
Simulação, simuladores e projetos de controle

O uso de simuladores no projeto de sistemas de controle

Definição

■ O que é simulação?

É a representação de um processo ou sistema, em suas definições mais amplas, feita com base na imitação de suas características.

Contexto

Simulação é uma abordagem que vem desde a antiguidade, iniciando-se com o uso de modelos em escala para a construção de templos e análise de estratégias militares em campos de batalha até os complexos sistemas computacionais de hoje.

Aplicações

- Aplicações na antiguidade ...
 - O uso de maquetes para o estudo de manobras (tais como movimentação, içamento e posicionamento de grandes blocos) nas grandes construções da antiguidade.
 - O uso de mapas para a disposição de tropas em campos de batalha e estudo de estratégias militares.
 - Adestramento de tropas com armas e máquinas.
 - O uso de maquetes e mapas como auxílio para o planejamento de estradas e construções associadas.

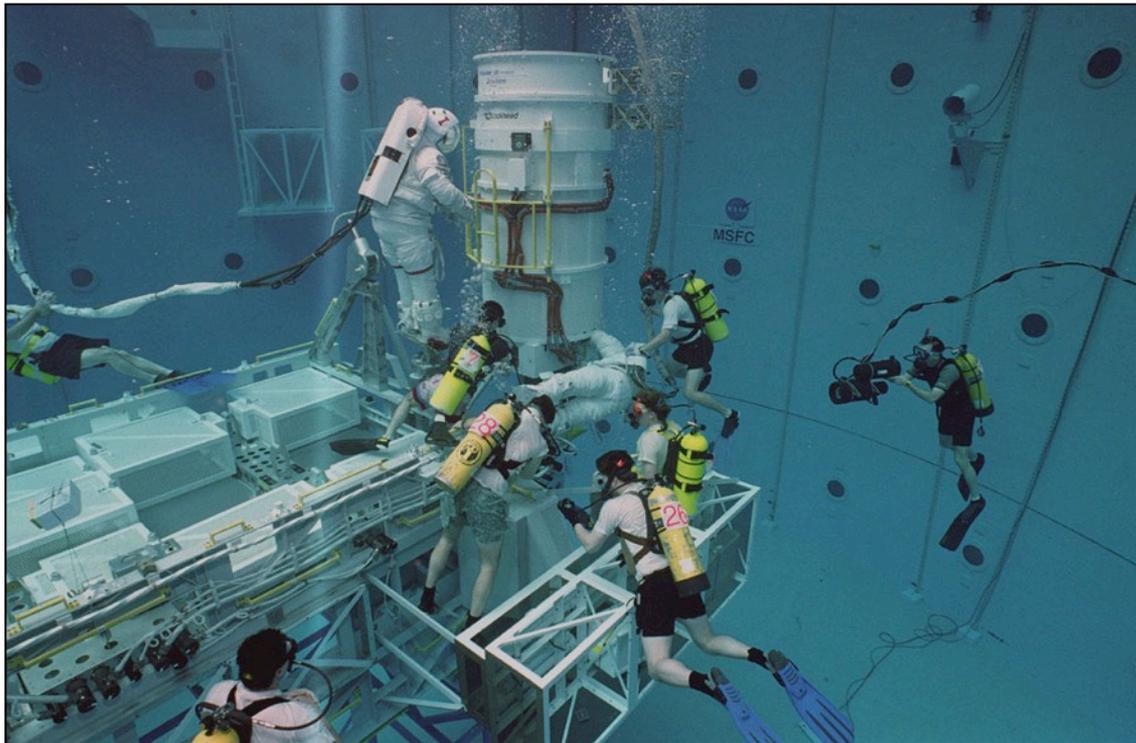
Aplicações

■ ... e ainda hoje



O veículo robótico Spirit se encontra imobilizado em Marte, e técnicos da Nasa simulam manobras para sua liberação.

