade.

O número total de regras lingüísticas existentes é $5 \times 5 = 25$, conforme mostrado na tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Regras difusas para manter o curso do veículo mediante o erro de orientação e o deslocamento lateral.

ψ d	MP	P	M	G	MG
MP	QZ*	MP	P	M	G***
P	MP	P	M	G	G1
M	P	M	G	G1	G2
G	M	G	G1	G2	G3
MG	G**	G1	G2	G3	G4*

Consideremos os exemplos: QZ*, G**, G*** e G4* da tabela 4.5.

Se (d é MP) e (ψ é MP) então δ é QZ*

Se o *erro de deslocamento lateral* for muito pequeno e o *erro de ângulo de desvio* for muito pequeno então a compensação do leme é **QZ*** quase zero.

Se (d é MG) e (ψ é MP) então δ é G**

Se o *erro de deslocamento lateral* for muito grande e o *erro de ângulo de desvio* for Muito pequeno então a compensação do leme é **G** grande**.

Se (d é MP) e (ψ é MG) então δ é G***

Se o *erro de deslocamento lateral* for muito pequeno e o *erro de ângulo de desvio* for muito grande então a compensação do leme é **G*** grande**.

Se (d é MG) e (ψ é MG) então δ é G4*

Se o *erro de deslocamento lateral* for Muito Grande e o *erro de ângulo de desvio* for Muito Grande então a compensação do leme é **G4* muito maior**.

O motor de inferência de um controlador é composto por duas tarefas básicas. São elas: determinar o grau que cada regra existente na base de regras se adapta às condições de entrada do controlador (casamento); e retirar conclusões utilizando as entradas e a base de regras (passo de inferência).

Primeiro, para o processo de casamento, existem dois passos básicos: a combinação das entradas do controlador com as premissas das regras; e a determinação de quais regras é ativada.

Segundo, para o passo de inferência é responsável por determinar a saída do controlador de acordo com os dados obtidos no processo de casamento. Para isso, são somadas as saídas referentes à função de pertinência de cada uma das regras presentes na base de regras do controlador.

No processo de *defuzzificação* das entradas deste controlador ocorre através do operador *max-min*, ver equação 4.12.

$$\mu_{B_j} = \max_i [\min[\mu_{A_d^i}(d), \mu_{A_v^i}(\psi)]], \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (4.12)$$

O conjunto de saída obtido pelo motor de inferência deve ser convertido em um número para que possa ser enviado para o processo a ser controlado. O processo de conversão deste conjunto fuzzy para um número é denominado: processo de *defuzzificação*. O processo de *defuzzificação* ocorre através do método de Centro de Gravidade ver equação 4.13. Ou seja, o sinal de saída é uma média ponderada dos elementos presentes no conjunto *fuzzy*.

$$K = \frac{\sum_{i=1}^r k^i \mu_B(\mu_B(k^i))}{\sum_{i=1}^r \mu_B(k^i)} = \frac{\sum_{i=1}^r \max_j(\mu_{B_j}(y^i))}{\sum_{i=1}^r \max_j(\mu_{B_j}(k^i))} \quad (4.13)$$

4.8. ALGORITMO DE NAVEGAÇÃO

O SNAT conta com um temporizador (relógio), esta função serve para enviar uma ordem de parar de enviar dados de atuação sobre o veículo quando o gerenciador indica que é necessário (caso de alguma emergência). Finalmente esta função se ativa quando atinge o ponto objetivo.

Cabe ressaltar que o SNAT precisa que o veículo de testes se desloque (mudanças da posição) para indicar o rumo de seu movimento. Um exemplo se mostra na figura 4.11.

O algoritmo desenvolvido, controle automático do veículo de testes é mostrado na figura 4.22. O planejamento da guia esta baseado na leitura dos sinais dos sensores do GPS e bússola, esta é monitorada pelos atuadores do leme e do manche. O monitoramento do veículo de testes é feito através do tratamento das informações obtidas do micro controlador, originadas no ambiente real no qual o veículo de testes está inserido.

Na figura 4.22 se mostra o diagrama de fluxo geral de fluxo do SNAT, este determina a ação para controlar ou alterar dinamicamente o leme e a velocidade do veículo ate alcançar o(s) ponto(s) desejado(s).

- (1) O usuário do sistema, através da aplicação indica os pontos a seguir (pontos coletados), sendo esses referenciados pela sua latitude e longitude global. Estes Pontos são: $(wpolon_i, wpolat_i)$ que é o início ao processo da leitura dos dados, seguidamente calcula-se o rumo pretendido entre $(wpolon_i, wpolat_i)$ e $(wpolat_f, wpolon_f)$.
- (2) Se inicia um contador de tempo.
- (3) Se solicita os dados dos sensores com uma freqüência de amostragem de 1 segundo a posição e a orientação. Se *os dados são íntegros* se inicia o processamento de dados, caso contrário se solicita novamente o dado.
- (4) Se a verificação dos dados é íntegra.
- (5) Pré-processa os dados e mostra no plano cartesiano mostrando a posição do veículo.
- (6) Processamento: Se for iniciado o processamento de dados se calcula para cada pacote de dados (lat_i, lon_i) e (lat_{i+1}, lon_{i+1}) . Os dados são combinados para determinar: erro de orientação, erro de deslocamento lateral.
- (7) Calcula-se a velocidade desejada pelas equações 4.9 e 4.10.
- (8) Controlar e atuar no veículo de testes. O controlador difuso de navegação processa o pacote de dados com o objetivo de manter ou corrigir a direção da proa atuando sobre o leme do veículo. O ciclo se repete até que o veículo esteja o mais próximo possível ao objetivo.

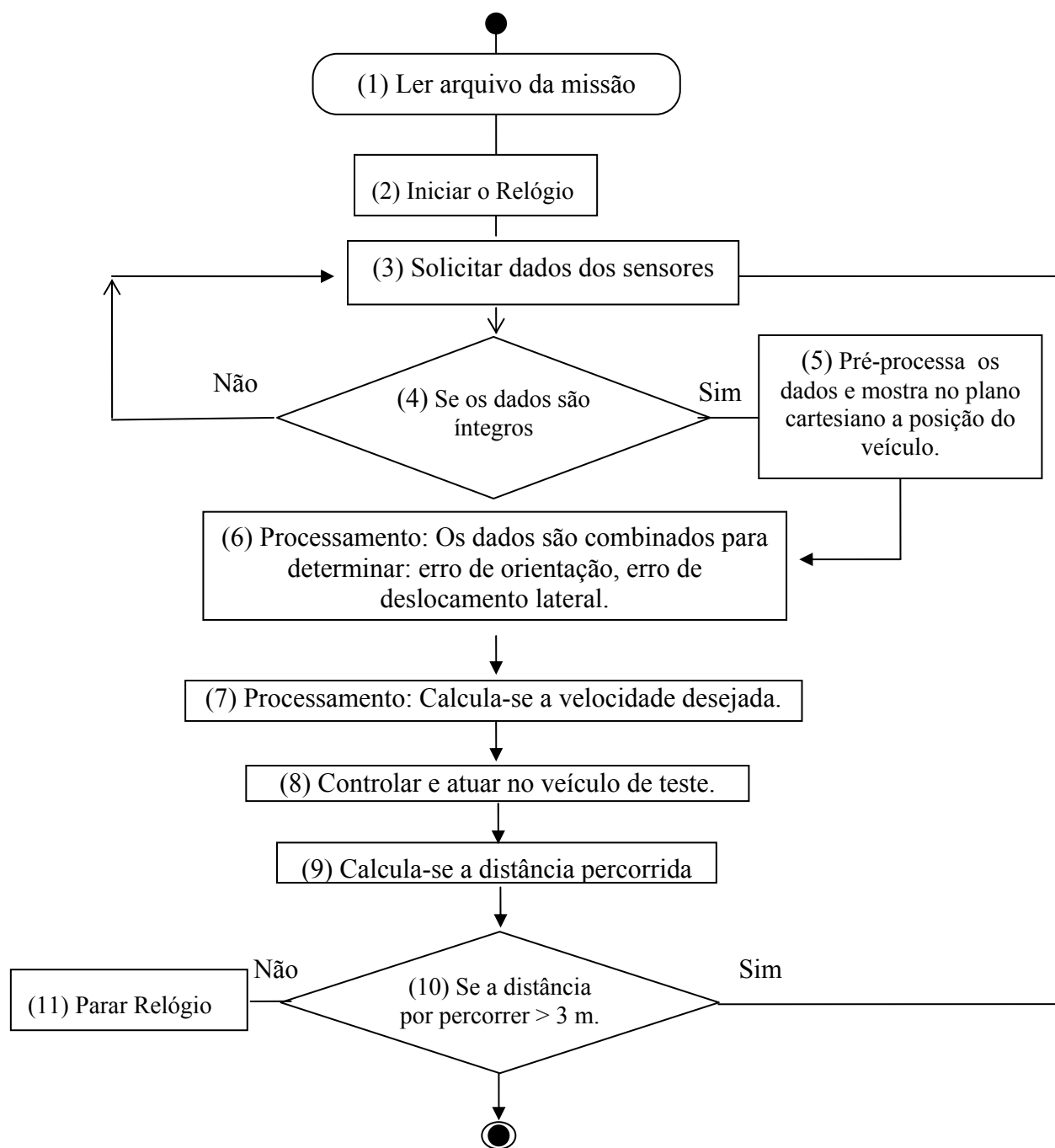


Figura 4.22: Diagrama geral de fluxo do SNAT.

(9) Calcula-se a distância percorrida.

(10) Se a distância percorrida > 3 m então continua solicitando dados.

(11) Senão relógio para. - Para o processo de leitura de dados.

4.9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O capítulo quatro descreve a análise do movimento do veículo de testes, e o modelo de navegação para o veículo móvel (triciclo). O método de controle proposto baseado em um controle difuso. As únicas informações necessárias a priori para o veículo são: posição e orientação inicial e posição final ou posição objetivo, provenientes de um sensor GPS e de uma bússola magnética. Também se detalha as heurísticas da guia de navegação e velocidade, finalmente se descreve mediante um diagrama de fluxo do algoritmo empregado na navegação do triciclo.

Capítulo 5

ENSAIOS DE NAVEGAÇÃO DO VEÍCULO DE TESTES

Apos a apresentação nos capítulos anteriores de como foi estruturada o modelo desta, tese, neste capítulo é apresentado a descrição dos ensaios realizados para validar o modelo, o modo de implantação para conseguir o SNAT e um resultado descrito gráfica e literalmente em um ambiente real.

5.1. RESULTADO COM O VEÍCULO DE TESTES

Uma das atividades deste trabalho, que demandou tempo considerável, foi a validação dos sistemas de controle do veículo de testes (figura 4.7), mostrados na figura 5.1, que teve seu desenvolvimento em paralelo ao desenvolvimento do SNAT.

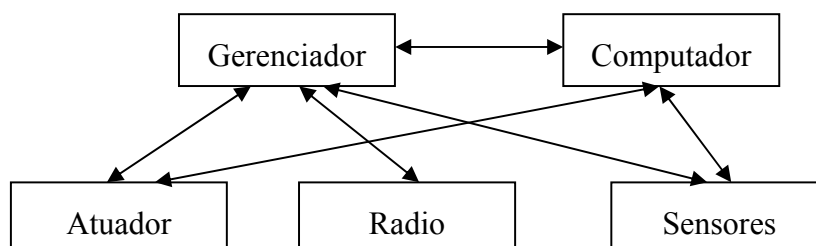


Figura 5.1: Diagrama simplificado dos sistemas de controle do veículo de testes.

Para validar a arquitetura de controle (figura 5.1) foram necessários solucionar problemas mecânicos (estrutura, motores e outros), eletrônicos (controle dos motores), problemas de comunicação de veículo de testes e o controle remoto (programas embarcados) e problemas computacionais.

Foram validados: o equipamento embarcado, sistemas de aquisição, o controle e o aplicativo da telemetria de dados da estação terrestres dentro dos objetivos e requisitos do sistema proposto.

A construção do veículo de testes é um estímulo para o desenvolvimento e construção de veículos autônomos. A principal contrapartida do projeto está na construção dos equipamentos e validação dos sistemas embarcados e como inicialmente foi realizado por poucas pessoas e disposição de tempo limitado, tornou-se uma tarefa complexa e demorada.

Os ensaios com o veículo de testes permitiram ao desenvolvedor do SNAT uma análise das dinâmicas de manobrabilidade e navegação. À medida que se desenvolveram os ensaios, houve aperfeiçoamento e manutenção técnica nos componentes mecânicos, eletrônicos e computacionais feito pelo Grupo de Instrumentação Virtual e Micro processada, do Departamento da Engenharia Elétrica da EESC/USP.

5.2. OS TESTES REALIZADOS PARA A CONSTRUÇÃO DO SNAT

Os testes realizados dividem-se em cinco etapas, descritas a seguir:

Primeiro: Mapeamento da área de navegação.

Os testes do veículo de testes (triciclo) foram realizados por razões logísticas no campo de futebol da USP de São Carlos. Para o SNAT o ambiente de navegação (mapa) é definido por um sistema único de coordenadas. O mapa é uma rede na qual cada célula representa algum espaço no mundo real. Para desenhar o plano da área de navegação, o veículo deu uma volta inteira nesta área obtendo os dados de posição ao longo do trajeto.

As posições do veículo expressadas em latitude e longitude foram coletadas pelo GPS, e convertidas para graus decimais. O mapeamento obtido é mostrado na figura 5.2.

