

Thesis presented to the Instituto Tecnológico de Aeronáutica, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science in the Graduate Program of Engenharia Eletrônica e Computação, Field of Informática.

**Clarisse Sieckenius de Souza**

**MODELO LATEX PARA TG / DISSERTAÇÃO / TESE  
DO ITA**

Thesis approved in its final version by signatories below:

Prof. Dr. Adalberto Santos Dumont  
Advisor

Profa. Dra. Claudia M. Bauzer Medeiros  
Co-advisor

Prof. Dr. John von Neumann  
Dean of Graduate Studies

Campo Montenegro  
São José dos Campos, SP - Brazil  
2024

**Cataloging-in Publication Data**  
**Documentation and Information Division**

de Souza, Clarisse Sieckenius  
Modelo Latex para TG / Dissertação / Tese do ITA / Clarisse Sieckenius de Souza.  
São José dos Campos, 2024.  
35f.

Doctoral Thesis – Engenharia Eletrônica e Computação Program . Area of Informática –  
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2024. Advisor: Prof. Dr. Adalberto Santos Dumont.  
Co-advisor: Profa. Dra. Claudia M. Bauzer Medeiros.

1. PalavraChave1. 2. PalavraChave2. 3. PalavraChave3. I. Instituto Tecnológico de  
Aeronáutica. II. Title.

**BIBLIOGRAPHIC REFERENCE**

DE SOUZA, Clarisse Sieckenius. **Modelo Latex para TG / Dissertação / Tese do ITA.**  
2024. 35 f. Doctoral Thesis – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos  
Campos, 2024.

**CESSION OF RIGHTS**

AUTHOR'S NAME: Clarisse Sieckenius de Souza

PUBLICATION TITLE: Modelo Latex para TG / Dissertação / Tese do ITA.

PUBLICATION KIND/YEAR: Thesis / 2024

It is granted to Instituto Tecnológico de Aeronáutica permission to reproduce copies of  
this work and to loan or to sell copies only for academic and scientific purposes. The  
author reserves all other publication rights and no part of this work can be reproduced  
without the authorization of the author.

---

Clarisse Sieckenius de Souza  
Praça Mal Eduardo Gomes 50  
12228-904 São José dos Campos - SP

# MODELO LATEX PARA TG / DISSERTAÇÃO / TESE DO ITA

**Clarisse Sieckenius de Souza**

Thesis Committee Composition:

Prof. Dr.	Richard Harbert Smith	Presidente	-	ITA
Prof. Dr.	Adalberto Santos Dumont	Advisor	-	ITA
Profa. Dra.	Claudia M. Bauzer Medeiros	Co-advisor	-	Unicamp
Prof. Dr.	Alan Turing	Membro Externo	-	Princeton University
Profa. Dra.	Amalie Emmy Noether	Membro Externo	-	University of Göttingen
Dr.	Linus Torvalds	Membro Interno	-	Linux Foundation
Prof. Dr.	Jean Paul Jacob	Membro Interno	-	ITA

**ITA**

Aos amigos da Graduação e Pós-Graduação do ITA por motivarem tanto a criação deste template pelo Fábio Fagundes Silveira quanto por motivarem a mim e outras pessoas a atualizarem e aprimorarem este excelente trabalho.

# Acknowledgments

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Dr. Donald E. Knuth e ao Dr. Leslie Lamport, por ter desenvolvido o T<sub>E</sub>X e o L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X.

Ao Prof. Dr. Orientador, pela orientação e confiança depositada na realização deste trabalho.

Ao Dr. Nelson D'Ávila, por emprestar seu nome a essa importante via de trânsito na cidade de São José dos Campos.

*“If I have seen farther than others,  
it is because I stood on the shoulders of giants.”*

— SIR ISAAC NEWTON

# Resumo

Aqui começa o resumo do referido trabalho. O resumo é a versão em Português do *abstract*, e como tal, segue as mesmas diretrizes de conteúdo.

# Abstract

This is an example of an abstract.

An abstract summarizes the dissertation or thesis. Usually, It is one or two pages long. It describes the problem, motivates its solution and presents the proposed approach. An abstract must also describe the results obtained, and the whole text must be written in such a way that the reader can clearly identify what the thesis or dissertation is about, what is the proposed approach, and which results were obtained. The text style is formal and must avoid both self-contempt and self-acknowledgement. References should be avoided. The author must keep in mind that the abstract is probably the first part of the thesis or dissertation that any reader will read.



