

SISTEMA ADAPTÁVEL PARA TELEREABILITAÇÃO ROBÓTICA COM JOGOS SÉRIOS

Leonardo José Consoni

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia Mecânica
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica



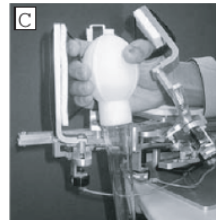
Seções

- 1 Introdução
- 2 Objetivos
- 3 Materiais e Métodos
- 4 Testes e Resultados
- 5 Conclusão

Motivações

- Crescimento nos casos de problemas de saúde com comprometimento motor (WHO, 2004)
 - Ortopédicos: Lesões em articulações e fraturas
 - Neurológicos: AVE, lesão medular, Esclerose Múltipla
- Maior carga sobre serviços de saúde
- Necessidade de terapias mais eficientes
- Aumento nos estudos sobre Reabilitação Robótica (Krebs et al., 2008; Marchal-Crespo e Reinkensmeyer, 2009; Cao et al., 2014)

- Uso de robôs em terapia física e ocupacional



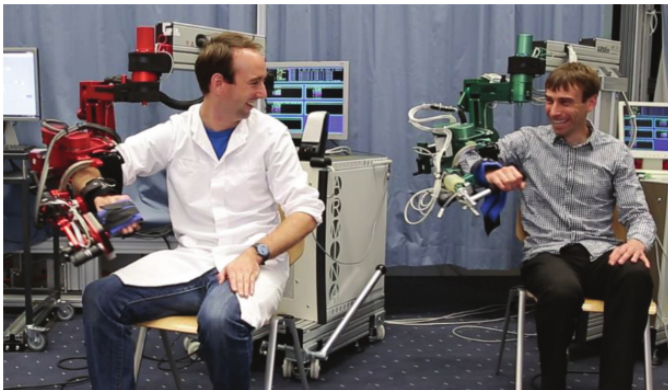
4/39

Pontos: 1

5 / 39

Telereabilitação Robótica

- Teleoperação para atividades em grupo e/ou assistidas remotamente



Lanini et al. (2015)

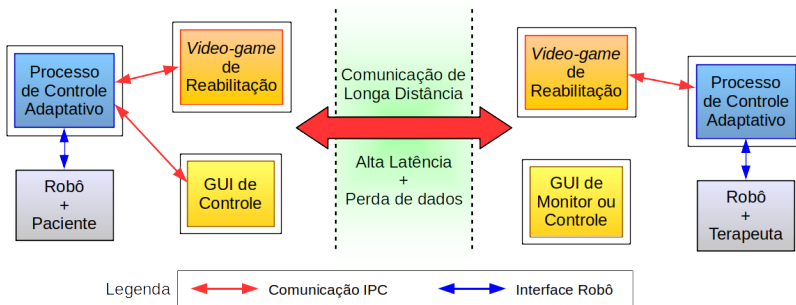
Desafios Considerados

- Falta de padronização: arquiteturas e protocolos
- Suporte à variedade de robôs de reabilitação
- Adaptação a características de cada paciente
 - Estáticas: anatômicas, pouca alteração ao longo do tempo
 - Dinâmicas: variam com evolução ou fadiga
- Para Telereabilitação:
 - Longas distâncias (atrasos de comunicação)
 - Baixa qualidade de rede (perda de dados)
 - Instabilidades em controle envolvendo realimentação remota (bilateral)

Seções

- 1 Introdução
- 2 **Objetivos**
- 3 Materiais e Métodos
- 4 Testes e Resultados
- 5 Conclusão

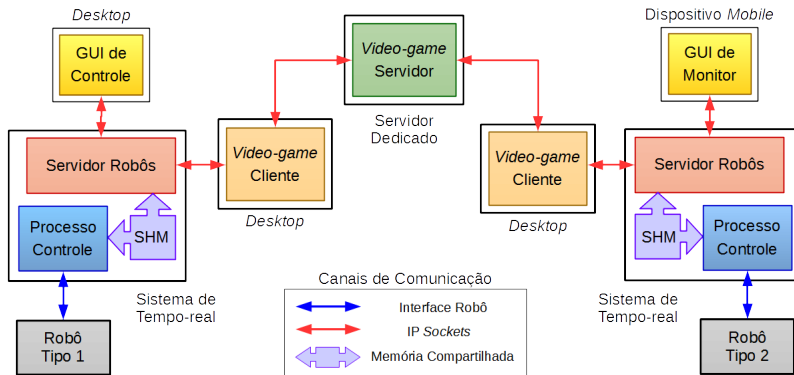
Combinação de Tecnologias



Plataforma Unificada

- Extensão dos trabalhos prévios do *ReRob*
- Estudo de diferentes técnicas para Reabilitação Robótica
- Sistema genérico multipropósito
 - Abstrair detalhes de cada implementação específica
 - Permitir configuração/adaptação sem alterações no código
- Capacidade de registrar resultados relevantes