Por exemplo, a latitude $31^{\circ}35.1586'$ convertida em graus decimais:

$$\text{Latitude: } 31^{\circ}35,1586' = 31 + 35,1586 / 60 = 31,5875^{\circ}$$

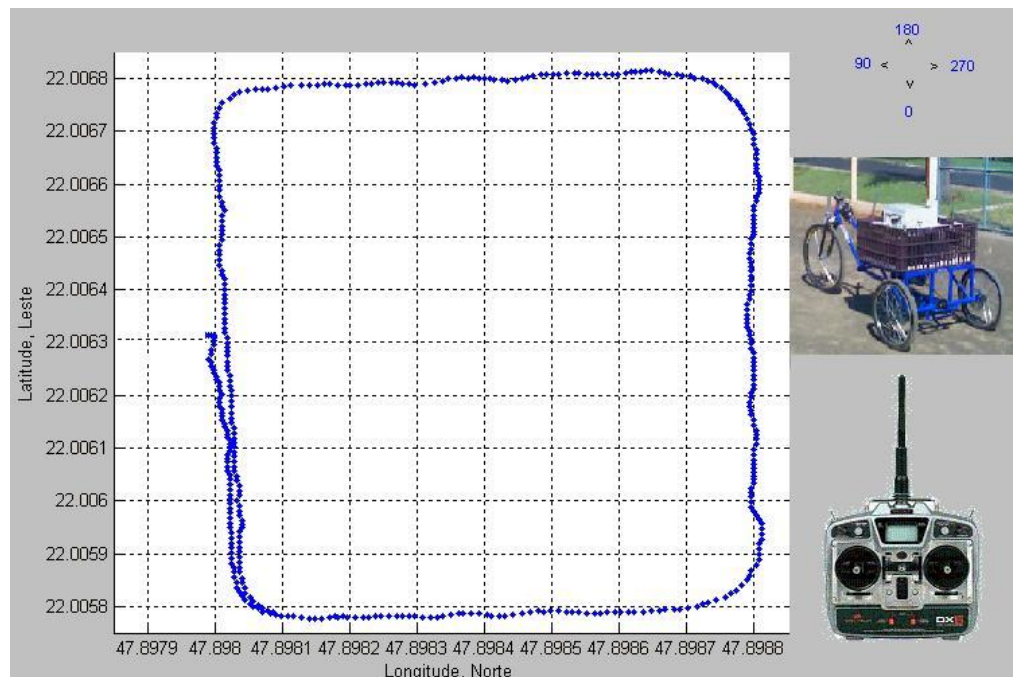


Figura 5.2- Dados das coordenadas capturadas ao redor da área de navegação.

Os limites determinados da área de navegação são os seguintes:

Longitude: no intervalo $[47.89755, 47.89885]$.

Latitude: no intervalo $[22.00575, 22.00685]$.

Considera-se um plano de navegação independente de obstáculos. O SNAT oferece a opção de alterar os limites no mapa de navegação.

Um processo importante no mapeamento de área de navegação foi programar uma função que determina a orientação com os dados do GPS fazendo coincidi-la com a orientação da bússola.

Após os testes se define a orientação do mapa no SNAT, como são ilustrados nas figuras 5.3, e 5.2.

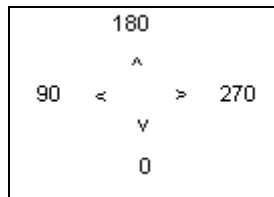


Figura 5.3:- Gráfico que mostra a orientação do mapa no SNAT em função dos dados do GPS e da bússola captados e mapeados ao redor do campo de futebol da USP-SC.

Segundo: Levantamento e análise dos dados dos sensores e atuadores.

Dados de entrada para o SNAT.

Para assegurar a coleta de dados corretos o SNAT solicita uma cadeia de dados de todos os sensores e verifica os caracteres delimitadores I (início) e F (final) para garantir a integridade dos dados. Um exemplo de cadeia de dados recebida é o seguinte:

I0023#2200.35323, S, 04753.88287, W#2.8,351#2077L,1700MF

A figura 4.2 do capítulo anterior apresenta maiores detalhes sobre a cadeia de dados. Cabe ressaltar que é possível solicitar dados de cada sensor individualmente, porém este processo é mais demorado do que solicitar os dados do estado de todos os sensores e atuadores.

Dados da atuação do SNAT no veículo de testes

Existe um erro entre os dados de controle enviados pelo sistema SNAT e o valor controlado pelo micro controlador de bordo do veículo de testes.

São erros de medição nos atuadores do leme e o manche no veículo de testes, segundo Pinheiro (2007)⁵, é usual essas divergências entre o valor medido e o valor real da grandeza medida. Por maior que seja o esmero na medição sempre existe um erro de medição.

Terceiro: A comunicação do SNAT com o veículo de testes.

Observa-se ocasionalmente 2 de cada 100 dados a ocorrência de falhas na recepção de dados na estação terrestre. Para corrigir o problema se solicita re-envios de dados.

⁵ Pinheiro p.c. (2007), Noções Gerais sobre Metrologia, Curso de Pós-Graduação em Energia Nuclear - UFMG.

Quarto: Os ensaios realizados com o SNAT no campo.

Para testar o SNAT considerou-se a área de navegação sem obstáculos.

Na figura 5.4 no item (2.a), o botão “Begin” inicia captura do ponto início da rota, posição inicial do triciclo através dos dados do GPS recebidos deste, também capta a direção inicial dado pela bússola estes dados são mostrados gráfica e literalmente sobre o mapa de navegação e (2.b). A seqüência de pontos pelos quais o veículo deverá navegar pode ser determinada a priori, ou dinamicamente enquanto o veículo estiver em movimento, com o mouse do computador da base sobre as coordenadas cartesianas no item (1) da figura 5.4. No item (3), o botão “Automatic” inicia a navegação do veículo de testes. A cada pacote de dados recebido mostra-se sobre o mapa de navegação a localização do veículo.

Na figura 5.5 na pagina seguinte, se mostra um dos testes de navegação realizados. A posição inicial do veículo é marcada pelo SNAT com (+) no item (1), este ponto é captado quando se pressiona o botão Begin, mostra-se também em (3) as coordenadas iniciais e a orientação inicial do veículo. A seguir, o usuário marca com o mouse do microcomputador o ponto destino mostrado por (o) no item (2). É necessário esclarecer que nem todos os ensaios começaram com uma mesma orientação, este ensaio iniciou-se com a direção inicial de 225° .

Quando se inicia a navegação automática (botão “Automatic”), à medida que o veículo caminha, o sistema SNAT corrige o erro de orientação, paralelamente a distância do deslocamento lateral. Na tabela 5.1 pode-se observar que o erro de orientação ou desvio depois de uma iteração é de -113.76° e o deslocamento lateral são 1.18 metros. A cada iteração o erro de orientação é corrigido, mediante comandos no leme (direção). Considera-se encerrada a navegação no trecho quando a distância objetivo for menor que 3 metros, o veículo de testes alcançou seu destino dentro do radio de tolerância.

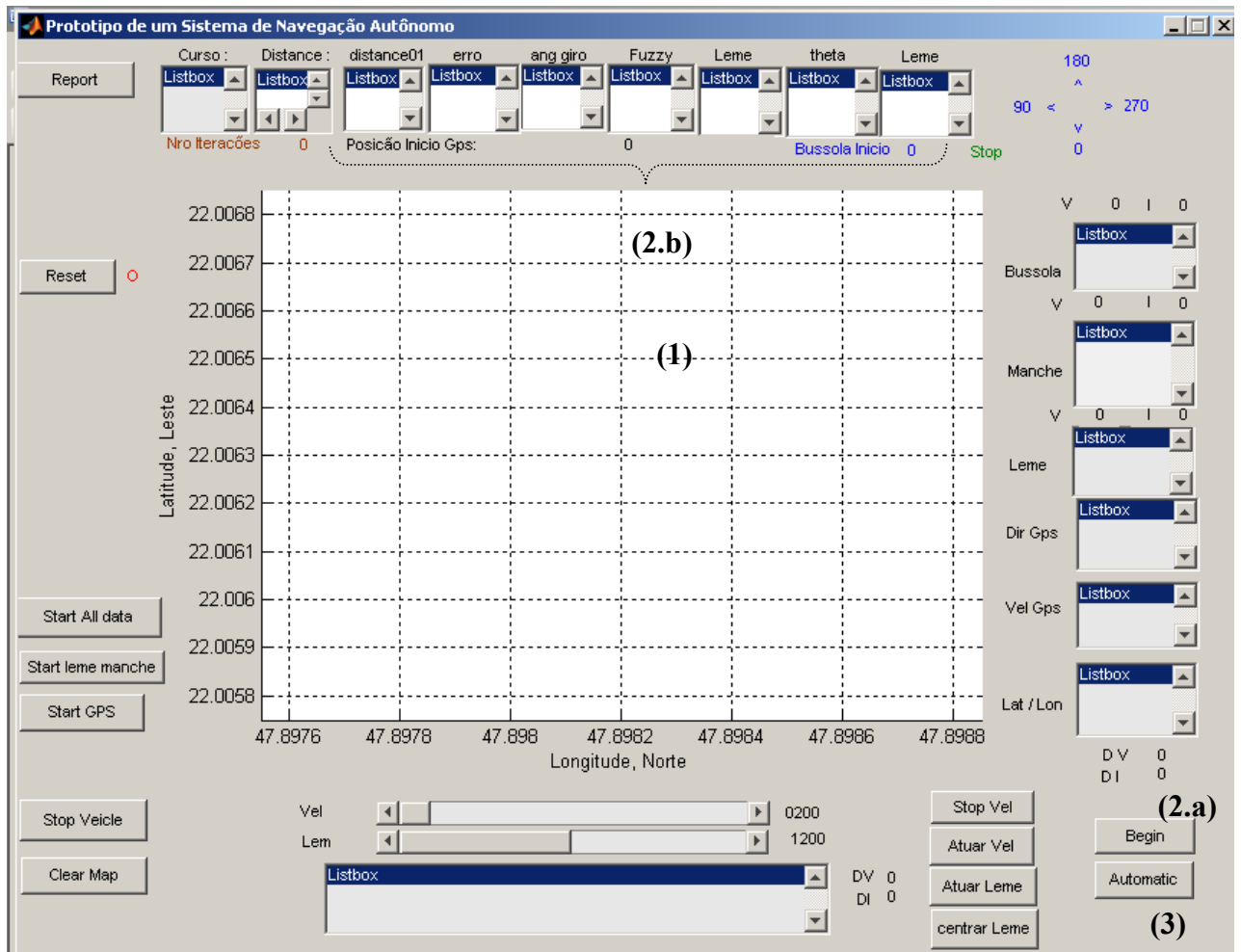


Figura 5.4:- Janela principal do SNAT.

Tabela 5.1–Valores geradas pelo SNAT para o ensaio da figura 5.5. no campo de futebol da USP - SC.

Iteração	Bússola	Orientação GPS	Erro orientação	Deslocamento Lateral	Fuzzy	Leitura do leme	SNAT Leme	Tempo
2	225	108.49	-113.76	1.18	-1.91	2115	1980	20.86
3	222	103.28	-111.76	4.76	-4.00	1857	1911	44.70
4	199	98.85	-88.76	7.66	-5.33	1969	1876	71.54
5	181	94.66	-70.76	10.21	-4.58	1807	1876	101.38
6	153	92.00	-42.76	11.22	-4.36	1941	1911	134.22
7	139	90.57	-28.76	11.28	-4.31	1879	1911	170.06
8	118	90.55	-7.76	10.45	-2.12	1967	1980	208.90
9	115	91.24	-4.76	9.47	1.00	2008	2085	250.74
10	92	96.52	18.24	5.49	3.39	1995	2155	302.58
11	88	99.58	22.24	3.95	3.32	2241	2155	357.42
12	101	101.73	9.24	2.85	3.12	2103	2155	415.26
13	107	103.74	3.24	1.90	1.00	2236	2085	476.10
14	123	103.17	-7.76	1.73	-2.23	2031	1980	539.94
15	120	101.30	-6.76	2.10	1.00	2015	2085	613.78

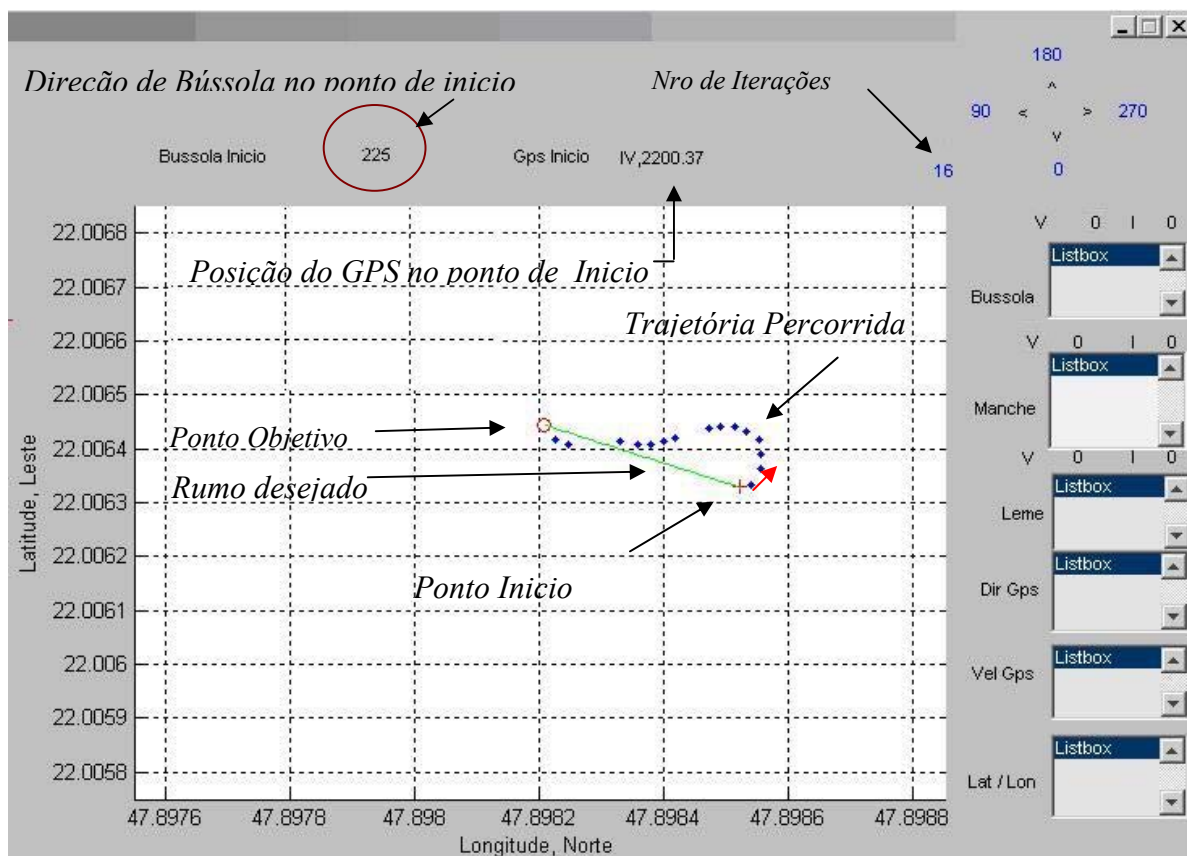
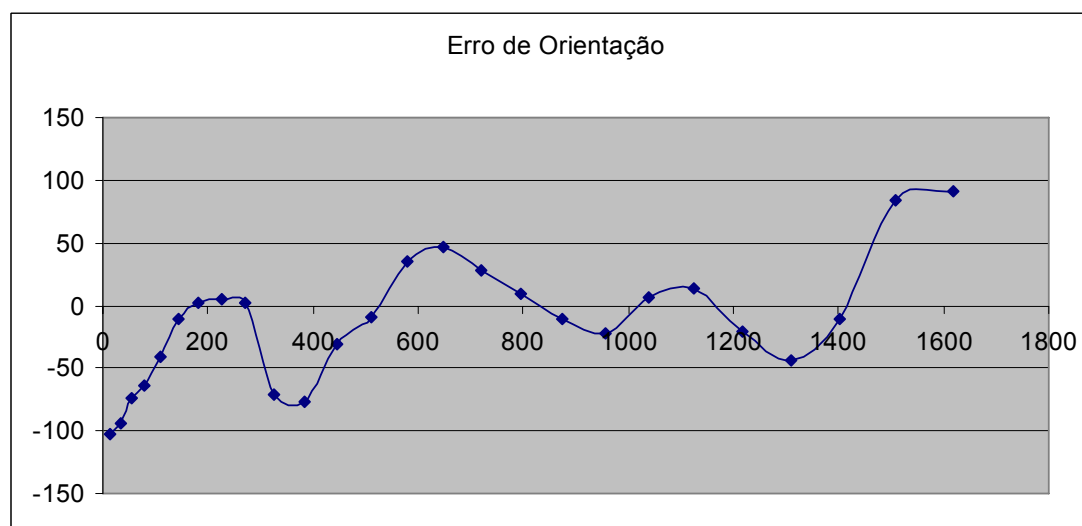