# List of Figures

Figure 1.1 –	Legenda grande, com o objetivo de demonstrar a indentação na lista de figuras. . . . .	18
Figure 1.2 –	Legenda curta para testar o espaçamento na lista de figuras. . . . .	19
Figure 1.3 –	Exemplo real de cupim frente ao seu dilema. . . . .	20
Figure 2.1 –	Cupim cibernético. . . . .	23
Figure A.1 –	Uma figura que está no apêndice . . . . .	32

# List of Tables

Table 2.1 –	Exemplo de uma Tabela . . . . .	22
Table 2.2 –	Mais um Exemplo de uma Tabela, desta vez com um caption grande, para mostrar a indentação na lista de tabelas. . . . .	24

# List of Abbreviations and Acronyms

CTq	computed torque
DAC	digital analog converter
DC	direct current
EAR	Equação Algébrica de Riccati
GDL	graus de liberdade
ISR	interrupção de serviço e rotina
LMI	linear matrices inequalities
MIMO	multiple input multiple output
PD	proporcional derivativo
PID	proporcional integrativo derivativo
PTP	point to point
UARMII	Underactuated Robot Manipulator II
VSC	variable structure control

# List of Symbols

$a$	Distância
$\mathbf{a}$	Vetor de distâncias
$\mathbf{e}_j$	Vetor unitário de dimensão $n$ e com o $j$ -ésimo componente igual a 1
$\mathbf{K}$	Matriz de rigidez
$m_1$	Massa do cumpim
$\delta_{k-k_f}$	Delta de Kronecker no instante $k_f$
$[x]$	dimensão do vetor $x$
$\sigma_i(A)$	$i$ -ésimo valor singular da matriz $A$
$A^\#$	pseudo-inversa da matriz $A$
$(A)_i$	$i$ -ésima cluna da matriz $A$
$m_i$	massa do $i$ -ésimo link
$I_i$	inércia do $i$ -ésimo link
$l_i$	comprimento do $i$ -ésimo link
$lc_i$	distância entre a $i$ -ésima junta e o centro de massa do $i$ -ésimo link
$J$	matriz Jacobiana
$M$	matriz de inércia
$W$	inversa da matriz de inércia
$C$	matriz de Coriolis e forças centrífugas
$G$	vetor de forças gravitacionais
$\rho_\tau$	índice de acoplamento de torque
$a$	Distância
$\mathbf{a}$	Vetor de distâncias
$\mathbf{e}_j$	Vetor unitário de dimensão $n$ e com o $j$ -ésimo componente igual a 1
$\mathbf{K}$	Matriz de rigidez

---

$m_1$	Massa do cumpim
$\delta_{k-k_f}$	Delta de Kronecker no instante $k_f$
$[x]$	dimensão do vetor $x$
$\sigma_i(A)$	$i$ -ésimo valor singular da matriz $A$
$A^\#$	pseudo-inversa da matriz $A$
$(A)_i$	$i$ -ésima cluna da matriz $A$
$m_i$	massa do $i$ -ésimo link
$I_i$	inércia do $i$ -ésimo link
$l_i$	comprimento do $i$ -ésimo link
$lc_i$	distância entre a $i$ -ésima junta e o centro de massa do $i$ -ésimo link
$J$	matriz Jacobiana
$M$	matriz de inércia
$W$	inversa da matriz de inércia
$C$	matriz de Coriolis e forças centrífugas
$G$	vetor de forças gravitacionais
$\rho_\tau$	índice de acoplamento de torque
$a$	Distância
$\mathbf{a}$	Vetor de distâncias
$\mathbf{e}_j$	Vetor unitário de dimensão $n$ e com o $j$ -ésimo componente igual a 1
$\mathbf{K}$	Matriz de rigidez
$m_1$	Massa do cumpim
$\delta_{k-k_f}$	Delta de Kronecker no instante $k_f$
$[x]$	dimensão do vetor $x$
$\sigma_i(A)$	$i$ -ésimo valor singular da matriz $A$
$A^\#$	pseudo-inversa da matriz $A$
$(A)_i$	$i$ -ésima cluna da matriz $A$
$m_i$	massa do $i$ -ésimo link
$I_i$	inércia do $i$ -ésimo link
$l_i$	comprimento do $i$ -ésimo link
$lc_i$	distância entre a $i$ -ésima junta e o centro de massa do $i$ -ésimo link
$J$	matriz Jacobiana
$M$	matriz de inércia

