

# 1 Introdução

Esta dissertação estuda um controle de capotagem e deslizamento de sistemas robóticos móveis em terrenos acidentados. Este controle é aplicado a um veículo especialmente desenvolvido para uso na Amazônia, capaz de se deslocar nos mais variados tipos de superfície: água, terra, pântano, etc. Este veículo poderá ser tripulado, semi-autônomo ou tele-operado, viabilizando o trabalho dos profissionais em locais hoje inacessíveis e fazendo um rigoroso monitoramento ambiental.

Em paralelo ao crescente interesse da sociedade por atividades de monitoramento e preservação ambiental, aliadas a projetos de mitigação e pronto combate a situações de contingência, a Petrobras através de seus vários órgãos vem desenvolvendo estudos e projetos específicos para a Amazônia Brasileira, mormente nas áreas onde serão instaladas o gasoduto Coari - Manaus.

## 1.1. Revisão Bibliográfica

Dentre os trabalhos que abordaram o problema de instabilidade convém destacar as soluções propostas por Iagnemma [1] e Papadopoulos [2]. A análise desenvolvida por ambos considerou o sistema como sendo quase-estático, devido as baixas velocidades dos veículos modelados. Porém os dois autores citados solucionam este problema de maneiras distintas as apresentadas nesta dissertação.

O primeiro autor garantiu a estabilidade do robô móvel através da reconfiguração geométrica do veículo que permitia atuar nas articulações para variar o centro de gravidade. O outro apenas mensurava a margem de estabilidade que o veículo pode trabalhar com segurança. Entretanto este trabalho oferece um novo conceito para vencer situações de capotagem, através de um controle que atua diretamente no torque das rodas do robô, influenciando a dinâmica do sistema de modo a não permitir que as rodas se descolem do terreno.

A análise dinâmica feita nesta dissertação, parte do estudo do controle de tração realizado por Silva [3], cuja modelagem foi feita em 2D.

## 1.2. Robôs Móveis

O uso de robôs móveis vem se tornando cada vez mais comum, seja facilitando o trabalho humano ou muitas das vezes substituindo-o em operações onde existe risco de vida.

A área da robótica que se ocupa de mecanismos que se movimentam de forma autônoma tem conquistado um grande destaque na comunidade científica por apresentar grande aplicação nas mais variadas situações, cotidianas ou especiais. Um caso extremo desta aplicação são as missões de exploração de ambientes não estruturados, como por exemplo, a do robô Sojourner (Fig. 1) que explorou o planeta Marte em 1997 [4].



Figura 1 – Robô Sojourner.

O acompanhamento do homem nestas operações é de grande valor, entretanto, muitas das vezes decisões precisam ser tomadas de maneira autônoma para não colocar a missão em situação de risco. Portanto se faz necessário dotar estes robôs com capacidade de sentir, processar e escolher de maneira segura e otimizada seus movimentos.

Em muitas operações os robôs servem para auxiliar o homem em locais que apresentam perigo de locomoção, conduzindo-o nestas regiões e garantindo assim sua integridade. Nos trabalhos tripulados, os robôs são dirigidos pelo homem, ficando ao robô apenas a autonomia para coordenar seus mecanismos de locomoção.

A Fig. 2 ilustra esta situação em que robô precisa distribuir ordenadamente o movimento de seus apoios [5].



Figura 2 – Robô andante para cortar madeira.

Também existem situações onde a permanência do homem no ambiente de operação já o coloca em posição perigosa. É o caso de ambientes que apresentam sinais radioativos e esta emissão invisível de energia afasta a possibilidade de acompanhamento humano nas missões. Nestes sítios, a contribuição humana é feita através de tele-operação, como apresenta a Fig. 3.



Figura 3 - Robô Pioneer [6], projetado para fazer exploração em áreas radioativas.

Nas situações que utilizam a tele-operação, o ser humano mantém só o controle parcial do sistema, enquanto o robô precisa de certa autonomia para tomar suas próprias decisões e não colocar a missão em risco.