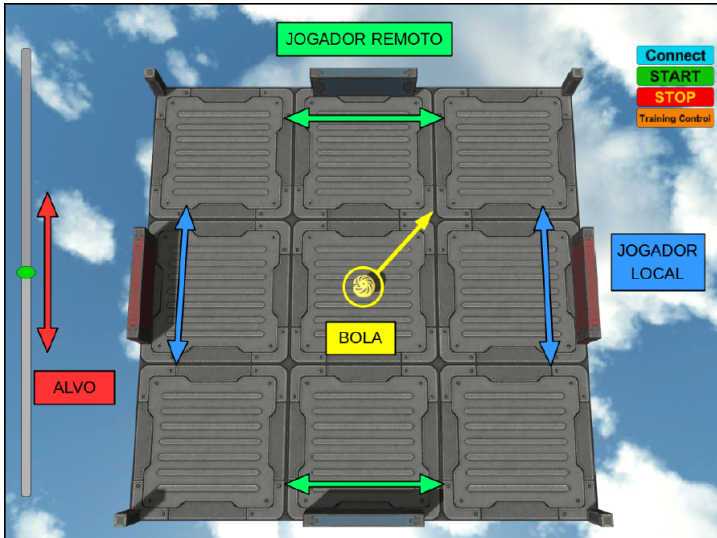
Software (Design)



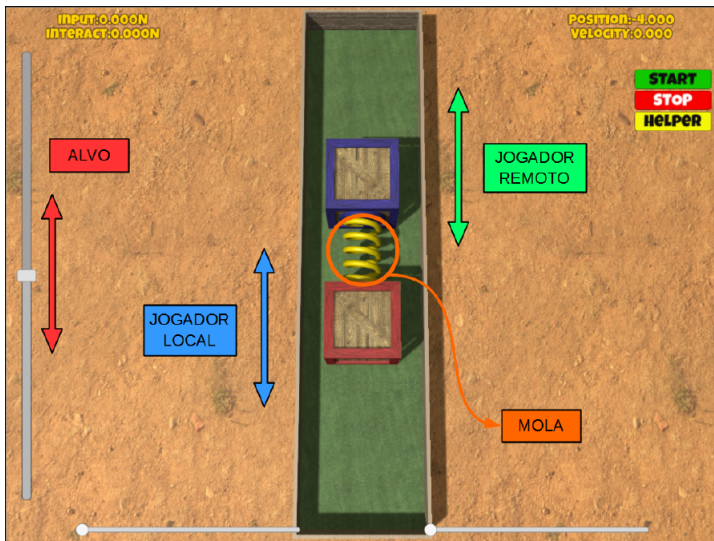
Jogos de Telereabilitação

- *Game engine (Unity3D)*
 - Maior produtividade
 - Reutilização de componentes
 - Foco nas características específicas de cada Jogo
- *Framework* criado para maior reutilização de código
- Modo cliente e servidor
- Tratamento de atrasos
- Atividades unilateral e bilateral

Atividade Unilateral (*Double Pong*)



Atividade Bilateral (*Box Clash*)



Tratamento de Atrasos na Comunicação

- Prevenção: Ajuste dinâmico da frequência de atualização
 - Tolerância a pequenas variações de valores
 - Evitar comunicações desnecessárias
 - Impedir congestionamento de rede
- Compensação: Específica para cada tipo de atividade
 - Unilateral: predição e suavização de movimento
 - Bilateral: variáveis de onda (Niemeyer e Slotline, 2004)

Procedimento

- Registro de dados em ambos os clientes
 - *Timestamps* de mensagens
 - *Round-trip time* (RTT)
 - Unilateral: posições dos objetos sincronizados
 - Bilateral: velocidades e forças de interação nos objetos sincronizados
- Referência de tempo sincronizada