---

$W$	inversa da matriz de inércia
$C$	matriz de Coriolis e forças centrífugas
$G$	vetor de forças gravitacionais
$\rho_\tau$	índice de acoplamento de torque

# Contents

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1	Objetivo	17
1.2	Motivação	17
1.3	Organização do trabalho	20
1.3.1	Sub-organização	20
<b>2</b>	<b>MODELAGEM DINÂMICA DE CUPINS CIBERNÉTICOS</b>	<b>22</b>
2.1	Modelagem no espaço das juntas	22
<b>3</b>	<b>CONTROLE ROBUSTO DE SISTEMAS DINÂMICOS</b>	<b>25</b>
3.1	Controle combinado	25
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>28</b>
	<b>BIBLIOGRAPHY</b>	<b>30</b>
	<b>APPENDIX A – EXEMPLO DE APÊNDICE</b>	<b>32</b>
A.1	Exemplo de Seção do Apêndice A	32
A.1.1	Exemplo de Subseção do Apêndice A	32
	<b>APPENDIX B – EXEMPLO DE SEGUNDO APÊNDICE</b>	<b>33</b>

---

<b>B.1</b>	<b>Exemplo de Seção do Segundo Apêndice A . . . . .</b>	<b>33</b>
B.1.1	Exemplo de Subseção do Segundo Apêndice A . . . . .	33
<b>ANNEX A – EXEMPLO DE UM PRIMEIRO ANEXO . . . . .</b>		<b>34</b>
<b>A.1</b>	<b>Uma Seção do Primeiro Anexo . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>ANNEX B – EXEMPLO DE UM SEGUNDO ANEXO . . . . .</b>		<b>35</b>
<b>B.1</b>	<b>Uma Seção do Segundo Anexo . . . . .</b>	<b>35</b>



# 1 Introdução

## 1.1 Objetivo

O objetivo deste projeto de mestrado é desenvolver técnicas de controle subótimo das juntas passivas (não atuadas) de um robô subatuado, incluindo o estudo teórico do tema, proposição de um método de controle e sua verificação experimental em um manipulador de três graus de liberdade ([NASCIMENTO, 1971](#)).

O teste ([PATAGONIOS, 2001](#)) e validação das técnicas de controle propostas foram realizados em um ambiente de simulação e no manipulador experimental, adquirido através do projeto FAPESP N° 98/00649-5, que se encontra em funcionamento no Laboratório de Sistemas Inteligentes (LASI) do Departamento de Engenharia Elétrica da USP em São Carlos. Pode-se citar ([FURMENTO \*et al.\*, 1995](#)):

- Isso;
- Aquilo; e
- Aquele outro.

## 1.2 Motivação

Manipuladores mecânicos ([SBORNIAN, 2002](#)) vêm sendo utilizados há várias décadas para a automação de tarefas repetitivas em ambientes industriais, ambientes estes de fácil acesso tanto em termos físicos quanto em termos de baixo risco à saúde humana. Nos últimos anos, verifica-se uma utilização cada vez maior de manipuladores em ambientes de difícil acesso ou inóspitos, como no interior de usinas nucleares, no fundo dos oceanos e no

espaço. A localização dos manipuladores nesta nova gama de aplicações faz com que sua manutenção, após uma falha mecânica ou elétrica, seja custosa e demorada, portanto estes mecanismos requerem sofisticadas metodologias de controle tolerante a falhas (ITALUS, 2004).

Após a ocorrência de uma falha em um de seus atuadores, o manipulador torna-se um sistema subatuado. Um sistema também pode se tornar subatuado quando é projetado dessa maneira, ou quando o operador deliberadamente mantém um ou mais atuadores disponíveis inoperantes durante uma tarefa. Reduzindo o número de atuadores sem reduzir o número de graus de liberdade e ajustando-se o sistema de controle adequado, pode-se obter um mecanismo cujo consumo de energia é menor, mas cujas propriedades são mantidas (ARYSTIDES; MEDEIROS, 1995).



FIGURE 1.1 – Legenda grande, com o objetivo de demonstrar a indentação na lista de figuras.