Aplicações



Simulador de flutuabilidade neutra (NASA)

Aplicações

- Aplicações hoje
 - Treinamento de operadores de máquinas e equipamentos

Aplicações



Simulador de vôo
(NASA)

Aplicações



Simulador de trem
(VALE)

Aplicações



Simulador de CCM
(Marinha do Brasil)

Aplicações



Simulador da Sala de Controle de uma Usina Nuclear (Eletronuclear)

Aplicações

- Previsão

Avaliar um resultado futuro a partir de uma configuração e cenários hipotéticos

Exemplo:

Qual é a mais longa viagem para um dado veículo com 7 litros de combustível no tanque na Rodovia dos Imigrantes?

Aplicações

- Análise operacional

Investigar o impacto de políticas operacionais sobre um dado processo

Exemplo:

Qual é o impacto a médio prazo nos índices de inflação brasileiros causado por um aumento de 0,25% na taxa básica de juros do Banco Central?

Aplicações

- Otimização operacional

Levar a análise operacional a um patamar superior de sofisticação

Exemplo:

Qual é o tamanho ideal de uma frota de veículos para minimizar o tempo de entrega e os custos operacionais?

Como gerenciar a fila de atracação do Porto de Santos para maximizar a movimentação de cargas e minimizar o tempo de espera?

Aplicações

- Desenvolvimento de sistemas de automação

Especificar, projetar e testar sistemas de automação e controle utilizando simuladores em vez dos processos reais

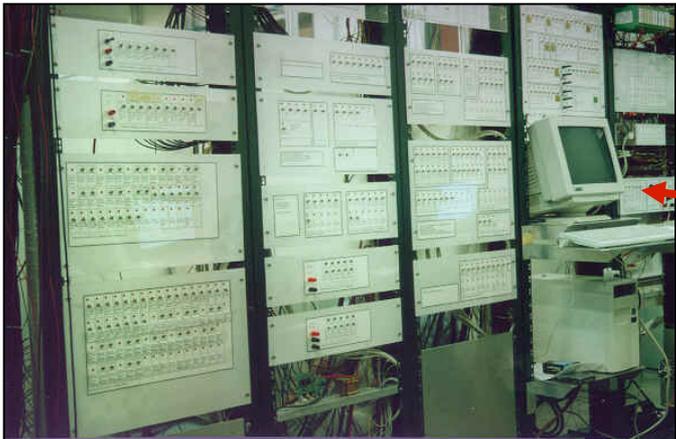
Exemplo:

O Projeto MODFRAG (Marinha do Brasil)

Aplicações



IHM do sistema



Primeira versão do simulador

Unidade remota de controle
(para um bordo)



Aplicações

■ Entretenimento



Tipos de simuladores

- Quanto à implementação
 - **Analógicos**
e.g. tanque de fluabilidade da NASA,
circuitos eletro-eletrônicos
 - **Digitais** (implementados em computador)
e.g. a maioria hoje em dia
 - **Híbridos**

Tipos de simuladores

■ Quanto à temporização

■ **Tempo real**

A duração dos processos simulados é consistente com os processos reais

e.g. os simuladores de treinamento

■ **Tempo virtual**

Tipicamente os processos são simulados tão rapidamente quanto possível

e.g. simuladores de engenharia, aplicações científicas

Tipos de simuladores

- Quanto à escala

- **Partial scale**

- Considera apenas aspectos específicos do processo*

- **Full scale**

- Considera (ou tenta considerar) todos os aspectos do processo*

Tipos de simuladores

■ Quanto à interface

■ **Partial scope**

Somente uma parte (de interesse) do processo é considerada.

Usualmente associado a simuladores partial scale.

e.g. o simulador do CCM (somente a propulsão do navio)

■ **Full scope**

Um simulador full scale que também tenta reproduzir a interface completa do sistema.

e.g. simuladores de vôo; simuladores de plantas nucleares

Tipos de simuladores

- Quanto aos objetivos

- **Engenharia (ou analítico)**

- A ênfase é na produção de dados quantitativos, e não com a experiência do usuário*

- **Realidade virtual**

- A ênfase é na experiência do usuário e não com a produção de dados*

- e.g. simuladores de treinamento; jogos*

Por que usar?

■ Para treinamento (1)

- Possibilidade de treinamento quando o equipamento real não está disponível;
- Possibilidade de se treinar manobras em situações que possam colocar o operador, terceiros ou o próprio equipamento em risco sem preocupações;
- Custo reduzido ao não se desligar nem utilizar um equipamento real para treinamento;

Por que usar?