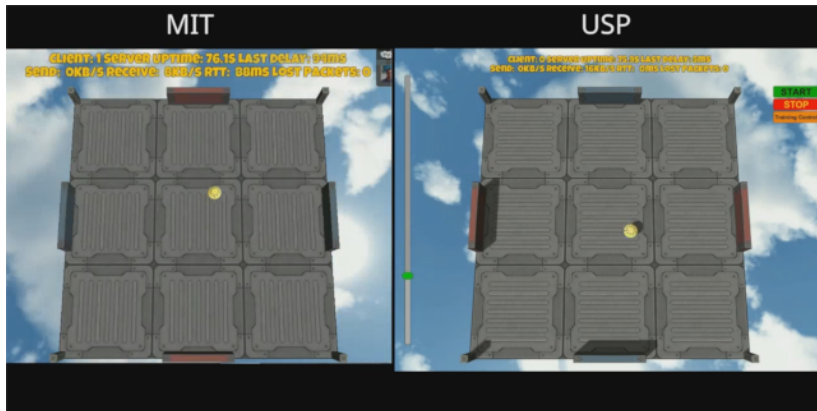
Procedimento (Atividade Unilateral)

- Teste 1 (Projeto MIT-FAPESP)
 - 2 *Anklebots*
 - Atraso real (longa distância de comunicação)
 - Apenas uso da suavização de movimento
 - Comparação de resultados a) sem e b) com suavização

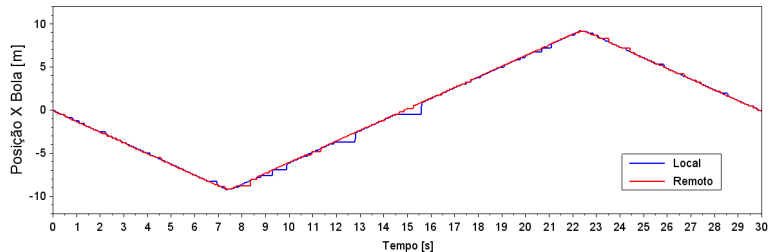
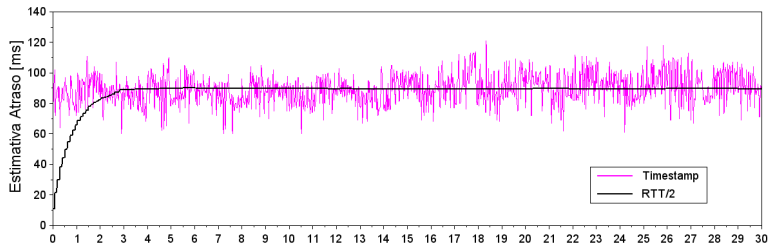
Configuração (Teste 1 - Vídeo)



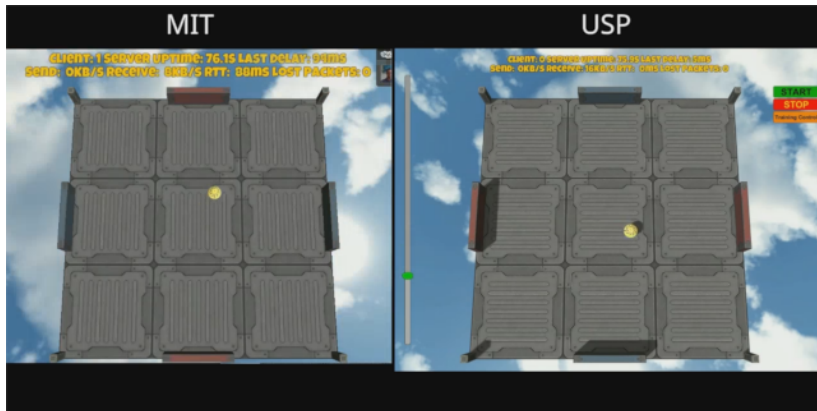
Resultados (Atividade Unilateral - Teste 1a - Vídeo)