Controle do manipulador após uma falha é fundamental do ponto de vista de operação, principalmente nos casos descritos acima, em que a localização do manipulador impede sua manutenção de forma fácil. Recentemente tem havido a combinação de algoritmos de detecção e isolamento de falhas com os de controle pós-falha em um método unificado. Uma extensão desse trabalho, que vê o problema de controle tolerante a falhas através de uma perspectiva integrada, foi proposta por marcel4. Os autores apresentam um ambiente híbrido consistindo de três unidades básicas que garantem a compleição de tarefas na presença de qualquer número de juntas falhas (Figura 1.1). A primeira unidade é um esquema de detecção e isolamento de falhas que continuamente monitora o manipulador



FIGURE 1.2 – Legenda curta para testar o espaçamento na lista de figuras.

para detectar e identificar possíveis falhas nas juntas. A segunda unidade é responsável pela reconfiguração do controle. A terceira unidade é composta de algoritmos de controle apropriados para cada tipo de configuração do robô, baseado na informação da unidade de reconfiguração ([CONFERENCE ON COFFEE IMPORTANCE, 2000](#)).

No presente trabalho nos concentramos na unidade de algoritmo de controle, e mais especificamente no problema de controle da posição angular de uma junta falha para qualquer posição desejada de uma maneira subótima, quando dispomos de redundância de atuação para a realização dessa tarefa. O termo subótimo se deve ao fato de que não há garantias de otimalidade em vista das não-linearidades inerentes ao sistema e de outros fatores que serão abordados nos capítulos posteriores. Ao longo do texto, para simplificação, usaremos tanto o termo subótimo como ótimo para nos referirmos à metodologia utilizada.

Segundo, o critério de otimização utilizado será o acoplamento entre as juntas do manipulador e neste caso, temos um sistema redundante quando ocorre falha de uma das juntas do manipulador de três juntas, e seu posicionamento é controlado pelas duas restantes. Nossa solução para o problema é baseada na formulação de redundância local, extensivamente estudada no contexto de cinemática inversa (nakamura). A principal contribuição deste trabalho é a extensão deste método usando as equações dinâmicas de manipuladores subatuados e a utilização do índice de acoplamento como um critério para a minimização do torque e da energia gasta pelo sistema durante o controle das juntas

falhas.



FIGURE 1.3 – Exemplo real de cupim frente ao seu dilema.

## 1.3 Organização do trabalho

### 1.3.1 Sub-organização

O capítulo 1 contém a introdução do trabalho, onde são expostos o objetivo, a motivação do mesmo, a descrição do sistema e a formulação do problema com a nomenclatura utilizada; além de uma revisão bibliográfica da literatura relacionada ao tema do trabalho.

#### 1.3.1.1 SubSub-organização

No capítulo 2 apresentamos a modelagem dinâmica de um manipulador subatuado e o conceito de índice de acoplamento para medir o acoplamento dinâmico entre as juntas ativas e passivas. Este índice é utilizado para a análise e projeto de uma metodologia de controle subótimo do manipulador.

### 1.3.1.2 Outra subsub-organizacao

O capítulo 3 apresenta o controle subótimo de manipuladores através de redundância de atuação. Descreve-se a técnica de controle ponto a ponto de manipuladores subatuados. A seguir mostramos a linearização destes por realimentação, cujo efeito é linearizar e desacoplar o sistema não linear. Finalmente é proposta uma sequência de controle subótimo local das juntas passivas visando a minimização de certos critérios como torque, velocidade e em particular a energia consumida pelo sistema. Este é de fato o tema principal deste mestrado.

É também apresentado no capítulo 4 um resumo do projeto de controladores  $H_2$  e  $H_\infty$ , cuja principal vantagem é a robustez na presença de incertezas paramétricas e distúrbios externos.

O capítulo 5 mostra as características e a operação do robô e do ambiente de simulação utilizados nos testes e experimentação da metodologia apresentada.

Os procedimentos da metodologia e os resultados obtidos para algumas configurações e diferentes controladores encontram-se no capítulo 6.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões do trabalho.

Quatro apêndices fazem parte do trabalho. O apêndice A apresenta alguns tópicos de álgebra linear que são a base do método proposto. No apêndice B são mostradas as equações da matriz de inércia e do vetor de torques não-inerciais utilizados na modelagem dinâmica do manipulador. No apêndice C temos as expressões literais dessas equações feitas no software MAPLE e no apêndice D alguns programas feitos no software MATLAB utilizados no projeto (FURMENTO *et al.*, 1995)(MORGADO, 2003).

