



UNIFOR

**UNIVERSIDADE DE FORTALEZA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**GUSTAVO MITSUO FERNANDES VALENTE TAKEDA
PAULO RUAN OLIVEIRA BARBOSA**

**SOFTWARE DE SIMULAÇÃO 3D PARA BRAÇOS ROBÓTICOS EM AMBIENTES
COMPUTACIONAIS**

**FORTALEZA – CEARÁ
2017**

GUSTAVO MITSUO FERNANDES VALENTE TAKEDA

PAULO RUAN OLIVEIRA BARBOSA

**SOFTWARE DE SIMULAÇÃO 3D PARA BRAÇOS ROBÓTICOS EM AMBIENTES
COMPUTACIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Ciência da Com-
putação do Centro de Ciências Tecnológicas
da Universidade de Fortaleza, como requisito
parcial à obtenção do grau de bacharel em
Ciência da Computação.

Orientador: Juliano de Oliveira Pacheco

FORTALEZA – CEARÁ

2017

A ficha catalográfica deve ser gerada no site da biblioteca da Unifor através do link <https://goo.gl/XYUWSC> (link encurtado).

Preencha o formulário com as informações solicitadas e ao final será gerado um arquivo PDF da ficha catalográfica a ser anexada na versão final do TCC.

O arquivo PDF deve ser renomeado para "ficha-catalografica.pdf" (sem aspas) e colocado no diretório "elementos-pre-textuais" (sem aspas) do modelo de TCC da Unifor.

Ficha catalográfica da obra elaborada pelo autor através do programa de geração automática da Biblioteca Central da Universidade de Fortaleza

Batista, Bruno .

TEORIA DA RELATIVIDADE: SUBTÍTULO / Bruno Batista, Sandra Lima. - 2017
40 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade de Fortaleza. Curso de Ciência da Computação, Fortaleza, 2017.
Orientação: Liadina Camargo.

1. FÍSICA. 2. RELATIVIDADE. 3. TEMPO. 4. ESPAÇO. I. Lima, Sandra. II. Camargo, Liadina. III. Título.

GUSTAVO MITSUO FERNANDES VALENTE TAKEDA

PAULO RUAN OLIVEIRA BARBOSA

**SOFTWARE DE SIMULAÇÃO 3D PARA BRAÇOS ROBÓTICOS EM AMBIENTES
COMPUTACIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Ciência da Com-
putação do Centro de Ciências Tecnológicas
da Universidade de Fortaleza, como requisito
parcial à obtenção do grau de bacharel em
Ciência da Computação.

Aprovada em: 01 de Janeiro de 2017

BANCA EXAMINADORA

Juliano de Oliveira Pacheco (Orientador)
Centro de Ciências Tecnológicas - CCT
Universidade de Fortaleza - UNIFOR

Membro da Banca Dois
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade do Membro da Banca Dois - SIGLA

Membro da Banca Três
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade do Membro da Banca Três - SIGLA

Membro da Banca Quatro
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade do Membro da Banca Quatro - SIGLA

Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,
quando pequenas, sonharam em se tornar ciê-
ntistas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitária, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Obrigada aos meus irmãos e sobrinhos, que nos momentos de minha ausência dedicados ao estudo superior, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente!

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

“É melhor lançar-se à luta em busca do triunfo mesmo expondo-se ao insucesso, que formar fila com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito; E vivem nessa penumbra cinzenta sem conhecer nem vitoria nem derrota.”

(Franklin Roosevelt)

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma Interface Homem-Máquina (IHM) para o controle de um braço robótico, propondo uma solução de hardware e software com joystick e interface gráfica para simulação de movimentos em tempo real em um ambiente computacional. O objetivo central é viabilizar o reparo e aprimoramento de equipamentos industriais legados, por meio de uma abordagem de baixo custo e código aberto. Além de fornecer controle manual (via joystick), a interface implementa a possibilidade de ajustes automáticos, permitindo o retrofitting de maneira acessível e flexível. Ao longo do texto, aborda-se a justificativa do projeto, a metodologia utilizada, os resultados práticos e as perspectivas de aplicação em larga escala.

Palavras-chave: Automação Industrial. Controle de Robôs. Interface Gráfica. Simulação 3D. Retrofit.

ABSTRATO

This work presents the development of a Human-Machine Interface (HMI) for controlling a robotic arm, proposing a hardware and software solution with a joystick and graphical interface for simulating movements in real time in a computational environment. The central objective is to enable the repair and improvement of legacy industrial equipment, through a low-cost and open source approach. In addition to providing manual control (via joystick), the interface implements the possibility of automatic adjustments, allowing retrofitting in an accessible and flexible way. Throughout the text, the justification for the project, the methodology used, the practical results and the prospects for large-scale application are discussed.