Figura 5.5:- Gráfico que mostra um ensaio. Os pontos azuis representam posições da navegação dirigida automaticamente pelo SNAT no campo de futebol da USP.



r

áfico que mostra o erro de orientação pelo SNAT em função aos dados do GPS e da bússola. Para o exemplo da figura 5.5.

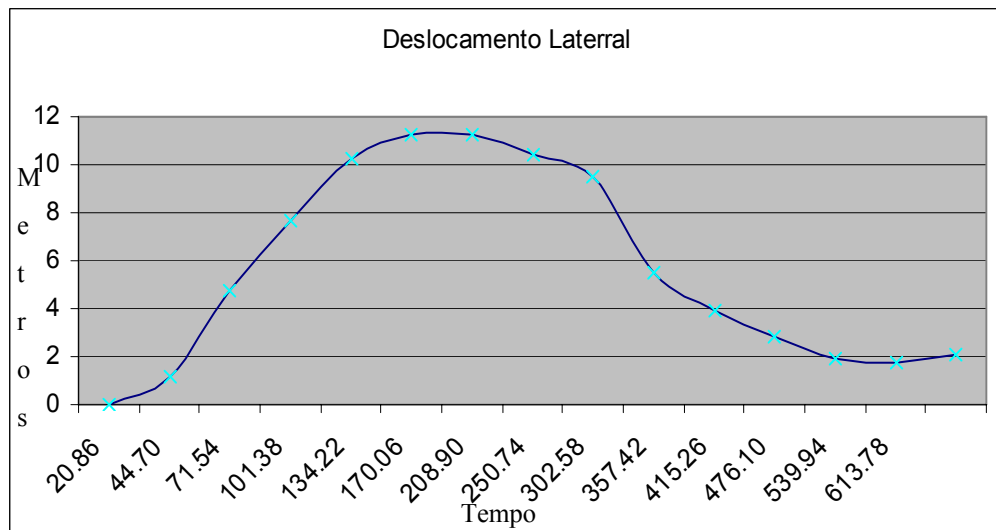


Figura 5. 7:- Gráfico que mostra o deslocamento lateral calculado pelo SNAT Para o exemplo da figura 5.5.

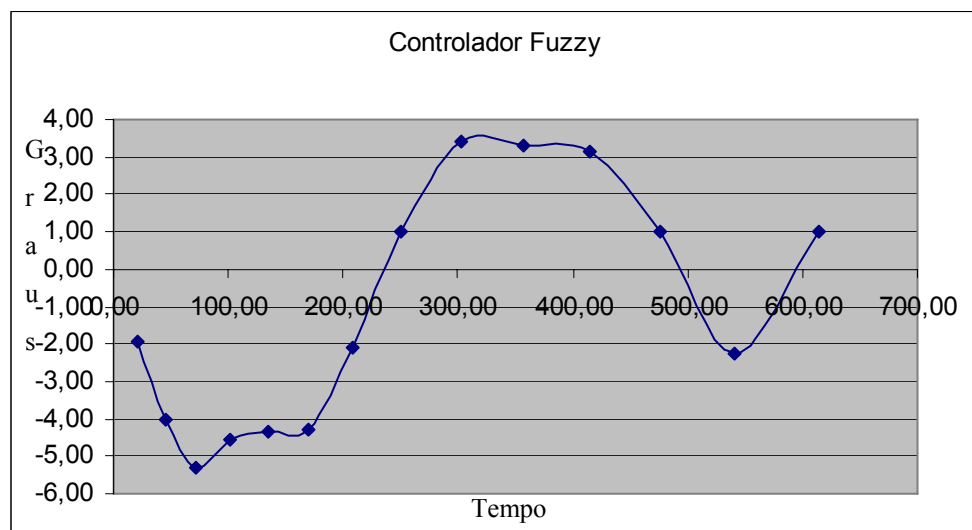


Figura 5. 8:- Gráfico das respostas do controlador fuzzy no SNAT. Para o exemplo da figura 5.5.

Na figura 5.7, Se observa que o deslocamento lateral, se inicia com zero e em cada iteração o sistema SNAT corrige a orientação e também minimiza o deslocamento lateral.

Na figura 5.8, a correção do movimento do veículo pelo sistema SNAT consiste em enviar comandos como virar alguns graus à direita (depende dos erros de deslocamento lateral e de orientação), à esquerda ou manter a direção. Com respeito à velocidade desejada considera a distância percorrida com relação ao objetivo, dessa

forma se transmite a velocidade desejada. Os comandos recebidos pelo veículo de testes atuam sobre os sistemas de direção e controle de velocidade deste.

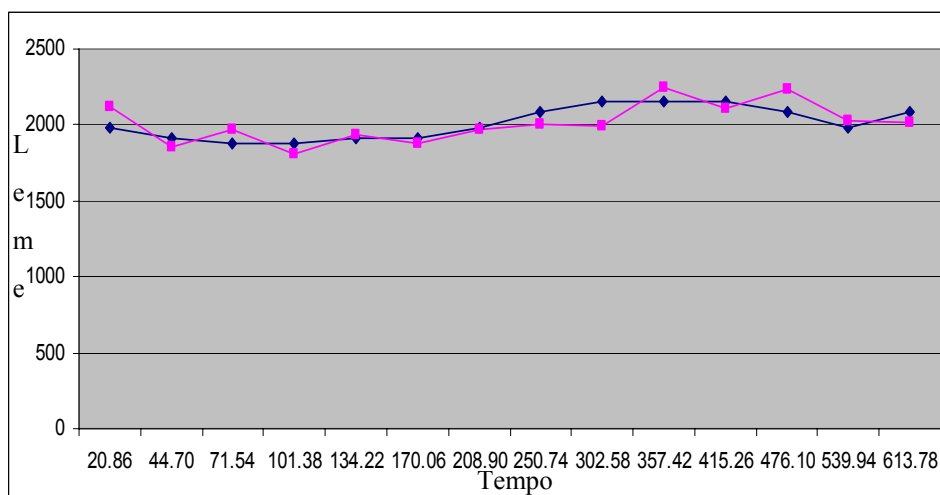


Figura 5. 9:- Gráfico que mostra a leitura do atuador leme no veículo de testes (linha rosa-) em comparação ao dado que gera o SNAT(linha azul-).

5.3. CONCLUSÃO

Neste capítulo foram apresentados alguns resultados referentes à navegação do veículo de testes, que serão no futuro incorporados ao sistema PACODAH. Este sistema tem sido utilizado para controle do triciclo reproduzindo, com fidelidade, sua dinâmica e todo o conjunto de sensores existentes em situações reais.

Os ensaios descritos neste capítulo confirmam o uso da técnica de controle mediante a lógica difusa para guiar o veículo de testes.

Capítulo 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE CONTINUIDADE DO TRABALHO

1. Conclusões gerais.

A construção do veículo de testes pelo laboratório de instrumentação eletrônica do Departamento de Engenharia Elétrica/EESC-USP é um estímulo ao desenvolvimento e construção de veículos autônomos para aplicações específicas. As soluções adotadas neste projeto serviram aos propósitos de desenvolvimento acadêmico e poderão ser incorporadas em futuros desenvolvimentos.

Como principais contribuições deste trabalho de mestrado validaram-se os sistemas eletrônicos, mecânicos, os programas embarcados do veículo autônomo de testes e desenvolveu-se um sistema de controle de navegação autônomo, baseado em lógica difusa ao qual denominamos SNAT. O sistema SNAT fica localizado em um computador em uma base remota e se comunica com o veículo de testes através de telemetria de dados. O SNAT é capaz de conduzir o veículo de testes até o ponto desejado utilizando dados dos sensores no veículo de testes e atuando sobre na sua direção e velocidade.

Os sensores utilizados para determinação do posicionamento do veículo e da direção do movimento foram o receptor GPS e a bússola eletrônica. O GPS e a bússola são equipamentos complementares em suas funções, pois o primeiro indica a posição do veículo e o outro mostra a direção da navegação. Embora estes sensores tenham servido para validação da metodologia desenvolvida, os modelos utilizados

apresentam restrições de sensibilidade e precisão como todo sensor odométrico. Para dar continuação ao projeto se sugere ter em consideração dois erros que apresenta o uso de uma bússola magnética:

1ª - a declinação magnética, que corresponde à diferença entre norte verdadeiro (orientação do meridiano do local) e o norte magnético (orientação para onde aponta a agulha de uma bússola sem desvios). Os valores da declinação magnética são variáveis dependendo da região geográfica e da época.

2ª – o desvio da bússola depende das influências dos materiais ferrosos que existem no veículo onde a bússola foi instalada. Todo o veículo que possui uma bússola instalada deve possuir também um gráfico que expressa uma curva de desvios, construída empiricamente e especialmente para a instalação daquele instrumento no local escolhido.

O GPS, comparado com outros métodos tem precisão limitada, mas abrange toda a terra. Seria possível melhorar a precisão da determinação do posicionamento utilizando sistemas com correção eletrônica, os chamados DGPS. Com relação à bússola se configurou para fornecer rumo verdadeiro pode até mesmo se constituir em algo perigoso, já que potencialmente ele passa a adquirir um fator de erro que não haveria com a utilização de um giroscópio, entretanto o custo destes equipamentos é caro e ficaram fora do escopo deste projeto.

A utilização de sensores melhores assim como a incorporação de outros sensores como sensores inerciais poderá melhorar consideravelmente o processo de controle da navegação.

Outro inconveniente foi a diferente taxa de transmissão dos dados dos sensores para o SNAT. O GPS apresenta os dados de posicionamento a cada um segundo, a bússola apresenta os dados de direção a cada meio segundo e os sensores de posição do leme (direção) e da velocidade a uma taxa de 10 por segundo. No sistema desenvolvido se solicita a cadeia com todos os dados, que é recebida a cada um segundo, não se aproveita ao máximo a taxa de transmissão da bússola do leme e do manche. As diferentes taxas de transmissão dos sensores acabam influenciando na entrada dos dados para o SNAT.

Apesar das suas limitações, o sistema SNAT consegue ter o controle da navegação autônoma do veículo como foi mostrado nos testes realizados no capítulo anterior e no apêndice. Cabe mencionar que na maioria dos testes realizados o veículo, aproximou-se do ponto objetivo. Em algumas situações o veículo não atingiu o ponto objetivo por limitações do processamento e por erro no recebimento dos dados dos sensores.

O sistema desenvolvido neste trabalho é uma ferramenta importante para o desenvolvimento de controle de navegação difuso de veículos autônomos independente do modelo físico e matemático. A utilização de lógica difusa no sistema desenvolvido permitiu controlar a navegação do veículo de testes em função da experiência do desenvolvedor do SNAT. O controlador desenvolvido é flexível de adaptar-se ao controle de outros veículos operando em condições similares às utilizadas para o veículo de testes.

Cabe mencionar que além dos problemas citados outros ocorreram que dificultaram a obtenção dos resultados, entre eles: problemas eletrônicos de acionamento do veículo, problemas mecânicos nos sistemas de tração e controle da direção e problemas elétricos como falhas devido a problemas e carga inadequada das baterias no veículo.

2) Sugestões para trabalho futuros

O piloto automático implementado apresentou grande sensibilidade em seu esforço no controle do leme e o manche. Devem ser feitos mais ensaios para melhorar a sintonia do mesmo.

Os dados do leme e o manche no ensaio em repouso apresentam erros superiores aos previstos pelo grupo de pesquisa, sendo desejável a realização de mais ensaios com este equipamento em separado visando uma aferição mais precisa dos desvios.

A fusão sensorial de dois sensores para posição e dois sensores para direção

forneceria uma base de conhecimento mais precisa mais robusta em comparação às bases individuais de cada sensor.

A utilização de sensores (posição direcionamento) mais sensíveis e mais rápidos poderia melhorar consideravelmente o controle da navegação. Também seria possível melhorar a precisão dos atuadores (velocidade e direção) no acionamento dos controles de velocidade e direção no veículo de testes.