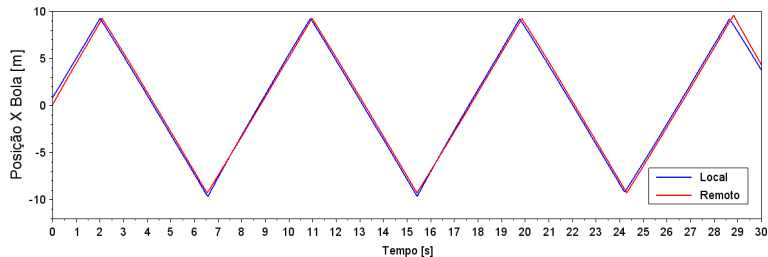
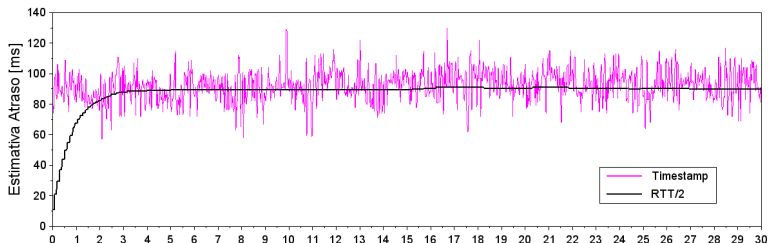
Resultados (Atividade Unilateral - Teste 1a)



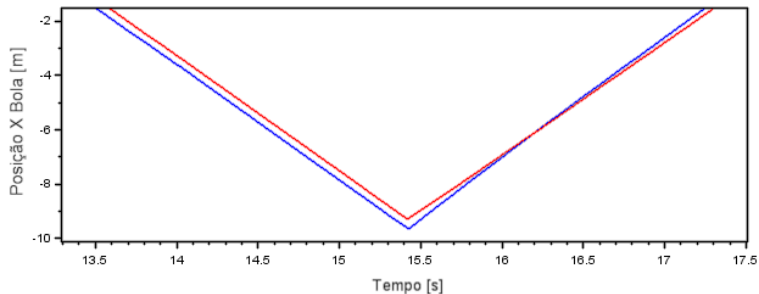
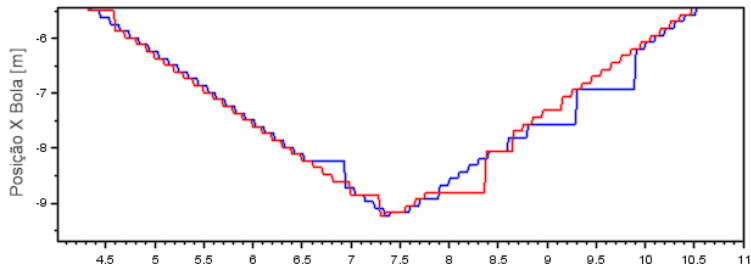
Resultados (Atividade Unilateral - Teste 1b - Vídeo)



Resultados (Atividade Unilateral - Teste 1b)



Resultados (Atividade Unilateral - Detalhe 1a vs 1b)



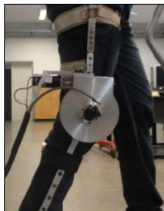
Procedimento (Atividade Unilateral)

- Teste 2 (ReRob)
 - Anklebot e órtese de joelho
 - Atraso simulado (300 ms por canal)
 - Efeitos da predição de movimento
 - Comparação de a) suavização com b) predição + suavização

Configuração (Teste 2)