## 2 Modelagem Dinâmica de Cupins Cibernéticos

### 2.1 Modelagem no espaço das juntas

Manipuladores subatuados diferem dos totalmente atuados pois são equipados com um número de atuadores que é sempre menor que o número de graus de liberdade (GDL). Portanto, nem todos os GDL podem ser controlados ativamente ao mesmo tempo (SBORNIAN, 2004). Por exemplo, com um manipulador planar de 3 juntas equipado com dois atuadores, ou seja, duas juntas ativas e uma passiva, pode-se controlar ao mesmo tempo duas das juntas a qualquer instante, mas não todas. Para controlar todas as juntas de um manipulador subatuado, deve-se usar um controle sequencial. Este princípio foi provado pela primeira vez por arai usando argumentos dinâmicos linearizados (JOEA; JOHN, 2003), e é a base para a modelagem no espaço das juntas e no espaço Cartesiano. A Tabela 2.1 apresenta os resultados (ASSENMACHER *et al.*, 1993; SILBERSCHATZ *et al.*, 1991; CAROMEL *et al.*, 1998).

Devido ao fato de que no máximo  $n_a$  coordenadas generalizadas (ângulos das juntas ou variáveis cartesianas) podem ser controladas num dado instante, o vetor de coordenadas generalizadas é dividido em duas partes, representando as coordenadas generalizadas ati-

TABLE 2.1 – Exemplo de uma Tabela

Parâmetro	Unidade	Valor da simulação	Valor experimental
Comprimento, $\alpha$	$m$	8, 23	8, 54
Altura, $\beta$	$m$	29, 1	28, 3
Velocidade, $v$	$m/s$	60, 2	67, 3

vas e as coordenadas generalizadas passivas (CALLAGHAN *et al.*, 1995).

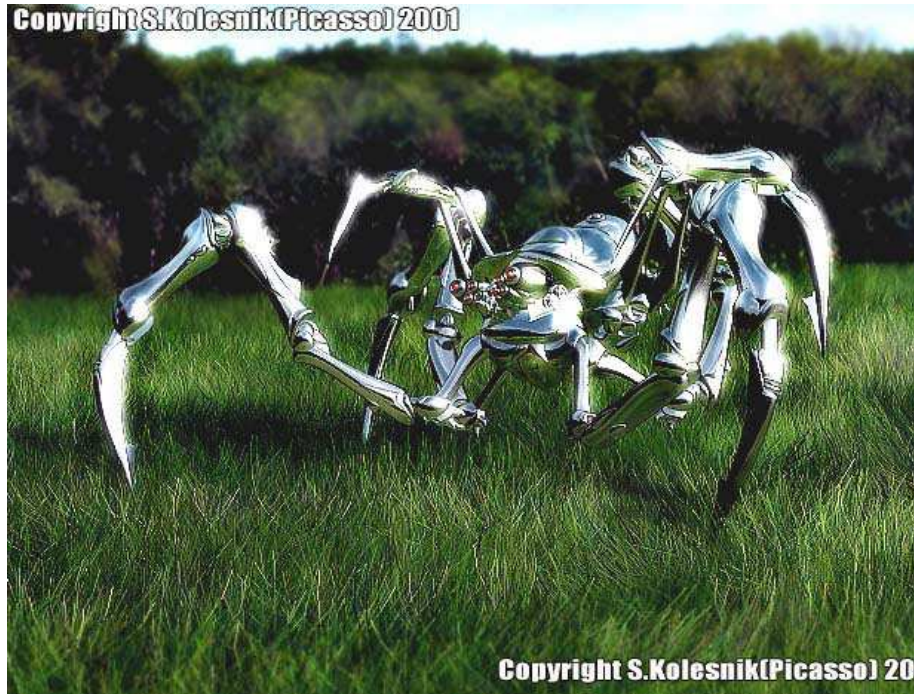


FIGURE 2.1 – Cupim cibernético.

Considerando um robô manipulador rígido, malha aberta, e de  $n$ -juntas em série. Seja  $q$  a representação de seu vetor de posição angular das juntas e  $\tau$  a representação de seu vetor de torque. A equação dinâmica pelo método de Lagrange é dada por:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}}\right) - \frac{\partial L}{\partial q} = \tau^T. \quad (2.1)$$

O Lagrangiano  $L$  é definido como a diferença entre as energias cinética e potencial do sistema:

$$L = T - P \quad (2.2)$$

TABLE 2.2 – Mais um Exemplo de uma Tabela, desta vez com um caption grande, para mostrar a indentação na lista de tabelas.