Também podem ser desenvolvidos sistemas auxiliares para monitoramento dos sistemas eletrônicos embarcados no veículo de testes, como sensores de tensão de bateria e sistemas de auto-teste para os sistemas eletrônicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APOLINARIO, P. F. (2005), **Telemetria de Dados e Imagens para Plataforma Autônoma para Coleta de Dados Hidrológicos. Múltiplos Robôs moveis autônomos em una estrutura cooperativa**, Dissertação (mestrado) apresentada à engenharia de sistemas do Instituto Militar de Engenharia de Rio de Janeiro, 2006.
- AYRES S. A., (2006), **Telemetria de Dados e Imagens para Plataforma Autônoma para Coleta de Dados Hidrológicos**. Dissertação (mestrado) apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2006.
- BROWN R. HWANG P. (1997) **Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering** (Third Edition), by John Wiley & SONS, Inc. Copyright 1997
- BORG, I.; GROENEN, P. (2005). **Modern Multidimensional Scaling: Theory and Applications**. Second Edition. Springer Press, 2005.
- CORTES P. J. R. NASCIMENTO J. C. L Controle Fuzzy Para Braço Robótico Utilizando A Abordagem Adaptativa Neuro-Fuzzy (Anfis) Do Matlab **artigo de Divisão de Engenharia Mecânica Aeronáutica**. Em: VIII ENCITA, 2002, São José dos Campos, 2002.
- CRESTANI JUNIOR, P.R, FIGUEIREDO, M.F., VON ZUBEN, F.J. (2001) Controlador neural fuzzy autônomo de direção e velocidade para robôs móveis. In: **V Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2001**, Canela.V Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. Porto Alegre: UFRGS, 2001.
- CRESTANI J. P. R. (2001). **Uma Abordagem Modular e Hierárquica com Novos Mecanismos de Memória e Aprendizagem**. Dissertação (mestrado) Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial (DCA). Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC). Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), SP, Brasil, 2001

- CRESTANI, P.R., FIGUEIREDO, M.F., VON ZUBEN, F. J.(2002) Sistemas Inteligentes de Navegação Autônoma: Uma Abordagem Modular e Hierárquica Com Novos Mecanismos de Memória e Aprendizagem In: **XXII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (SBC 2002)**, Concurso de Teses e Dissertações (CTD 2002), 2002, Florianópolis. Anais do XXII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (SBC 2002). v.1. p.599 - 604, 2002.
- CAZANGI, R.R. VON ZUBEN, F. J.; FIGUEIREDO, M. F. (2005) Autonomous Navigation System Applied to Collective Robotics with Ant-Inspired Communication. **Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO)**, Washington D.C. Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, **2005**.
- DADONE P.(2001), **Design Optimization of Fuzzy Logic Systems**. PhD Dissertation, Virginia Polytechnic Institute, p. 87-93. Blacksburg, Virginia. Maio, 2001
- FABRO, J.A; GOMIDE, F. A. C. (1996). **Self Organizing Neuro-Fuzzy Control of Complex Systems** Applied Mathematics And Computer Science. Applied Mathematics and Computer Science, v. 6, n. 3, p. 581-594, 1996.
- FOSSEN, T. I. (1994). **Guidance and Control of Ocean Vehicles**. John Wiley & Sons, p. 494, 1994.
- FOSSEN, T. I. (2002). **Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships**. Guidance, Navigation, and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles, Marine Cybernetics, Trondheim, 2002.
- FRACASSO, P. T.; COSTA, A H R(2005). Navegação Reativa de Robôs Móveis Autônomos Utilizando Lógica Nebulosa com Regras Ponderadas. In: **VII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2005, São Luís - Matogrosso**. 2005.

- GUERRA, M.R. (2002). **Estudo de um Sistema de Controle para um Dirigível Autônomo**. Dissertação (graduação) - Tecnólogo em Processamento de Dados PUC – Rio, 2002.
- HASENACK, et. al., Notas de aula, na Universidade Federal do Rio Grande do sul. Porto Alegre. <http://www.mda.gov.br/saf/arquivos/1024115506.pdf>. acessado em 15-06-2009
- MCKERROW, P. J.. **Introduction to robotics**. Sydney: Addison-Wesley,. 881p., 1991
- MCCOMB, G. **The robot builder's bonanza: 99 inexpensive robotics projects**. New York: TAB Books. 326p, 1987.
- NERIS, L. O. (2001) **Um piloto automático para as aeronaves do Projeto ARARA**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Matemáticas e da Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- NERIS, L. O. (2007) **Método de extração da posição de máquinas agrícolas por visão computacional baseado em redes pulsadas e ponto de fuga**. Dissertação (doutor) - Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- PATRICK M. J.,(2006). **Control and Waypoint Navigation of an Autonomous Ground Vehicle** Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of MASTER OF SCIENCE. May 2006.
- KLIR G.J. YUAN B(1995). **Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and applications**, Prentice Hall, 1995
- SMITHERS, T. (1997). **Autonomy in robots and other agents**. Brain and Cognition, 34, Academic Press. All rights reserved, Copyright 1997.
- VANECK, T.W. (1997). **Fuzzy Guidance Controller for an Autonomous Boat**. IEEE Control Systems Magazine, pp. 43-51, 1997.

- VIEIRA S R. (1999). **Protótipo De Um Sistema De Monitoramento Remoto Inteligente**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Produção - da Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis, 1999.
- VIEIRA S R. (2006). **Robô Agrícola Móvel (RAM): Uma Arquitetura para Desenvolvimento de Tecnologias e para Aquisição de Dados em Agricultura de Precisão**. Dissertação de Doutorado em Engenharia Mecânica - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2006.
- VELAGIC J. ZORAN V, EDIN O, 2005. **Adaptive Fuzzy Ship Autopilot for Track-Keeping**. Control Engineering Practice, 2005.
- VELAGIC J. VUDIC Z, OMERDIC E, 2003. **Adaptive Fuzzy Ship Autopilot For Track-Keeping**. Control Engineering Practice April 2003.
- ZADEH,L.A. (1965),. **Fuzzy Sets: Information and Control**, Capítulo 8, 338-352.
- ZADEH, L.A. (1973) **Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes**, IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics, Vol. SMC-3, No. 1, January 1973, pp. 28-44.
- ZIMMERMANN, H. J. 1991, **Fuzzy set theory and its applications**. Second Edition, Kluwer. Academic Publishers, Boston, MA, 1991.
- WILLIAMS ED **Aviation Formulary V1. 43.** <http://williams.best.vwh.net/avform.htm>. Acesso em 25 junho, 2008.

APÊNDICES

Apêndice 1: Resultados de testes de navegação realizados com o veículo autônomo no campo de futebol da USP - São Carlos.

Primeiro. - Teste da direção do leme com o veículo parado (controle da velocidade desativado). Simula-se dirigir o veículo de testes com rumo na direção de 0° a linha verde da figura 0.1, a direção inicial do veículo mostrada pela bússola é 115° .

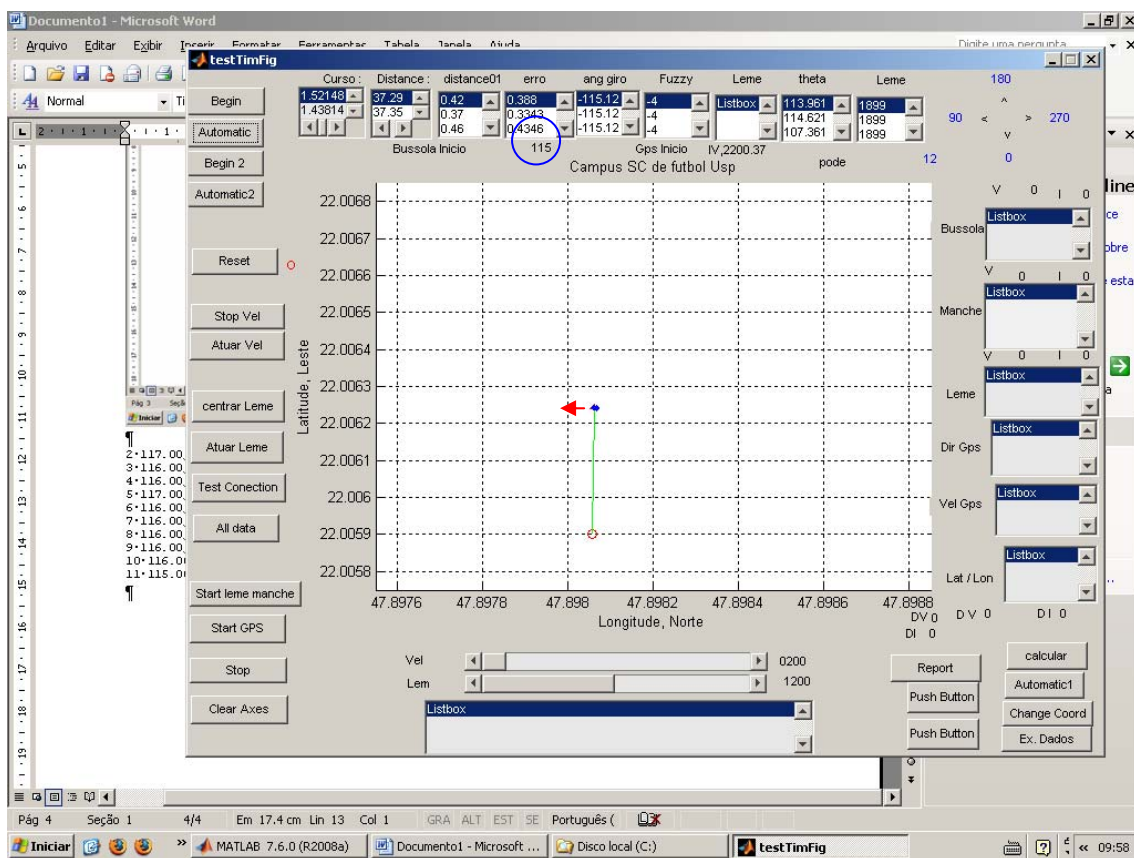


Figura. 0.1:- Gráfico que mostra o rumo de navegação (-) a zeta vermelha é a direção do veículo de testes no campo de futebol da USP-SC

Tabela 0.1 – Valores da orientação do triciclo feito pelo SNAT, para o exemplo da figura 0.1.

Iteração	Bússola	Orientação GPS	Erro orientação	Deslocamento Lateral	Fuzzy	Leitura do leme	SNAT Leme	Tempo
3	115	0.68	-114.12	0.15	-3.78	1812	1899	92.68
4	114	0.96	-113.12	0.09	-3.78	1944	1899	149.53
5	114	1.13	-113.12	0.18	-3.79	1776	1899	211.38
6	116	1.21	-115.12	0.17	-3.77	1928	1899	286.23
7	114	1.35	-113.12	0.27	-3.79	1839	1899	366.07
8	116	1.47	-115.12	0.36	-3.79	1943	1899	453.91
9	115	1.5	-114.12	0.37	-3.8	1829	1899	546.75
10	116	1.58	-115.12	0.43	-3.79	1931	1899	651.59
11	116	1.44	-115.12	0.33	-3.78	1780	1899	765.43
							EQM	67.667

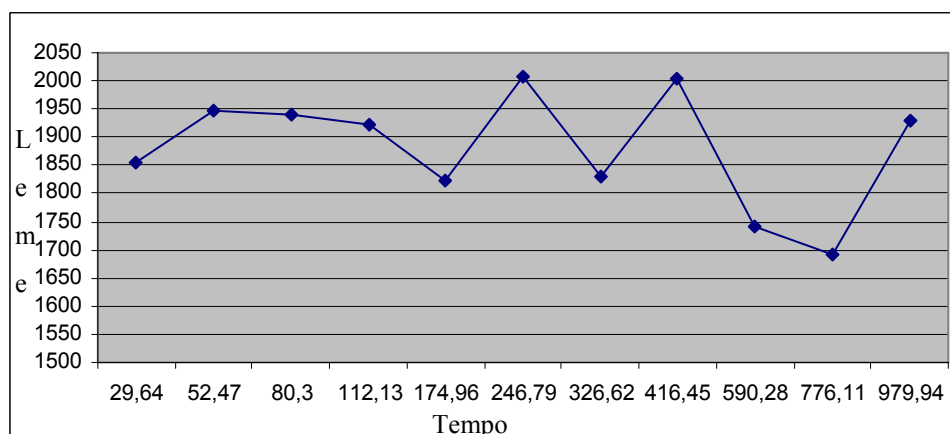


Figura. 0.2.- Gráfico que mostra oscilações do leme quando o veículo está estático, os dados provem da tabela 0.1 das colunas tempo e leitura do leme no veículo de testes.

Na tabela 0.1, observa-se que o SNAT envia o dado 1899 (porque o veículo está estático) pelo lapso de 765.74 segundos em 11 iterações, as respostas do leme no veículo são pouco estáveis, oscilam como se mostra no gráfico 0.2. Outro erro aleatório se observou no campo de teste que ocasionalmente o leme giro a roda de 360°.

Com estes ensaios no campo de futebol da USP – SC se pode prever desde já

alguns desacertos na direção automática do veículo feito pelo SNAT.

Os erros de medição nos atuadores do leme e o manche no veículo de testes, segundo Pinheiro (2007) ⁶, são usuais essas divergências entre o valor medido e o valor real da grandeza medida. Por maior que seja o esmero na medição sempre existe um erro de medição. Este erro pode ser devido à utilização de métodos e equipamentos impróprios ou defeituosos, às variações nas condições de medição, entre outras causas.

Segundo. - Para conseguir um controlador difuso estável, se teve que ajustar manualmente vários ensaios com veículo de testes na área de teste, como se observa no ensaio um na figura 1.1.