Anklebot



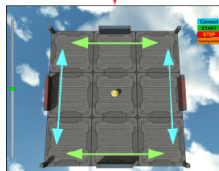
Órtese de Joelho

Linux Tempo-Real

Controle
+
Robot Server

Comunicações

↔ PCI4E/PowerDAQ
↔ CANOpen/EPOS
↔ IP Sockets

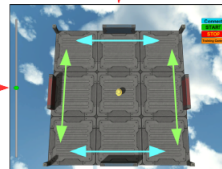


Cliente 1

NI PXIe-8115

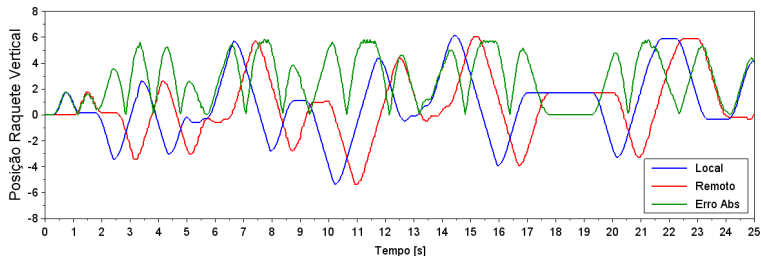
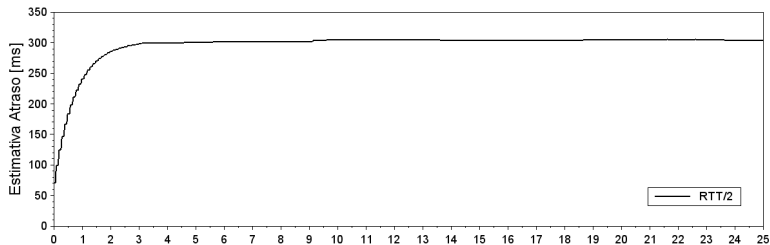
Controle
+
Robot Server

Game Server

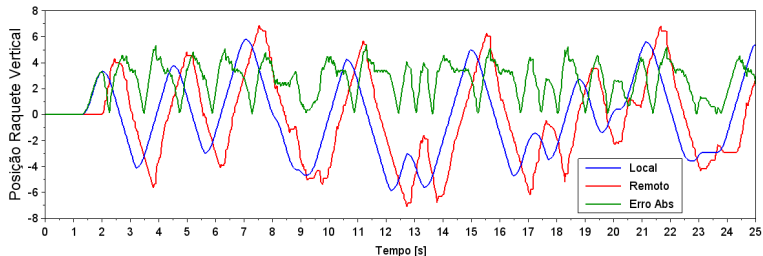
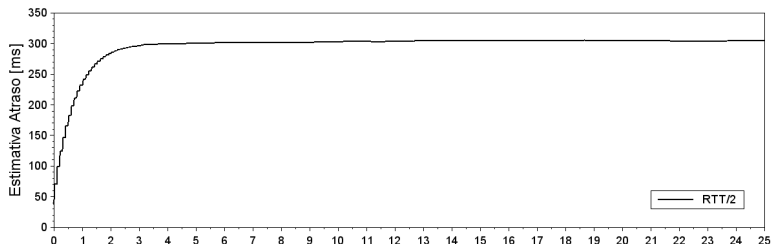


Cliente 2

Resultados (Atividade Unilateral - Teste 2a - $\text{RMS} \approx 2.84$)

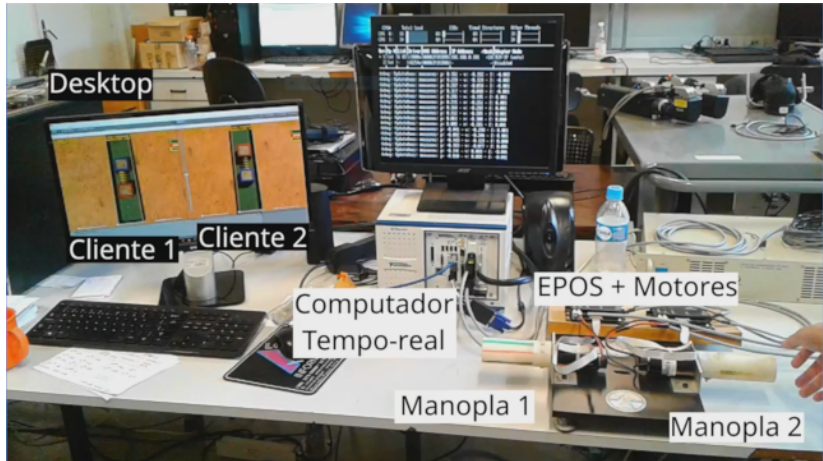


Resultados (Atividade Unilateral - Teste 2b - $\text{RMS} \approx 2.71$)