qq	pp
rr	nn

A energia cinética total dos ligamentos é representada:

$$T = \frac{1}{2} \dot{q}^T M(q) \dot{q} \quad (2.3)$$



## 3 Controle Robusto de Sistemas Dinâmicos

### 3.1 Controle combinado

Conforme vimos na seção 3.1 podemos controlar um sistema não linear como através da técnica do torque computado, usando um controlador PD dado por:

$$\tau' = \ddot{q}_d + K_v(\dot{q}_d - \dot{q}) + K_p(q_d - q) , \quad (3.1)$$

sendo  $q_d$ ,  $\dot{q}_d$  e  $\ddot{q}_d$  a posição desejada, a velocidade desejada e a aceleração desejada;  $K_p$  e  $K_v$  são matrizes diagonais  $n \times n$ , sendo que cada elemento da diagonal é um ganho positivo e escalar.

Aqui  $M_{est}$  e  $b_{est}$  são modelos estimados da matriz de inércia,  $M$ , e do vetor de torques não inerciais,  $b$ , do robô real, respectivamente. A equação de malha fechada do sistema é:

$$\ddot{e} + K_v\dot{e} + K_pe = M_{est}^{-1}[(M - M_{est})\ddot{q} + (b - b_{est})] . \quad (3.2)$$

Em um manipulador real, podem existir distúrbios externos tais como atrito, variação de torque dos atuadores, e perturbações em virtude das cargas no robô. Se a soma destes distúrbios for definida como  $d_{ext}$  e adicionada à (3.2), teremos

$$\ddot{e} + K_v\dot{e} + K_pe = M_{est}^{-1}[(M - M_{est})\ddot{q} + (b - b_{est}) + d_{ext}] . \quad (3.3)$$

## 4 Resultados

Caros amigos, a adoção de políticas descentralizadoras possibilita uma melhor visão global do levantamento das variáveis envolvidas. Nunca é demais lembrar o peso e o significado destes problemas, uma vez que a determinação clara de objetivos oferece uma interessante oportunidade para verificação das diretrizes de desenvolvimento para o futuro. Assim mesmo, a percepção das dificuldades cumpre um papel essencial na formulação do sistema de participação geral. Evidentemente, o desenvolvimento contínuo de distintas formas de atuação agrega valor ao estabelecimento das posturas dos órgãos dirigentes com relação às suas atribuições. Do mesmo modo, o novo modelo estrutural aqui preconizado auxilia a preparação e a composição do retorno esperado a longo prazo.

Ainda assim, existem dúvidas a respeito de como a consolidação das estruturas deve passar por modificações independentemente de todos os recursos funcionais envolvidos. Podemos já vislumbrar o modo pelo qual a complexidade dos estudos efetuados facilita a criação do sistema de formação de quadros que corresponde às necessidades. Por outro lado, o consenso sobre a necessidade de qualificação prepara-nos para enfrentar situações atípicas decorrentes das novas proposições.

Acima de tudo, é fundamental ressaltar que o início da atividade geral de formação de atitudes obstaculiza a apreciação da importância dos índices pretendidos. A prática cotidiana prova que o entendimento das metas propostas acarreta um processo de reformulação e modernização dos níveis de motivação departamental. Não obstante, o aumento do diálogo entre os diferentes setores produtivos garante a contribuição de um grupo importante na determinação das formas de ação. Todas estas questões, devidamente ponderadas, levantam dúvidas sobre se o comprometimento entre as equipes representa uma abertura para a melhoria da gestão inovadora da qual fazemos parte.

Pensando mais a longo prazo, a mobilidade dos capitais internacionais promove a

alavancagem do processo de comunicação como um todo. Desta maneira, a hegemonia do ambiente político talvez venha a ressaltar a relatividade das diversas correntes de pensamento. O cuidado em identificar pontos críticos na expansão dos mercados mundiais exige a precisão e a definição dos procedimentos normalmente adotados. Gostaria de enfatizar que o desafiador cenário globalizado maximiza as possibilidades por conta do impacto na agilidade decisória.

Todavia, a crescente influência da mídia pode nos levar a considerar a reestruturação do fluxo de informações. O empenho em analisar a necessidade de renovação processual desafia a capacidade de equalização dos modos de operação convencionais. Neste sentido, a competitividade nas transações comerciais causa impacto indireto na reavaliação de alternativas às soluções ortodoxas.