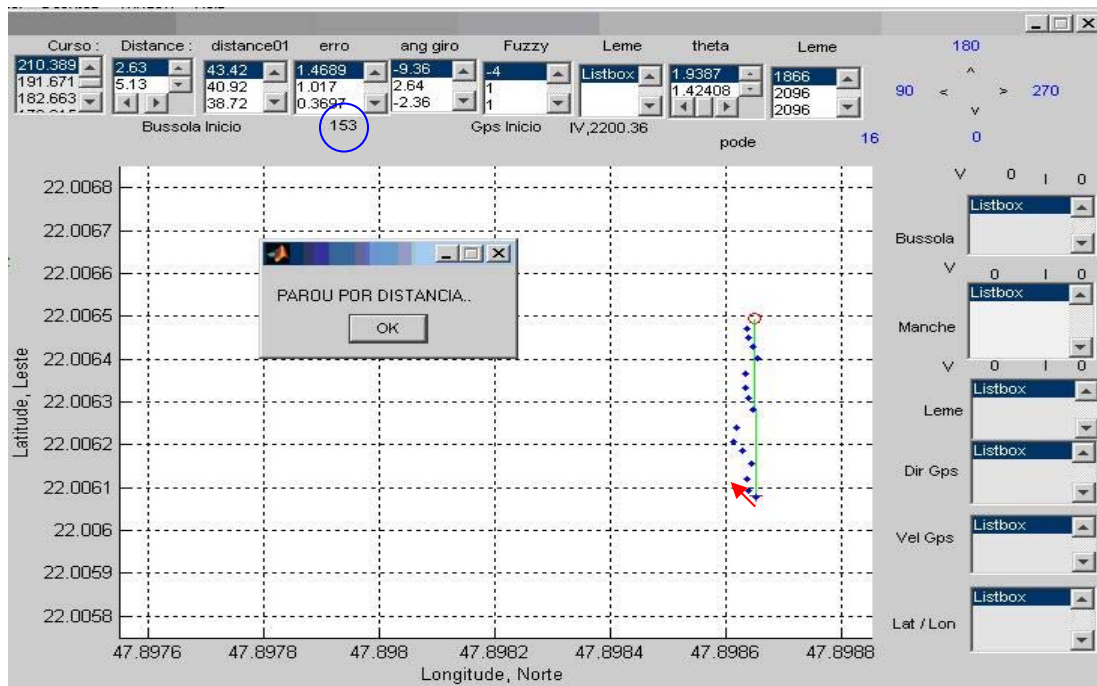


Figura. 1.1:- Gráfico que mostra as posições de navegação automática feito pelo SNAT no campo de futebol da USP-SC.

⁶ Pinheiro p.c. (2007), Noções Gerais sobre Metrologia, Curso de Pós-Graduação em Energia Nuclear - UFMG.

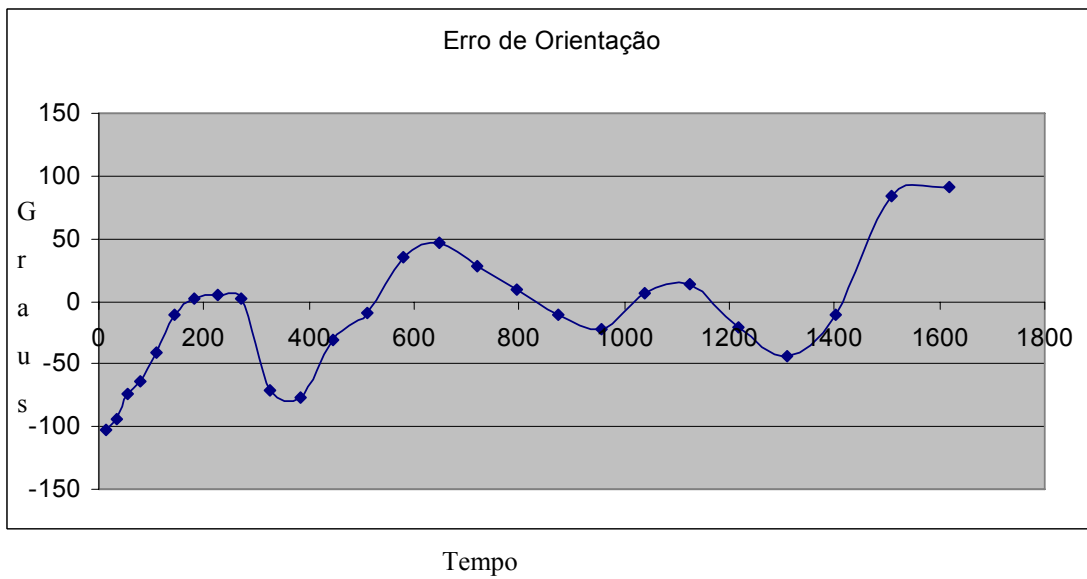


Figura 1.2:- Gráfico que mostra o erro de orientação pelo SNAT em função aos dados do GPS e a bússola, para o exemplo que esta na figura 1.1.

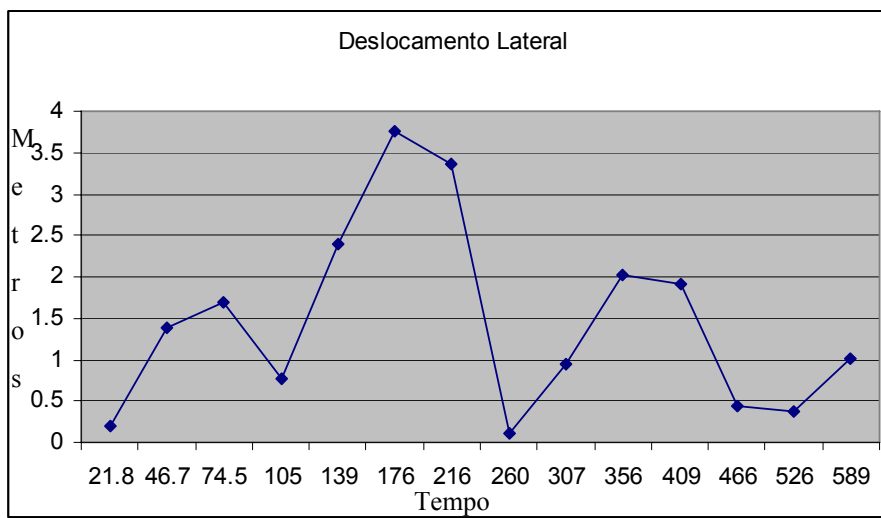


Figura 1.3.- Gráfico que mostra o deslocamento lateral calculado pelo SNAT, para o exemplo que esta na figura 1.1.

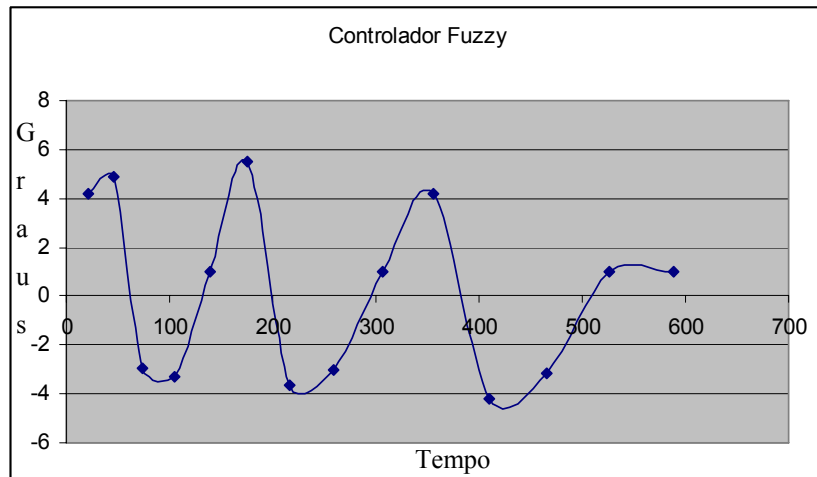


Figura 1.4.- Gráfico das respostas do controlador fuzzy feito pelo SNAT para o exemplo que esta na figura 1.1.

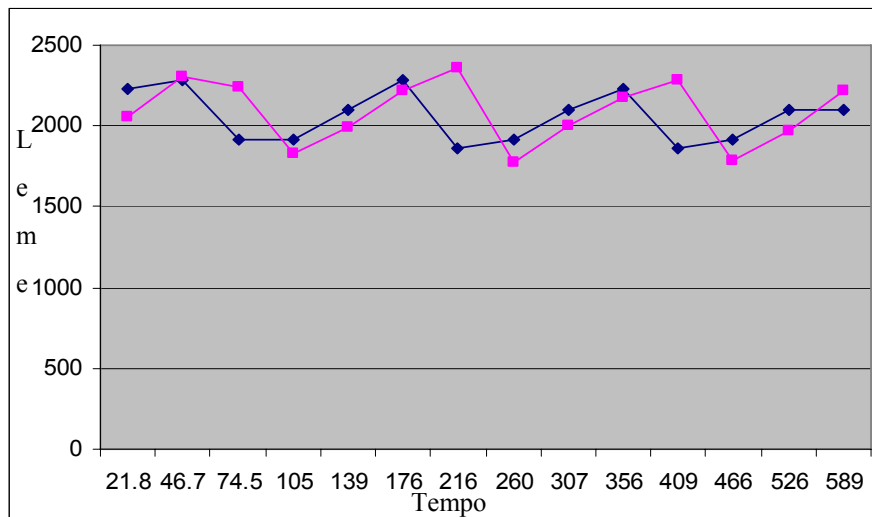


Figura 1.5. Gráfico que mostra a leitura do leme e a atuação do leme feito pelo SNAT, para o exemplo da figura 1.1.

Tabela 1 – Valores da orientação do triciclo feito pelo SNAT, para o exemplo da figura 1.1.

Iteração	Bússola	Orientação GPS	Erro orientação	Deslocamento Lateral	Fuzzy	Leitura do leme	SNAT Leme	Tempo
2	157	179.89	22.64	0.2	4.2	2056	2234	21.84
3	165	181.56	14.64	1.38	4.86	2307	2280	46.68
4	185	182.16	-5.36	1.69	-2.98	2238	1912	74.52
5	195	180.91	-15.36	0.78	-3.33	1827	1912	105.36
6	175	183.93	4.64	2.39	1	1991	2096	139.19
7	170	186.89	9.64	3.75	5.49	2224	2280	176.03
8	187	186.92	-7.36	3.37	-3.62	2359	1866	215.87
9	221	179.93	-41.36	0.1	-3.05	1778	1912	259.71
10	176	182.5	3.64	0.95	1	2007	2096	306.55
11	174	186.61	5.64	2.02	4.17	2174	2234	356.39
12	189	187.78	-9.36	1.91	-4.19	2283	1866	409.23
13	220	176.91	-40.36	0.44	-3.15	1790	1912	466.07
14	182	182.66	-2.36	0.37	1	1967	2096	525.91
15	177	191.67	2.64	1.02	1	2215	2096	588.75

A seguir são apresentados resultados de alguns testes de navegação realizada com um controlador difuso calibrado em muitas ocasiões. Para cada teste são apresentados: o gráfico que mostra: as posições de navegação na tela do SNAT, outro mostra o erro de orientação, mostra o deslocamento lateral, as respostas do controlador difuso, o gráfico que mostra a leitura do leme e a atuação sobre o leme e uma tabela com os dados de orientação do veículo de testes.

Ensaio 2

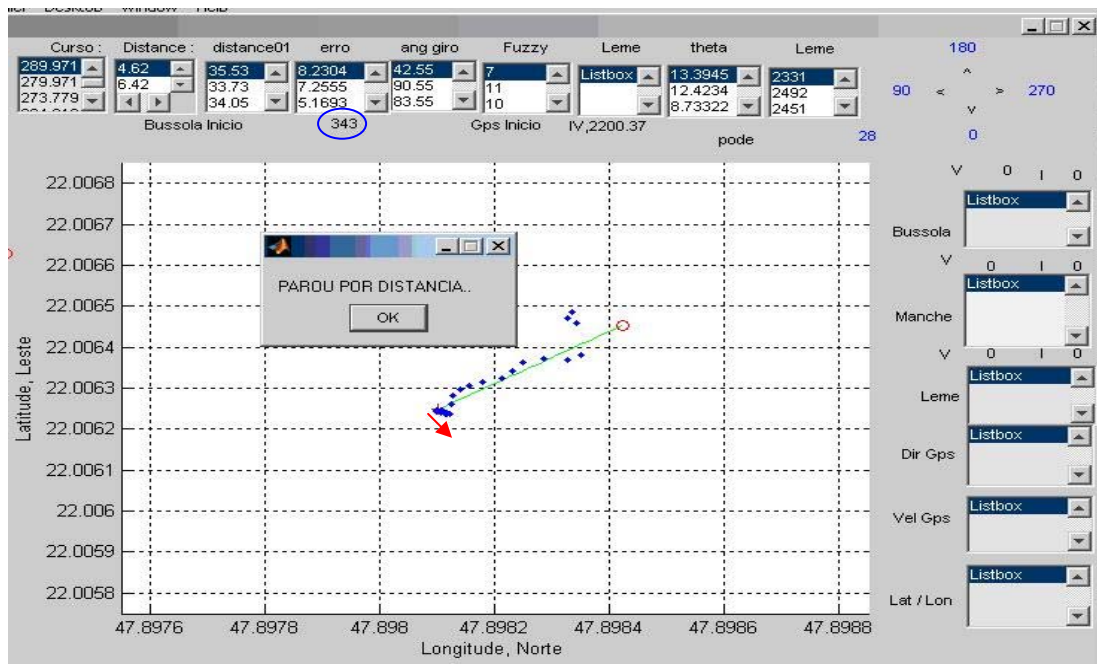


Figura.2.1:- Gráfico que mostra as posições de navegação automática feito pelo SNAT no campo de futebol da USP-SC.

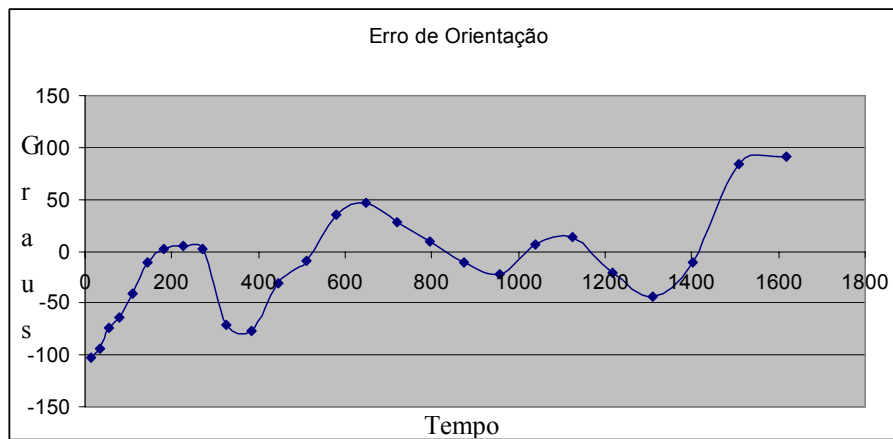


Figura 2.2:- Gráfico que mostra o erro de orientação pelo SNAT em função aos dados do GPS e a bússola, para o exemplo que esta na figura 2.1.