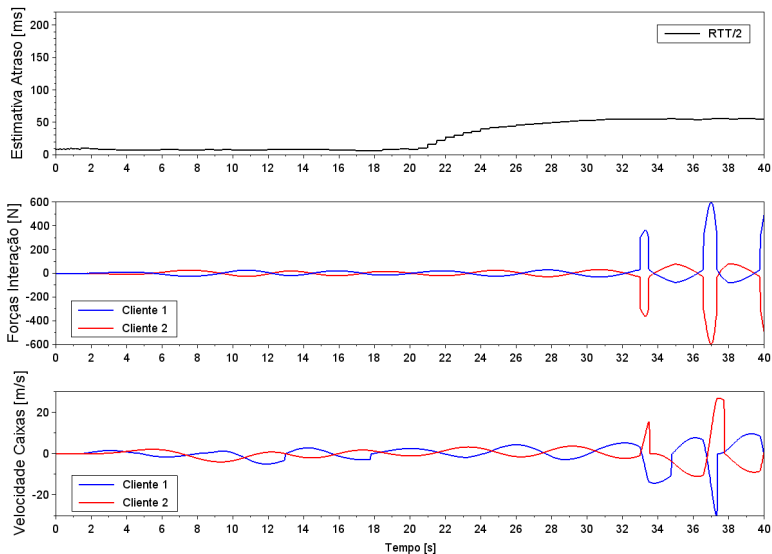


Procedimento (Atividade Bilateral)

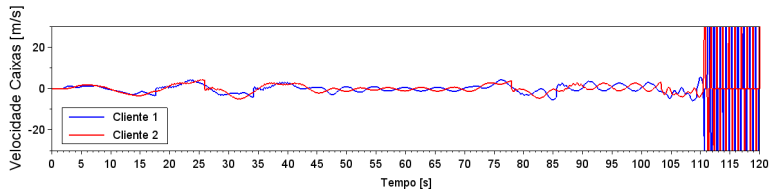
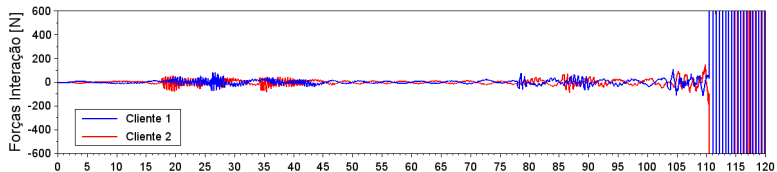
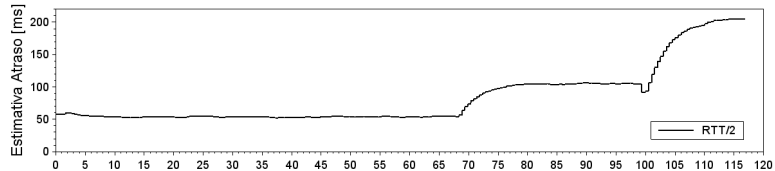
- Órteses inativas ou motores desacoplados ativos
- Atraso simulado alterado manualmente
- Teste 1
 - Transmissão direta de força e velocidade
 - Ajuste de valores até se obter modelo estável
 - Aumento do atraso até a instabilidade
- Teste 2
 - Aplicação de variáveis de onda
 - Verificação do aumento de tolerância ao atraso



Resultados (Atividade Bilateral - Teste 1)



Resultados (Atividade Bilateral - Teste 2)



Discussão de Resultados

- A aplicação do sistema se mostrou viável
 - Em casos reais de comunicação a distância
 - Sob situações simuladas de atraso mais severo
 - Para utilização em diferentes robôs
- Dados relevantes registrados e comparáveis
- Ainda há limitações a serem trabalhadas
 - Predição de movimento tem efeito modesto
 - Variáveis de onda não correspondem à teoria

Trabalhos Futuros

- Adaptação mais completa ao paciente
 - Otimização estática (OpenSim, Redes Neurais)
 - Estimativa de esforço e impedância do usuário (dinâmica inversa, EMG)
 - Controle adaptativo
- Novas técnicas de teleoperação bilateral:
 - Casamento de impedância (Niemeyer e Slotline, 2004)
 - Modulação de impedância de onda (Rodríguez-Seda, 2015)
 - Critério de ganho pequeno (Atashzar, Polushin e Patel, 2012)
- Dispositivos embarcados
- Colaboração com outros pesquisadores/desenvolvedores

Resultados Adicionais

- Artigos publicados em conferência
 - 5^o ENEBI: Consoni e Siqueira (2015)
 - 23rd COBEM: Consoni, Santos e Siqueira (2015)
 - 6th BioRob: Consoni et al. (2016)
 - 1^o SipGEM: Consoni e Siqueira (2016)
 - 15th ICORR: Consoni, Siqueira e Krebs (2017)
- Disponibilização do código (GitHub)
- Documentação (Doxygen e GH Pages)

Agradecimentos