Keywords: Industrial Automation. Robot Control. Graphical Interface. 3D simulation. Retrofit.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	MOTIVAÇÃO	10
1.2	OBJETIVOS	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	CONCEITOS DE ROBÓTICA INDUSTRIAL	13
2.2	TECNOLOGIAS DE CONTROLE	13
2.3	SIMULAÇÃO 3D EM TEMPO REAL	13
2.4	DESIGN DE SOFTWARE	14

1 INTRODUÇÃO

A automação industrial tem desempenhado um papel fundamental na otimização de processos de produção e na busca por maior eficiência operacional. Nesse contexto, braços robóticos, como os da série Mitsubishi RV-2SDB/RV-2SQB, emergem como ferramentas essenciais para a execução de tarefas complexas com precisão e repetitividade. Contudo, muitas empresas enfrentam desafios para manter esses equipamentos atualizados e funcionais, especialmente quando a manutenção depende de fornecedores externos, o que eleva custos e tempo de inatividade.

Neste trabalho, propõe-se a criação de uma Interface Homem-Máquina (IHM) para controlar um braço robótico, atendendo a uma demanda específica de reparo e retrofit do modelo Mitsubishi RV-2SDB/RV-2SQB. A solução, desenvolvida em um ambiente de baixo custo e baseada em bibliotecas open source, visa não apenas suprir a necessidade de controle manual e automático do robô, mas também oferecer uma base reutilizável para reparos e aprimoramentos em outros contextos industriais. Um dos destaques é a incorporação de uma simulação 3D em tempo real, permitindo ao operador visualizar e acompanhar os movimentos do braço robótico em um ambiente virtual sincronizado com a execução física.

A relevância do projeto reside na:

- a) Viabilizar uma alternativa econômica para manutenção de robôs em cenários com recursos limitados.
- b) Criar um software de controle que integra joystick, interface gráfica e simulação 3D, ampliando a usabilidade e o entendimento das operações
- c) Possibilitar compartilhamento e aprimoramento contínuo, já que o código segue uma filosofia open source, beneficiando o meio acadêmico e industrial.

Este documento descreve a fundamentação teórica que embasa o desenvolvimento, a abordagem metodológica adotada, os resultados obtidos e as implicações práticas no setor industrial e na comunidade acadêmica. Espera-se demonstrar que a combinação de controle manual, ajustes automáticos e visualização 3D online pode proporcionar maior confiabilidade, usabilidade e escalabilidade às soluções de automação.

1.1 MOTIVAÇÃO

A motivação central deste trabalho surge da necessidade de reparo e aprimoramento de um braço robótico *Mitsubishi RV-2SDB/RV-2SQB*, cujo suporte especializado tornou-se in-

viável devido a restrições orçamentárias. Assim, a abordagem escolhida foca em soluções de baixo custo e ferramentas open source, unificando controle manual, monitoramento automático e simulação 3D.

Em cenários industriais, a inatividade de um robô devido a falhas em módulos de controle gera prejuízos financeiros e produtivos. Uma IHM que facilite ajustes de velocidade, posicionamento e correção de falhas, além de oferecer simulação 3D realista, pode reduzir tempos de parada e retrabalho. A motivação, portanto, combina fatores econômicos, técnicos e operacionais, buscando uma solução modular e flexível.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos geral e específicos deste projeto visam oferecer uma solução completa para controle e monitoramento do braço robótico Mitsubishi RV-2SDB/RV-2SQB em ambiente industrial. A aplicação integra *firmware*, *software* e interface gráfica, com simulação 3D em tempo real para melhorar visualização e diagnóstico.

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma **Interface Homem-Máquina** robusta, econômica e *open source* para controle de um braço robótico, permitindo tanto operação manual (por *joystick*) quanto ajustes automáticos, além de oferecer uma simulação 3D em tempo real que refletia os movimentos e estados do robô.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Projetar e implementar o *firmware* de controle, definindo um protocolo de comunicação de 32 bits para *hardware* como *ESP32* e *FPGA*, incluindo recursos de freio, *reverse* e ajuste de velocidade;
- b) Integrar um dispositivo *joystick* à interface gráfica, de modo a fornecer um controle manual intuitivo para o operador;
- c) Desenvolver e incorporar uma simulação 3D em tempo real, sincronizada com as ações do braço robótico, possibilitando a identificação de falhas e otimização dos parâmetros de controle;
- d) Avaliar o desempenho do sistema em cenários de testes, verificando latência, confiabilidade e consumo de recursos do *host* e do *microcontrolador*;

- e) Documentar o projeto em formato *open source*, compartilhando bibliotecas e instruções que facilitem o *retrofit* de outros braços robóticos ou equipamentos industriais legados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A modernização de equipamentos industriais por meio de técnicas de *retrofit* é cada vez mais relevante no contexto da Indústria 4.0. Avanços em microeletrônica e sistemas embarcados permitem atualizar módulos de controle, como os do Mitsubishi RV-2SDB/RV-2SQB, sem a necessidade de substituir máquinas inteiras, reduzindo custos e prolongando sua vida útil. Este capítulo apresenta os conceitos que sustentam o desenvolvimento da IHM proposta, com ênfase nas tecnologias de controle e simulação 3D.