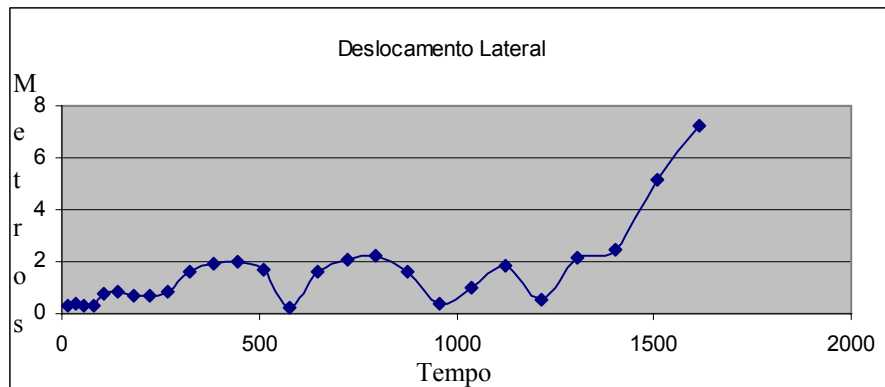


Figura 2.3:- Gráfico que mostra o deslocamento lateral pelo SNAT em função aos dados do GPS e a bússola, para o exemplo que esta na figura 2.1.

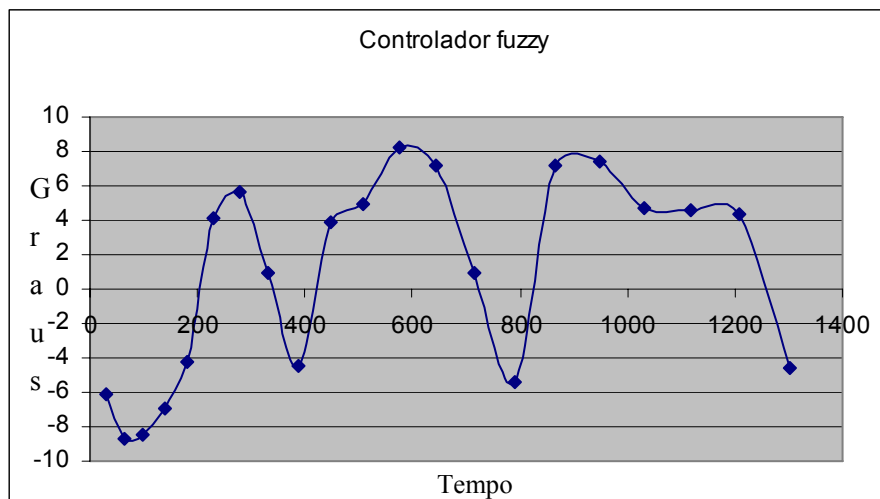


Figura 2.4:- Gráfico das respostas do controlador fuzzy feito pelo SNAT para o exemplo que esta na figura 2.1.

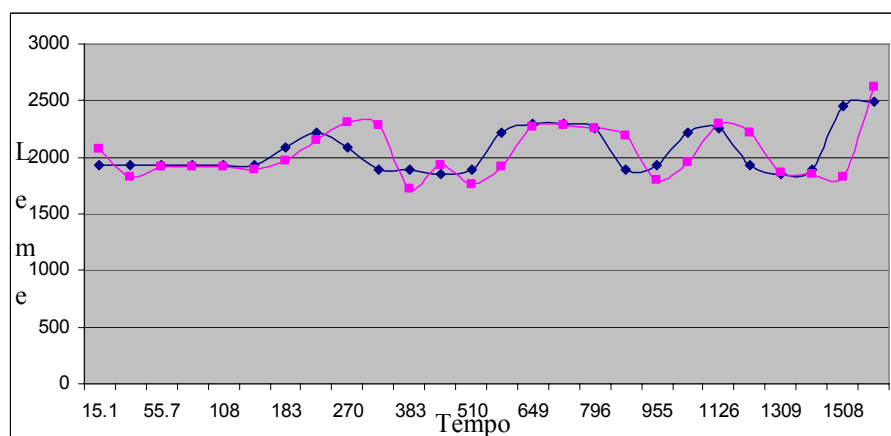


Figura 2.5. Gráfico que mostra a leitura do leme e a atuação do leme feito pelo SNAT, para o exemplo da figura 2.1.

Tabela 2.5:- Valores da orientação do triciclo feito pelo SNAT, para o exemplo da figura 2.1.

Iteração	Bússola	Orientação GPS	Erro orientação	Deslocamento Lateral	Fuzzy	Leitura do leme	SNAT Leme	Tempo
2	340	237.09	-102.45	0.34	-3.32	2069	1930	15.05
3	332	237.08	-94.45	0.35	-3.23	1824	1930	33.89
4	312	237.15	-74.45	0.29	-3.1	1920	1930	55.73
5	302	237.09	-64.45	0.33	-3.21	1919	1930	79.57
6	279	236.45	-41.45	0.8	-3.35	1915	1930	108.41
7	249	236.41	-11.45	0.83	-3.33	1888	1930	144.25
8	235	236.58	2.55	0.7	1	1964	2090	183.09
9	232	236.54	5.55	0.73	4.14	2154	2211	224.93
10	235	236.39	2.55	0.83	1	2303	2090	269.77
11	309	235.29	-71.45	1.62	-4.26	2287	1889	324.61
12	314	234.91	-76.45	1.89	-4.29	1720	1889	383.45
13	268	234.74	-30.45	1.98	-5.04	1933	1849	445.29
14	247	235.16	-9.45	1.69	-3.97	1758	1889	510.13
15	202	237.17	35.55	0.26	4.18	1919	2211	577.97
16	191	240.01	46.55	1.58	5.54	2275	2291	648.81
17	210	240.98	27.55	2.1	5.66	2283	2291	721.65
18	228	241.33	9.55	2.2	5.47	2263	2251	796.49
19	249	240.54	-11.45	1.6	-4.24	2191	1889	874.33
20	260	238.34	-22.45	0.38	-3.13	1804	1930	955.17
21	231	239.97	6.55	1.01	4.29	1955	2211	1039.01
22	224	242.57	13.55	1.84	5.43	2292	2251	1125.85
23	258	239.47	-20.45	0.57	-3.21	2215	1930	1215.69
24	281	228.71	-43.45	2.15	-4.95	1863	1849	1308.53
25	248	224.92	-10.45	2.47	-4.5	1851	1889	1403.37
26	154	273.78	83.55	5.17	9.64	1831	2451	1508.21
27	147	279.97	90.55	7.26	10.72	2616	2492	1617.05

Ensaio 3

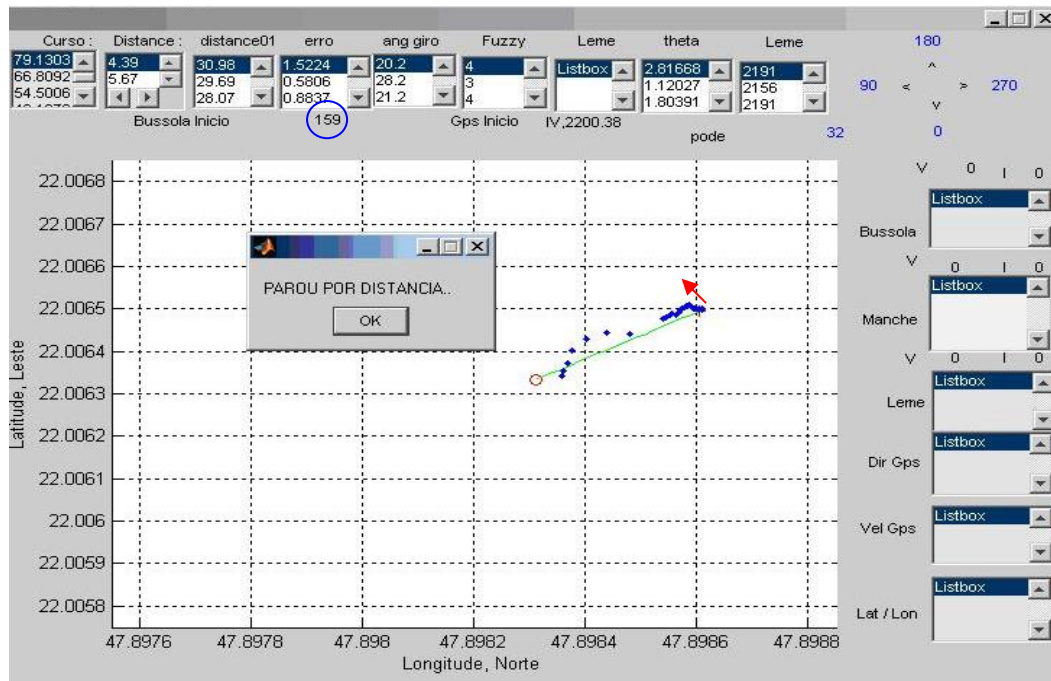


Figura. 3.1:- Gráfico que mostra as posições de navegação automática feito pelo SNAT no campo de futebol da USP-SC.

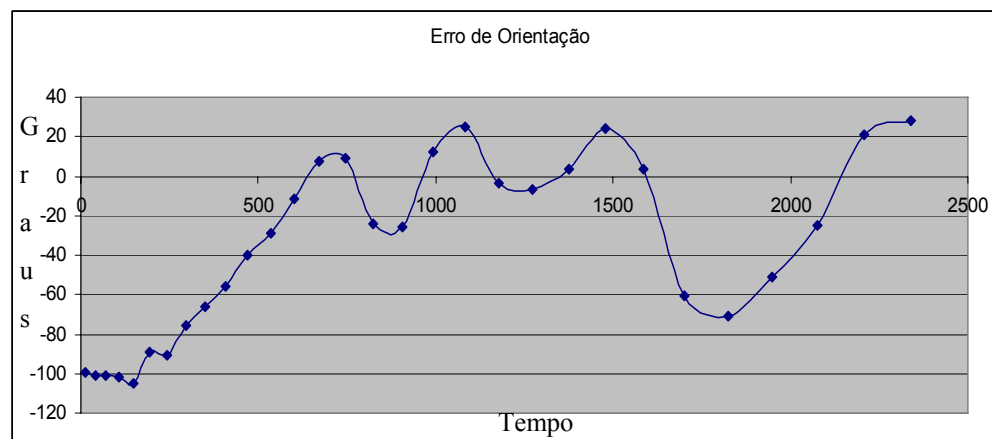


Figura 3.2:- Gráfico que mostra o erro de orientação pelo SNAT em função aos dados do GPS e a bússola, para o exemplo que esta na figura 3.1.

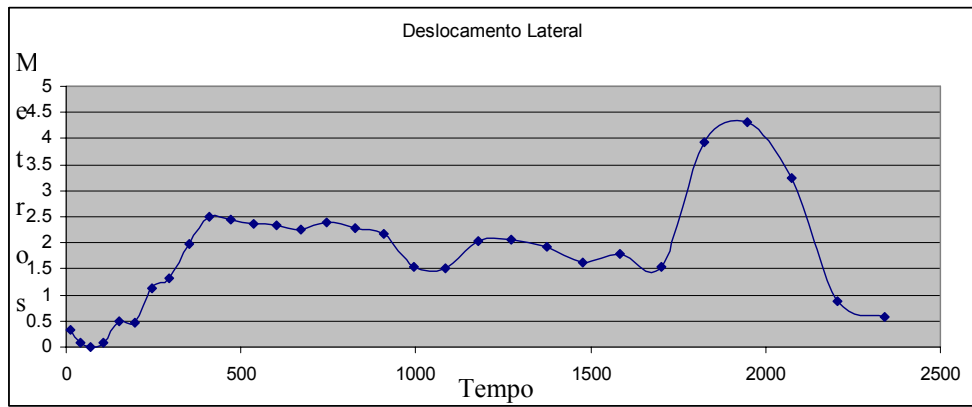


Figura 3.3:- Gráfico que mostra o deslocamento lateral pelo SNAT em função aos dados do GPS e a bússola, para o exemplo que esta na figura 3.1.

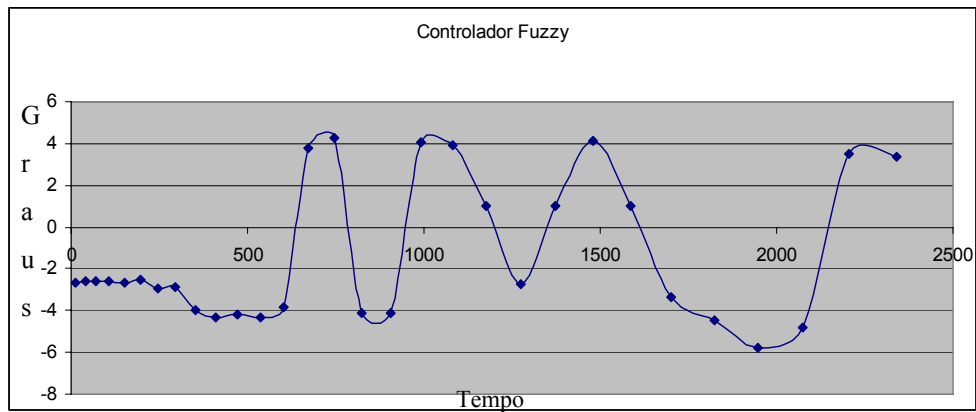


Figura 3.4:- Gráfico as respostas do controlador fuzzy feito pelo SNAT para o exemplo que esta na figura 3.1.