As atitudes que o robô possa vir a tomar dependem do seu algoritmo de controle, que por sua vez precisa garantir a estabilidade, melhorar o desempenho, minimizar o consumo de energia e garantir a segurança operacional.

Como resultado da complexidade destes robôs apresentados, o estudo dos robôs móveis acaba sendo uma área multidisciplinar.

Nesta dissertação dá-se especial ênfase para a análise dinâmica de um robô móvel específico (Robô Ambiental Híbrido - Chico Mendes), que realiza missões em região de floresta alagada, que é mais bem detalhado na seção 1.5. e ilustrado na Fig.4.



Figura 4 – Robô Ambiental Híbrido - Chico Mendes.

Este robô terá dificuldades para locomoção em certas localidades, como por exemplo: derrapagem nas regiões alagadas, vencer atoleiro nas regiões pantanosas e de brejos e capotagem nas regiões que apresentam aclives e declives.

Diante deste quadro de problemas apresentados, garantir a estabilidade nas regiões de ladeiras é de grande valor nas operações, sejam elas tele-operadas ou autônomas.

Procurando contribuir para solucionar estes problemas, esta dissertação apresenta o estudo de um controle de estabilidade que busca garantir que as rodas do veículo não descolem do terreno, através da atuação nas forças de atrito entre as rodas e o solo variando os torques nos seus motores.

### **1.3. Objetivo**

O objetivo principal desta dissertação é o desenvolvimento das técnicas de controle de capotagem e deslizamento de um robô móvel, incluindo projeto, simulação e construção de um protótipo funcional.

Este controle visa garantir a locomoção do robô em terrenos irregulares e inclinados, evitando capotagem e ajudando nas tomadas de decisão e até não aceitando a trajetória comandada se esta lhe oferecer um obstáculo não superável.

Diante das condições encontradas, a estabilidade do veículo passou a ser um fator fundamental, e um controle eficaz garantirá segurança nas operações onde o resgate muitas vezes se torna inviável.

#### **1.4. Robô Ambiental Híbrido**

Dentro da estratégia de desenvolvimento de atividades na Amazônia, a Petrobras e o Centro de Pesquisas – CENPES sempre deram especial atenção ao meio ambiente e aos possíveis impactos causados por sua atividade na bela e desafiadora região amazônica.

Este item pretende apresentar a proposta do Laboratório de Robótica do CENPES para monitoramento ambiental na região onde está sendo construído o gasoduto Coari – Manaus.

##### **1.4.1. Características do Projeto**

Em se tratando de cenários muitas vezes desconhecidos e de comportamento imprevisível, a estratégia adotada pelo Laboratório de Robótica do CENPES foi, primeiramente, dar condições para que o homem consiga penetrar um pouco mais em tais regiões de forma segura e lá coletar suas impressões das variáveis de interesse. Depois de experimentar, vivenciar e conhecer um pouco melhor as características do eco-sistema, pretende-se desenvolver de forma gradativa sistemas híbridos, semi-autônomos ou até mesmo autônomos para serem operados e monitorados à distância.

Tal veículo deve possuir elementos a bordo, que o faça ser capaz de reconhecer e se adaptar aos diferentes tipos de solo, desviar de obstáculos, encontrar trajetória entre pontos inicial e final de uma dada excursão, receber e cumprir ordens enviadas remotamente, entre outras.

Para isso deve dispor de um conjunto de sistemas mecânicos, elétricos, eletrônicos, computacionais, de sensoriamento e de comunicação que seja um auxílio de grande vantagem para o homem, que possa realizar tarefas pré-programadas ou em tempo real, com a supervisão humana ou de forma autônoma.

Visando aumentar ainda mais sua capacidade de deslocamento, o veículo será dotado de controle de direção e sentido que serão atendidos por atuação coordenada das trações independentes (quatro motores com redução) em cada roda. O robô também terá um sistema de suspensão independente e variável que permite mudar o ângulo de ataque das rodas com o solo, facilitando a superação de obstáculos.