2.1 CONCEITOS DE ROBÓTICA INDUSTRIAL

Braços robóticos industriais, como o Mitsubishi RV-2SDB/RV-2SQB, operam com base em cinemática direta e inversa para calcular posições e velocidades das juntas em tarefas precisas. A cinemática direta determina a posição e orientação do efetuador final a partir dos ângulos das juntas, enquanto a cinemática inversa faz o oposto, encontrando os ângulos das juntas para uma dada posição do efetuador. O robô Mitsubishi RV-2SDB/RV-2SQB, com 6 eixos, possui especificações como alcance de $\pm 240^\circ$ para a junta J1, velocidade máxima de 4.490 mm/s, repetibilidade de ± 0.02 mm, e capacidade de carga de 2 kg, conforme o manual técnico [1]. Esses parâmetros são essenciais para a modelagem cinemática no software de simulação.

2.2 TECNOLOGIAS DE CONTROLE

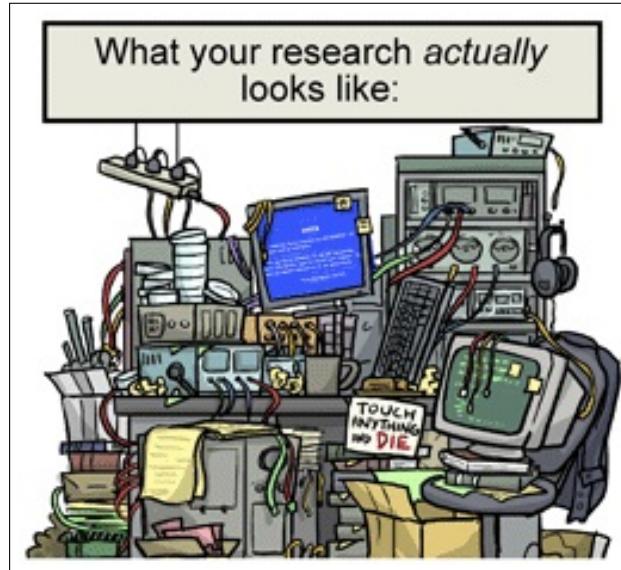
A integração de hardware para controle preciso do robô é fundamental. O firmware gerencia sinais para controlar os motores, ajustando velocidade e direção. Bibliotecas open source, como SDL (Simple DirectMedia Layer), facilitam a conexão com dispositivos de entrada, como joysticks, permitindo controle manual intuitivo. A interface gráfica, desenvolvida com ImGui, exibe estados do robô e permite ajustes interativos, melhorando a usabilidade.

A Figura 1 exibe um diagrama mostrando a interação entre o firmware, o software de controle, e a simulação 3D, com dados de entrada do joystick e saída visual na interface gráfica.

2.3 SIMULAÇÃO 3D EM TEMPO REAL

A simulação 3D em tempo real permite ao operador visualizar os movimentos do robô em um ambiente virtual, facilitando o monitoramento e a detecção de falhas. Utilizando

Figura 1 – Fluxo de dados entre o sistema de controle e a simulação 3D, ilustrando a sincronia entre movimentos reais e virtuais.



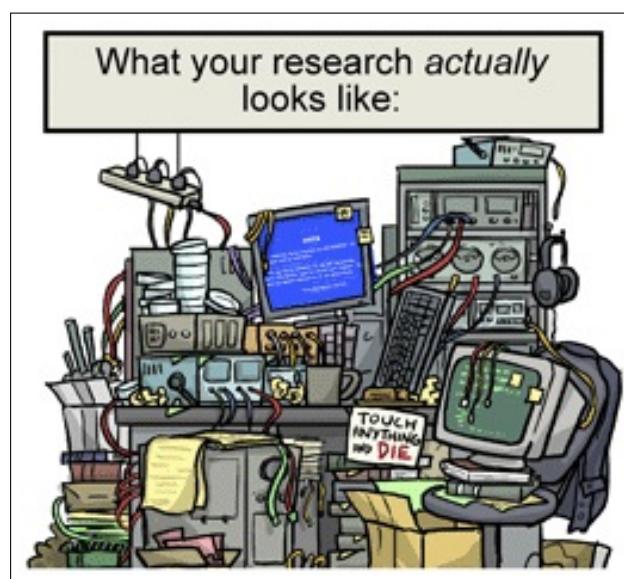
Fonte: Elaborado pelo autor

OpenGL para renderização, GLM para cálculos de álgebra linear, e Assimp para carregar modelos 3D (e.g., *rv2sdb.obj*), o software representa fielmente o robô e seus movimentos. A simulação reflete as especificações do robô, como o alcance de 3240° da junta J1, garantindo precisão visual.

2.4 DESIGN DE SOFTWARE

O software foi desenvolvido seguindo princípios de modularidade, com separação de preocupações entre renderização, entrada de dados, cinemática, e interface gráfica. Isso permite manutenção e escalabilidade, facilitando a adaptação para outros robôs ou aplicações industriais. A arquitetura modular é suportada por bibliotecas como fmt para logging e xmake para gerenciamento de compilação.

Figura 2 – Representação esquemática da camada digital, destacando a geração de sinais de controle.



Fonte: Elaborado pelo autor