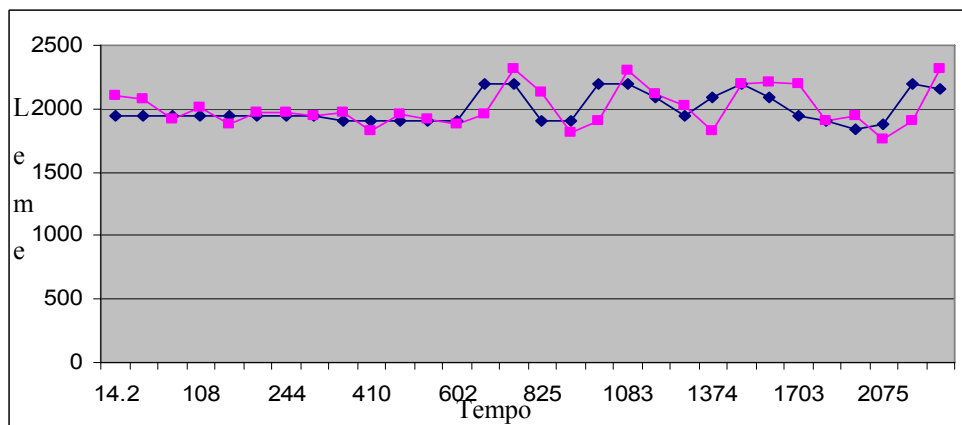


Figura 3.5. Gráfico que mostra a leitura do leme e a atuação do leme feito pelo SNAT, para o exemplo da figura 3.1.

Tabela 3 – Valores da orientação do triciclo feito pelo SNAT, para o exemplo da figura 3.1.

Iteração	Bússola	Orientação GPS	Erro orientação	Deslocamento Lateral	Fuzzy	Leitura do leme	SNAT Leme	Tempo
2	161	60.7	-99.8	0.32	-2.63	2103	1944	14.23
3	162	61.06	-100.8	0.08	-2.61	2080	1944	39.4
4	162	61.32	-100.8	0	-2.61	1922	1944	68.55
5	163	61.14	-101.8	0.08	-2.62	2007	1944	107.71
6	166	60.45	-104.8	0.49	-2.65	1882	1944	149.88
7	150	60.51	-88.8	0.46	-2.54	1971	1944	195.03
8	152	59.44	-90.8	1.12	-2.91	1966	1944	244.19
9	137	59.11	-75.8	1.31	-2.89	1944	1944	296.34
10	127	58.04	-65.8	1.99	-3.97	1969	1909	351.49
11	117	57.21	-55.8	2.49	-4.32	1831	1909	409.64
12	101	57.25	-39.8	2.45	-4.16	1952	1909	470.79
13	90	57.35	-28.8	2.36	-4.33	1916	1909	534.94
14	73	57.4	-11.8	2.33	-3.85	1875	1909	602.09
15	54	57.5	7.2	2.26	3.76	1956	2191	672.24
16	52	57.22	9.2	2.4	4.3	2321	2191	746.39
17	85	57.38	-23.8	2.29	-4.1	2127	1909	824.54
18	87	57.5	-25.8	2.18	-4.1	1808	1909	906.69
19	49	58.51	12.2	1.55	4.04	1905	2191	992.84
20	36	58.5	25.2	1.51	3.95	2301	2191	1082.99
21	65	57.54	-3.8	2.03	1	2113	2085	1177.06
22	68	57.44	-6.8	2.05	-2.76	2027	1944	1274.21
23	58	57.64	3.2	1.92	1	1823	2085	1374.28
24	37	58.09	24.2	1.63	4.11	2200	2191	1478.43
25	58	57.72	3.2	1.79	1	2211	2085	1585.5
26	122	57.12	-60.8	1.55	-3.37	2199	1944	1702.65
27	132	48.71	-70.8	3.92	-4.44	1903	1909	1823.8
28	112	43.84	-50.8	4.31	-5.76	1940	1838	1947.95
29	86	43.19	-24.8	3.23	-4.83	1758	1873	2075.1
30	40	54.5	21.2	0.88	3.52	1908	2191	2206.27
31	33	66.81	28.2	0.58	3.4	2320	2156	2341.42

Ensaio 4

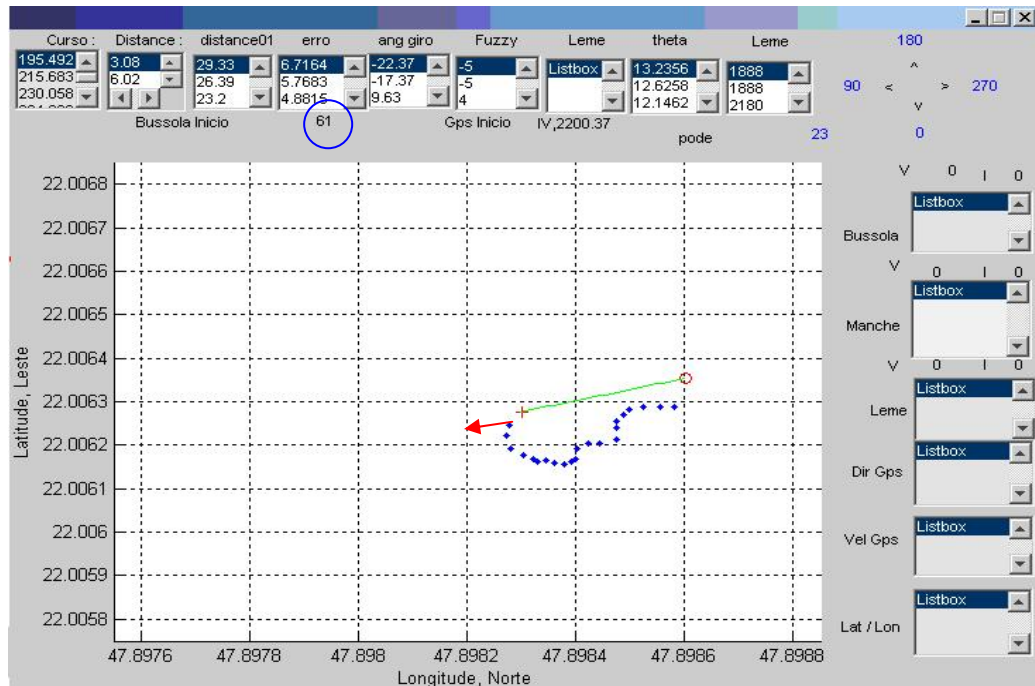


Figura. 4.1:- Gráfico que mostra as posições de navegação automática feito pelo SNAT no campo de futebol da USP-SC.

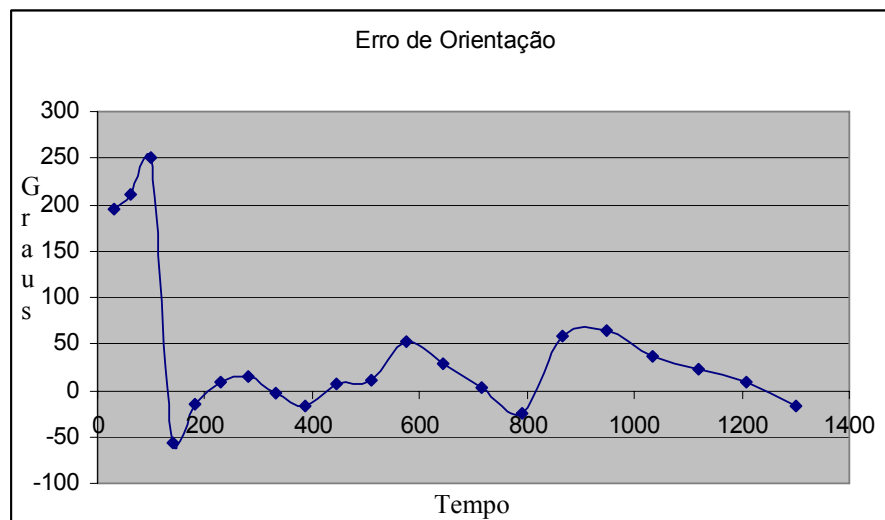


Figura 4.2:- Gráfico que mostra o erro de orientação pelo SNAT em função aos dados do GPS e a bússola, para o exemplo que esta na figura 4.1.

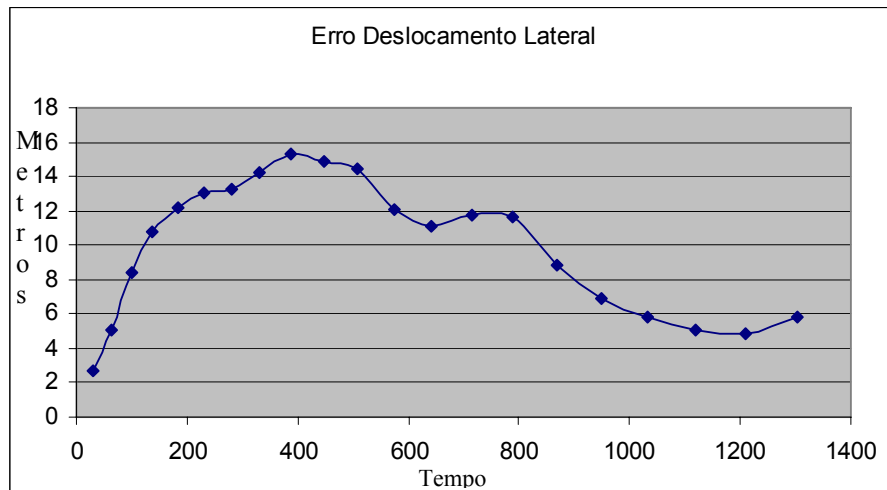


Figura 4.3:- Gráfico que mostra o deslocamento lateral pelo SNAT em função aos dados do GPS e a bússola, para o exemplo que esta na figura 4.1.

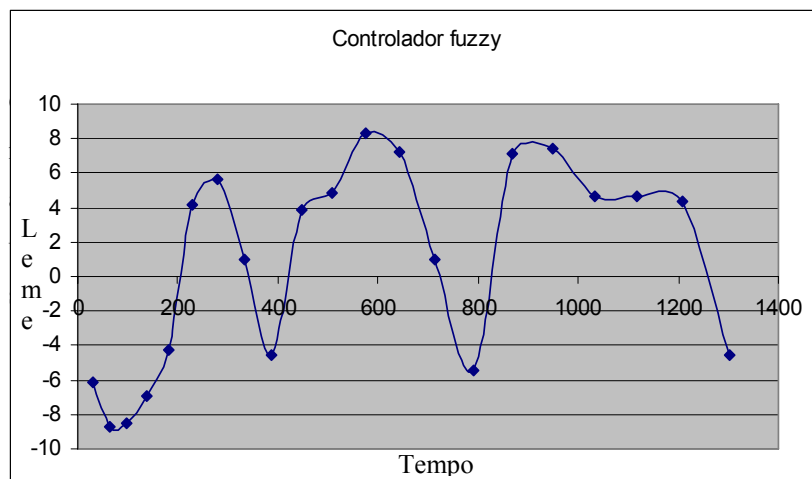


Figura 4.4:- Gráfico as respostas do controlador fuzzy feito pelo SNAT para o exemplo que esta na figura 4.1.

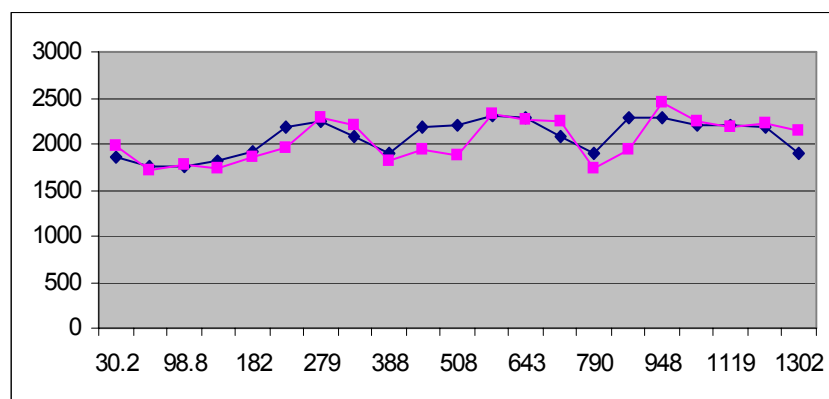


Figura 4.5. Gráfico que mostra a leitura do leme e a atuação do leme feito pelo SNAT, para o exemplo da figura 4.1.

Tabela 4 – Valores da orientação do triciclo feito pelo SNAT, para o exemplo da figura 4.1.

Iteração	Bússola	Orientação GPS	Erro orientação	Deslocamento Lateral	Fuzzy	Leitura do leme	SNAT Leme	Tempo
2	60	251.55	195.63	2.71	-6.17	1983	1856	30.18
3	44	248.11	211.63	5.11	-8.71	1720	1758	63.01
4	6	243.4	249.63	8.42	-8.51	1768	1758	98.83
5	313	239.3	-57.37	10.78	-6.9	1735	1823	138.65
6	270	236.44	-14.37	12.23	-4.21	1848	1920	182.47
7	247	234.79	8.63	13.03	4.16	1951	2180	229.28
8	240	233.59	15.63	13.31	5.6	2281	2244	279.1
9	258	231.27	-2.37	14.21	1	2202	2082	331.91
10	272	227.91	-16.37	15.34	-4.51	1809	1888	387.73
11	248	227.7	7.63	14.85	3.89	1948	2180	446.55
12	244	227.32	11.63	14.43	4.89	1879	2212	508.37
13	203	230.4	52.63	12.08	8.29	2326	2309	574.19
14	227	230.09	28.63	11.13	7.18	2271	2277	643
15	253	226.18	2.63	11.7	1	2255	2082	714.81
16	281	222.29	-25.37	11.59	-5.4	1743	1888	789.63
17	197	227.77	58.63	8.88	7.12	1931	2277	867.45
18	192	232.5	63.63	6.92	7.41	2439	2277	948.26
19	219	234.21	36.63	5.79	4.68	2240	2212	1032.08
20	232	234.27	23.63	5.06	4.62	2188	2212	1118.9
21	246	230.06	9.63	4.88	4.39	2223	2180	1208.72
22	273	215.68	-17.37	5.77	-4.56	2143	1888	1301.5

Nos ensaios apresentados se teve êxito, em todos os casos alcançaram o ponto objetivo.

Na vida real apresenta alguns testes sem êxitos, devido às instabilidades do veículo de testes, ou quando o veículo de testes realiza um movimento brusco (gera escorregamento pelo peso que suporta as rodas), talvez dados incorretos da bússola são enviados gerando alguns erros no controle. Para minimizar esse efeito, trabalhou-se com velocidades baixas de deslocamento.

Outros problemas que possivelmente influenciam o êxito dos ensaios estão ligados com a mecânica e eletrônica de acionamento do veículo de testes, energização das baterias, o atrito do lugar de ensaio, recomenda se realizar maiores ensaios de navegação.