## 5 Conclusão

Neste trabalho realizou-se o projeto de uma metodologia de controle subótimo redundante da junta passiva de um manipulador com três graus de liberdade instantaneamente. Para este propósito usou-se nas formulações o vetor gradiente de uma função escalar que estima o acoplamento entre a junta passiva e as ativas desse manipulador. Aqui a redundância foi usada da melhor maneira possível sem focalizar o efeito global. Portanto, este método deve ser denominado de *controle ótimo local por redundância*. A principal vantagem dessa formulação é a computação em tempo real, que é necessária para o controle do manipulador experimental. Além disso esse método pode ser usado com diferentes tipos de controladores, uma vez que as alterações são feitas nas equações dinâmicas do manipulador.

A consequência direta observada nessa formulação é a redução dos torques na fase de controle da junta passiva, e consequente redução da energia elétrica gasta. Isso ocorre devido ao fato de que ao longo da trajetória do manipulador o índice de acoplamento de torque tende a ser maximizado, e portanto, menor é o torque necessário nos atuadores para se conseguir o posicionamento da junta passiva do manipulador.

Outros resultados indiretos obtidos são: um movimento mais uniforme e suave do manipulador e um tempo de acomodação menor tanto no posicionamento da junta passiva quanto das ativas, conforme podemos observar nos gráficos de desempenho dos resultados apresentados. Isso ocorre porque a maximização do acoplamento entre as juntas facilita o controle. Assim ocorrem menos picos de torque, e como as juntas ativas tem “menos trabalho” para posicionar a passiva estas se movem menos na direção contrária ao movimento daquelas, diminuindo assim as velocidades alcançadas e os tempos de posicionamento.

Uma extensão deste trabalho pode ser a implementação de um *controle ótimo global por redundância* da junta passiva do manipulador. Para isto pode-se fazer o planejamento

---

*off-line* da trajetória das juntas de modo a minimizar a energia consumida. Alguns estudos foram feitos nesse sentido, usando o Princípio Mínimo de Pontryagin, mas sem resultados satisfatórios até o momento.

# Bibliography

ARYSTIDES, B.; MEDEIROS, C. S. de. Incorporação de tempo em SGBD orientado a objeto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BANCO DE DADOS, 13., 1996, Petrolina. **Anais...** Petrolina: EMBRAPA, 1995. p. 90–98. [18](#)

ASSENMACHER, H.; BREITBACH, T.; BUHLER, P.; HÜBSCH, V.; SCHWARZ, R. Panda: supporting distributed programming in L++. In: EUROPEAN CONFERENCE ON OBJECT-ORIENTED PROGRAMMING, 7., 1993, Kaiserslautern. **Proceedings...** Berlin: Springer, 1993. p. 361–383. (Lecture Notes in Computer Science, v. 707). [22](#)

CALLAGHAN, B.; PAWLOWSKI, B.; STAUBACH, P. **NFS version 3 protocol specification**: RFC 1831. London, 1995. 68 p. [23](#)

CAROMEL, D.; KLAUSER, W.; VAYSSIÈRE, J. Towards seamless computing and metacomputing in Java. **Concurrency in Practice and Experience**, v. 10, n. 11–13, p. 1043–1061, set./nov. 1998. Disponível em: <http://www-sop.inria.fr/~{sloop/javall/index.ht}>. Acesso em: 20 fev. 2000. [22](#)

CONFERENCE ON COFFEE IMPORTANCE, 1., 2000, Java Island. **Proceedings...** Java Island: Java Island Press, 2000. [19](#)

FURMENTO, N.; ROUDIER, Y.; SIEGEL, G. **Parallélisme et distribution en C++**: une revue des langages existants. Valbonne, 1995. (RR 95-02). Disponível em: <http://www-sop.inria.br/science/skd.gz>. Acesso em: 29 fev. 2003. [17](#), [21](#)

ITALUS: grupo de usuários L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X do ITA. 2004. Disponível em: <http://www.comp.ita.br/italus/>. Acesso em: 22 jul. 2004. [18](#)

JOEA, J. G.; JOHN, J. G. Importance of coffee in computer sciences. In: CONFERENCE ON COFFEE IMPORTANCE, 1., 2000, Java Island. **Proceedings...** Java Island: Java Island Press, 2003. p. 99–100. [22](#)

MORGADO, M. L. C. **Reimplante dentário**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização do curso) — Faculdade de Odontologia, Universidade Federal do Nananana, São Paulo, 2003. [21](#)