As rodas servirão como flutuadores para que o robô possa percorrer lagos e igarapés coletando dados e amostras.

O sistema de visão, composto por câmeras de vídeo, é ferramenta fundamental de auxílio ao sistema de navegação, podendo servir também para determinar a presença de obstáculos e fazer o reconhecimento do meio ambiente, possibilitando planejamento de trajetória. Sensores de proximidade serão utilizados para antecipação de colisão.

O sistema de navegação é composto por sensores de atitudes (acelerômetros e giroscópio) e sistema de posicionamento global (GPS), permitindo saber suas coordenadas geográficas e acompanhar passo a passo seu movimento.

Uma base de controle dotada de sistema de rádio, para enviar ordens e escolher a missão que será executada pelo veículo e receber as informações que estarão sendo coletadas, servirá de apoio a toda operação em campo.

Manipuladores e cestas de guarda estarão disponíveis para coleta de materiais de interesse, e acessíveis por tele-operação em tempo real, devendo funcionar de forma integrada preservando as amostras, que serão armazenadas conforme as normas para análise posterior em laboratório. Por este motivo os sistemas desenvolvidos buscam ser ousados e inovadores, mas também simples e pouco invasivos.

Todas as funções do robô (locomoção, monitoramento, coleta, etc.) utilizarão energia elétrica, por esta ser renovável e mais limpa que outras fontes de energia. Para este propósito, um conjunto de baterias de alta performance associado a células fotovoltaicas serão empregados. Apesar de cumprir os requisitos necessários para executar as missões especificadas do veículo de forma aceitável, a utilização de baterias limita sua autonomia, sendo necessário que este retorne à base, para recarregar essas baterias no final de cada operação. Este tempo de missão a princípio é de três horas em média.

Como a extensão do gasoduto é de aproximadamente 400 km, cerca de 100 bases serão construídas ao longo do seu curso, funcionando como pontos de recarga e manutenção dos robôs. Os robôs em operação na Amazônia irão trabalhar muitas vezes de forma coordenada, podendo cada um realizar pequenas tarefas de uma operação complexa.

Sensores de pH, oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade, salinidade e hidrocarbonetos serão utilizados para monitorar as características das águas dos rios da região. Estas informações serão disponibilizadas para a comunidade local e acadêmica envolvida neste processo, elaborando relatórios oficiais respaldando as operações da indústria do petróleo nesta região.

Os trabalhos serão feitos com base em dados já levantados nos locais por grupos de estudo de Universidades e outros Centros de Pesquisa em projetos já existentes como: PIATAM, PIATAM - II, Cognitus, e outros.

Buscando reconhecer o trabalho e a disposição em desenvolver de maneira sustentável a região da Amazônia brasileira, o Laboratório de Robótica batizou este projeto de: Robô Ambiental Híbrido - Chico Mendes. Esta singela homenagem foi feita em cerimônia no CENPES, contando com a presença e consentimento da família na presença de sua filha.

## **1.5.**

### **Organização da dissertação**

Esta dissertação está organizada na seguinte forma: O capítulo 2 descreve a modelagem cinemática e dinâmica do sistema apresentado, buscando detalhar as equações de restrição e algumas considerações que foram feitas a partir das equações encontradas;

O capítulo 3 apresenta o controle de estabilidade proposto, descrevendo o algoritmo utilizado;

O capítulo 4 apresenta simulações que ilustram e indagam os métodos propostos, descrevendo o algoritmo utilizado na simulação.

O capítulo 5 apresenta resultados das simulações apresentando os perfis de terrenos utilizados e mostrando graficamente o resultado deste trabalho;



O capítulo 6 apresenta o processo de construção do robô modelado, detalhando suas características e apresentando suas dificuldades em relação à estabilidade;

O capítulo 7 apresenta conclusão sobre os métodos utilizados na dissertação e uma breve descrição sobre possíveis trabalhos futuros.

O apêndice A – Breve histórico da indústria do petróleo e gás na Amazônia.

O apêndice B - Detalhamento dos testes realizados na Amazônia.