Apêndice 2: Código fonte do SNAT*1. Função que captura o ponto início de navegação*

```
function pb_Begin_Callback(hObject, eventdata, hnds)
global com    % porto da serial
global t      % variável que alma cena Tempo
format long  %formato dos dados com long para não perder informação com a
números maiores a quatro decimais.
set( hnds.txt_val, 'String', 'STOP'); %cadeia que indica que o veículo esta parado
hnds.s = instrfind('Port',com); %procurando a serial
msgbox('RECEPTANDO DADO GPS PONTO INICIO..')
if length(hnds.s) ~= 0
    fclose(hnds.s);
    delete(hnds.s);
end
hnds.s = serial(com);
set(hnds.s,'timeout',20);
fopen(hnds.s); %%%comunicação com a porto da serial
hnds.k=hnds.k+1; i=hnds.k; %%contadores

fprintf(hnds.s,'%s','#LG');          % Leitura  G P S

[GPS,countg]= fscanf(hnds.s,'%s');
if (countg > 40)
    temp = sscanf(GPS(1:2),'%s');%...plotea só dados validos do GPS
    if strcmp(temp,'IV')    %...verificando dado inicial do sensor
        %procesando a cadeia do GPS
        [hnds.lati(i), hnds.loni(i), hnds.vel(i), hnds.dir(i)]= descomponerGps(GPS);
        hnds.o=hnds.o+1; %contado do pontos objetivo
        hnds.wpolato(hnds.o) = hnds.lati(i); %guarda na matriz de pontos objetivos
        hnds.wpolono(hnds.o) = hnds.loni(i); %guarda na matriz de pontos objetivos
        hnds.wpolat(hnds.o) = hnds.lati(i)*pi/180; %converte radians
        hnds.wpolon(hnds.o) = hnds.loni(i)*pi/180; %converte radians
        xlat=single(hnds.lati(i)); %formatando dado para mostrar na tela
```

```

        ylon=single(hnds.loni(i)); %formatando dado para mostrar na tela
        plot(hnds.axesmap, ylon, xlat, '-+r');
        set( hnds.textGPS, 'String', GPS);
        hnds.lat(i)=hnds.lati(i)*pi/180;
        hnds.lon(i)=hnds.loni(i)*pi/180;
    end
else
    fprintf(hnds.s,'%s', '#LG');
    [GPS,countg]=fscanf(hnds.s,'%s');
    if (countg > 40)
        temp = sscanf(GPS(1:2),'%s');%..plotea só dados validos do Gps
        if strcmp(temp,'IV')
            [hnds.lati(i), hnds.loni(i), hnds.vel(i), hnds.dir(i)]= descomponerGPS2(GPS);
            hnds.o=hnds.o+1;
            %%%guardando el primer dato para wp
            hnds.wpolato(hnds.o) = hnds.lati(i);
            hnds.wpolono(hnds.o) = hnds.loni(i);
            hnds.wpolat(hnds.o) =hnds.lati(i)*pi/180;
            hnds.wpolon(hnds.o) =hnds.loni(i)*pi/180;
            xlat=single(hnds.lati(i));
            ylon=single(hnds.loni(i));
            plot(hnds.axesmap, ylon, xlat, '-+r');
            set( hnds.textGPS, 'String', GPS);
            hnds.lat(i)=hnds.lati(i)*pi/180;
            hnds.lon(i)=hnds.loni(i)*pi/180;
        else
            helpdlg('Duas veces se tento pegar dados, sem exito');
            fclose(hnds.s);
            delete(hnds.s);
            fopen(hnds.s); %%%comunicacao com a porta serial
            fprintf(hnds.s,'%s', '#RS');
            pause(1.5);
        end
    end
end

```

```
end
    fprintf(hnds.s,'%s',#LB'); % solicitando dado da bussola
[bussola,count,msg]=fscanf(hnds.s,'%s');
if count > 7
    bussola = descomponerif(bussola);
    hnds.bussola(i)=bussola;
    set( hnds.txtbussola, 'String', int2str(bussola));
    %set( hnds.ed_Bussola, 'String', vertcat( int2str(bussola), get(hnds.ed_Bussola,
'String' )));
else
    fprintf(hnds.s,'%s',#LB');
    [bussola,count,msg]=fscanf(hnds.s,'%s');
    if count > 7
        bussola = descomponerif(bussola);
        hnds.bussola(i)=bussola;
        set( hnds.txtbussola, 'String', int2str(bussola));
    else
        helpdlg('Duas vezes se tento pegar dados, sem exito');
        fclose(hnds.s);
        delete(hnds.s);
        fopen(hnds.s); %%%comunicao com a porta serial
        fprintf(hnds.s,'%s', '#RS')
        pause(1.5);
    end
end
end
if strcmp(temp,'IV') && (count > 7)
    set( hnds.txt_val, 'String', 'START RIGTH');
end
if i==1
    tic;
    t.temp(i) =0;
else
    bbb=abs(toc);
    t.temp(i) = str2num(sprintf('%5.2f%',t.temp(i-1) + bbb));
```

```
end
guidata(hObject, hnds);
```

2. Função que dirige a navegação automática pelo SNAT

```
function pbAutomatic_Callback(hObject, eventdata, hnds)
global com

hnds.s = instrfind('Port',com);
if length(hnds.s) ~= 0
    fclose(hnds.s);
    delete(hnds.s);
end
hnds.s = serial(com);
fopen(hnds.s); %%%comunicacao com a porta serial
fprintf(hnds.s, '#ML2050');
fscanf(hnds.s, '%s')
Htimer = timerfind ;
if ~isempty(Htimer)
    delete(Htimer) ;
end
hd.ob=hnds.o;
guidata(hObject,hnds);
fh = gcf; % obtem o id da figura (janela principal) %para pasar no timer
hnds.t1 = timer('TimerFcn',{@Ti_openGe, fh}, 'StopFcn',@TiStop, 'ExecutionMode', 'FixedDelay', 'Period', 2, 'StartDelay', 1);
guidata(hObject,hnds);
try
    start(hnds.t1);
end
guidata(hObject,hnds);
```

```
function Ti_openGe(hObject, eventdata,fh)
global com
global dat
global t
format long;
m=1;
fis_err_erro = readfis('leme_deslocamento.fis'); %controlador fuzzy
hd = guidata(fh);%capturando a variável pae
hd.k=hd.k+1; i=hd.k; %%%os contadores
set(hd.txt_contador,'string', num2str(i));
fprintf(hd.s,'%s','#LT'); % leitura da cadeia entera de todos os dados dos sensores
[s,countl,msg]=fscanf(hd.s,'%s');
Er=0; %contrador de dados sen exito
if countl>0
    vGPS = sscanf(s(6:6),'%s');
    if ~strcmp(vGPS,'U')
        [hd.bus(i),hd.lati(i),
hd.loni(i),hd.GPS_vel(i),hd.GPS_dir(i),hd.leme(i),hd.manche(i)]= descomponer(s);
        plot(hd.axesmap, single(hd.loni(i)), single(hd.lati(i)), '.'); % plotando no mapa
        dado do GPS
        hd.lat(i)=hd.lati(i)*pi/180;
        hd.lon(i)=hd.loni(i)*pi/180;
        o=hd.o;
        hd.distances_o(hd.o);
        a=hd.distances_o(hd.o);
        m=1;
        [hd.courses_oi(i), hd.distances_oi(i)] =
legs([hd.wpolat(o),hd.lat(i)],[hd.wpolon(o),hd.lon(i)]); %calcula orientação entre os
pontos objetivo e o dado lido
        [hd.courses_m(i), hd.distances_m(i)] =
legs([hd.lat(i),hd.lat(m)],[hd.lon(i),hd.lon(m)]); %calcula orientação entre os pontos
objetivo e o primer dado
```

```

    b=dis_lat_lon(hd.lat(i),hd.lon(i),hd.wpolat(o),hd.wpolon(o)); %distância entre
objetivo e o ponto lindo
    d=dis_lat_lon(hd.lat(i),hd.lon(i),hd.lat(i-1),hd.lon(i-1)); %distância entre o ponto
lindo e o ponto anterior

    c=dis_lat_lon(hd.lat(i),hd.lon(i),hd.lat(m),hd.lon(m)); %distância entre o ponto
lindo e o primer ponto
    distânciarrec=a-c; %distância recorrida
%calculo para sentido de giro

    ss=(hd.wpolato(o)-hd.wpolato(o-1))*(hd.loni(i)-hd.wpolono(o-1));
    yy=(hd.lati(i)-hd.wpolato(o-1))*(hd.wpolono(o)-hd.wpolono(o-1));
    hd.signo(i)=ss-yy;mul=1;

    if hd.signo(i) < 0
        mul=-1;
    end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%coloca o dado distância dentro do rango 0 1
    dat.dist01(i) = distânciarrec/hd.distances_o(o);%coloca no rango 01
    hd.theta(i)=abs(acosd((c*c+a*a-b*b)/(2*c*a))); %lei de cosenos
    format short
    erroangle = hd.courses_o(o)-hd.bus(i);
    hd.err_ang_180(i) = wrapTo180(erroangle); %converte no intervalo -180-180graus

    AG=pi-hd.theta(i);
    hd.patherro(i)=abs(c*sind(hd.theta(i)));%calculo o deslocamento lateral
    hd.patherror(i)=str2num(sprintf('%3.2f%',hd.patherro(i)));
    set( hd.txt_leme_mov,'string', vertcat(str2num(sprintf('%5.2f%',mul)) , get(
hd.txt_leme_mov, 'String' ));
    set( hd.txt_distance01,'string', vertcat(str2num(sprintf('%5.2f%',c)), get(
hd.txt_distance01, 'String' ));
    set( hd.txt_erro,'string', vertcat(str2num(sprintf('%3.4f%',hd.patherro(i))) , get(

```

```
hd.txt_erro, 'String' ));
    set( hd.li_distância,'string', vertcat( hd.theta(i) , get( hd.li_distância, 'String' )));
%%%%RETO
    set( hd.txt_distance,'string',vertcat(str2num(sprintf('%3.2f%',distânciarrec)) , get(
hd.txt_distance, 'String' )));
    set( hd.txt_course,'string', vertcat( hd.courses_oi(i) , get(hd.txt_course, 'String' )));
    hd.patherror(i)=5;
    if ( hd.err_ang_180(i)<0)
        % quando é negativo
        hd.steering(i) = evalfis([-1*hd.err_ang_180(i), hd.patherror(i)], fis_err_erro1);
    else
        hd.steering(i) = evalfis([hd.err_ang_180(i), hd.patherror(i)], fis_err_erro1);
    end
    bbb=abs(toc);
    t.temp(i) = str2num(sprintf('%5.2f%',t.temp(i-1) + bbb));
    t.leme_at(i)=round(2050+round(hd.steering(i))*mul*aa);
    set( hd.txt_lemee,'string', vertcat(num2str(t.leme_at(i)) , get( hd.txt_lemee, 'String'
)));
    set( hd.txt_ang_atuar_fuz,'string', vertcat(num2str(round(hd.steering(i))),get(
hd.txt_ang_atuar_fuz, 'String' )));
    set( hd.txt_ang_girar,'string', vertcat(str2num(sprintf('%5.2f%', hd.err_ang_180(i)))
, get( hd.txt_ang_girar, 'String' )));
    outstrleme= num2str(t.leme_at(i));
    fprintf(hd.s, '%s',strcat('#ML', outstrleme));

    if distânciarrec >= 0.7 %metros
        temp1=round(200+ abs(dat.dist01(i))*1000);
        outstrvelo=num2str(temp1);
        %fprintf(hd.s,'%s', strcat('#MM',outstrvelo));
    elseif distânciarrec < 0.7 && distânciarrec >0.5 %metros
        temp1=250;
        outstrvelo=num2str(temp1);
        %fprintf(hd.s,'%s', strcat('#MM',outstrvelo));
    else
```

```

        if distânciarrec <0.3    %metros
            fprintf(hd.s,'%s', '#DM');
            stop(hd.t1);
            msgbox('PAROU POR DISTÂNCIA..');
        end
    end
    %helpdlg('duas vezes se tento pegar dados do GPS e bússola','erro');
    fprintf(hd.s,'%s', '#RS');
    pause(0.1);
    resp_ser=fscanf(hd.s,'%s');
else
    fprintf(hd.s,'%s', '#RS');
    pause(0.3);
    resp_ser=fscanf(hd.s,'%s')
    flushinput(hd.s);
    return
end
else % caso de erro
    Er=Er+1
end
flushinput(hd.s);
hd.manche_at(i)=(temp1);
flushinput(hd.s);
%dados para mostrar num arquivo text
y=[i; hd.bus(i); hd.courses_oi(i); erroangle; hd.patherror(i);
hd.steering(i);hd.GPS_dir(i); hd.leme(i); t.leme_at(i); t.temp(i)];
fid = fopen('japan.txt', 'A');
fprintf(fid, '%1.0f %6.2f %6.2f %6.2f %6.2f %6.2f %6.2f %6.2f %6.2f\n', y);
fclose(fid);
GPS=";
s=";
bussola=";
countg=0;
count=0;

```



```
guidata(fh,hd);
```

3. *Função que Pré - processa a cadeia completa de todos os dados dos sensores.*

```
function [bus,latmd, lonmd, vel, dir, leme, manche ]= descomponer(s)
```

```
num=findstr(s,'#');
vir=findstr(s,',');
format long
num=findstr(s,'#');
vir=findstr(s,',');
bus = sscanf(s(2:num(1)-1),'%f');
GPS_lat_grad = sscanf(s(num(1)+1:num(1)+2),'%f');
GPS_lat_min = sscanf(s(num(1)+3:num(1)+10),'%f');
GPS_lon_grad = sscanf(s(num(2)-12:num(2)-11),'%f');
GPS_lon_min = sscanf(s(num(1)+17:num(2)-2),'%f');
latmd =GPS_lat_min;
lonmd =GPS_lon_min;
vel = sscanf(s(num(2)+1:vir(4)-1),'%f');
dir = sscanf(s(vir(4)+1:num(3)-1),'%f');
leme = sscanf(s(num(3)+1:vir(5)-2),'%f');
manche = sscanf(s(vir(5)+1:vir(5)+4),'%f');
return
```

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)