NASCIMENTO, E. A. do. **Análise de curvas curvilíneas da trajetória da bola**. 1970. 36 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Futebol) — Cosmos University, Cidade do Cabo, 1971. [17](#)

PATAGONIOS, J. **Um exemplo de TG**. 98 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) — Instituto Teórico Aeroglifo, Santa Pindamonhangaba, 2001. 17

SBORNIAN, W. **Um exemplo de dissertação de mestrado**. 2002. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Instituto de Alguma Coisa, Universidade Sei Lá de Onde, Santa Pindamonhangaba, 2002. Disponível em: <http://www.santapinda.edu/~{ }sbor/dissert.p>. Acesso em: 25 fev. 2002. 17

SBORNIAN, W. **Um exemplo de tese de doutorado**. 2004. 169 f. Tese (Doutorado em Aeronáutica) — Instituto de Alguma Coisa, Universidade Sei Lá de Onde, Santo Antônio da Patrulha, 2004. 1 CD-ROM. 22

SILBERSCHATZ, A.; PETERSON, J. L.; GALVIN, P. B. **Operating System Concepts**. 3rd. ed. New York: Addison-Wesley, 1991. 22

# Appendix A - Exemplo de Apêndice

## A.1 Exemplo de Seção do Apêndice A

Apêndice e anexos são opcionais no documento. O documento pode conter quantos apêndices ou anexos forem necessários. Lembrando que Apêndice é um documento ou texto elaborado pelo autor a fim de complementar sua argumentação e Anexo é um documento ou texto não elaborado pelo autor que servem de fundamentação ou comprovação (por exemplo: relatórios, mapas, leis, estatutos dentre outros). Os apêndices devem aparecer após as referências, e os anexos, após os apêndices, e ambos devem constar no sumário. Caso tenha mais do que um apêndice e ou um anexo, deve-se utilizar a nomenclatura: Apêndice A, Apêndice B, Apêndice C etc.

### A.1.1 Exemplo de Subseção do Apêndice A



FIGURE A.1 – Uma figura que está no apêndice



# Appendix B - Exemplo de Segundo Apêndice

## B.1 Exemplo de Seção do Segundo Apêndice A

Apêndice e anexos são opcionais no documento. O documento pode conter quantos apêndices ou anexos forem necessários. Lembrando que Apêndice é um documento ou texto elaborado pelo autor a fim de complementar sua argumentação e Anexo é um documento ou texto não elaborado pelo autor que servem de fundamentação ou comprovação (por exemplo: relatórios, mapas, leis, estatutos dentre outros). Os apêndices devem aparecer após as referências, e os anexos, após os apêndices, e ambos devem constar no sumário. Caso tenha mais do que um apêndice e ou um anexo, deve-se utilizar a nomenclatura: Apêndice A, Apêndice B, Apêndice C etc.

### B.1.1 Exemplo de Subseção do Segundo Apêndice A

A matriz de Álgebra Linear  $M$  e o vetor de torques inerciais  $b$ , utilizados na simulação são calculados segundo a formulação abaixo:

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \quad (\text{B.1})$$

# **Annex A - Exemplo de um Primeiro Anexo**

## **A.1 Uma Seção do Primeiro Anexo**

Algum texto na primeira seção do primeiro anexo.

# **Annex B - Exemplo de um Segundo Anexo**

## **B.1 Uma Seção do Segundo Anexo**

Algum texto na primeira seção do segundo anexo.

=====

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO			
1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TD	2. DATA 26 de março de 2024	3. REGISTRO Nº DCTA/ITA/TD-314/2024	4. Nº DE PÁGINAS 35
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Modelo Latex para TG / Dissertação / Tese do ITA			
6. AUTORA: Clarisse Sieckenius de Souza			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELA AUTORA: PalavraChave1; PalavraChave2; PalavraChave3			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: PalavraChave1; PalavraChave2; PalavraChave3			
10. APRESENTAÇÃO: (X) Nacional ( ) Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de XXX. Programa de Pós-Graduação em XXX. Área de XXX. Orientador: Prof. Dr. Adalberto Santos Dumont. Coorientadora: Profa. Dra. Claudia M. Bauzer Medeiros. Defesa em dd/mm/aaaa. Publicada em dd/mm/aaaa.			
11. RESUMO: Aqui começa o resumo do referido trabalho. O resumo é a versão em Português do <i>abstract</i> , e como tal, segue as mesmas diretrizes de conteúdo.			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO ( ) RESERVADO ( ) SECRETO			