■ Para treinamento (2)

- Confiança e produtividade de novos operadores aumentada durante o período inicial de operação;
- Tempo total de treinamento reduzido;
- Possibilidade de treinamento para operadores veteranos em períodos em que o equipamento real esteja indisponível para uso;
- Avaliação dos diversos aspectos do desempenho de um operador, incluindo ações não seguras, competência de operação e resposta a falhas ou mal funcionamento do sistema;

Por que usar?

■ Para treinamento (3)

- Objetividade na administração de testes e condições uniformes para todos os operadores;
- Redução de riscos de operação, tanto em modos usuais de operação como em situações de emergência;
- Validação de novos equipamentos sem necessidade de sua instalação em campo;

Por que usar?

■ Para engenharia (1)

■ Economia

- Possibilidade da realização de testes e ensaios
 - sem necessidade de utilização do processo real e mobilização de recursos e pessoal
 - muito mais rapidamente (em muitos casos) que o processo real
 - sem necessidade de equipamentos especiais de medição e aquisição

Por que usar?

- Para engenharia (2)

- Segurança

- Possibilidade da realização de testes e ensaios

- de situações críticas sem comprometer o processo ou pessoal

- Exploração de situações operacionais extremas

- que seriam impossíveis de realizar na prática

Por que usar?

■ Para engenharia (3)

■ Novas possibilidades

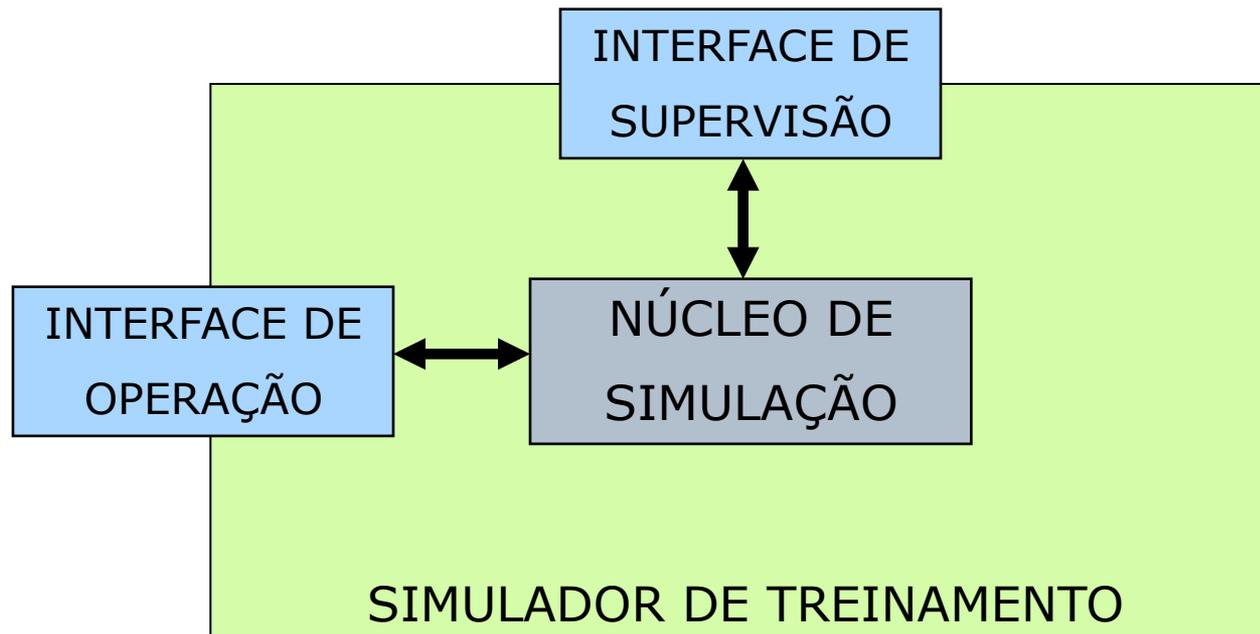
- Utilizar o simulador para otimização do processo através de métodos iterativos
- Exploração de alterações no processo
- Diagnósticos de situações reais
- Integração com o processo real
e.g. computador de bordo ferroviário

Um pouco de motivação

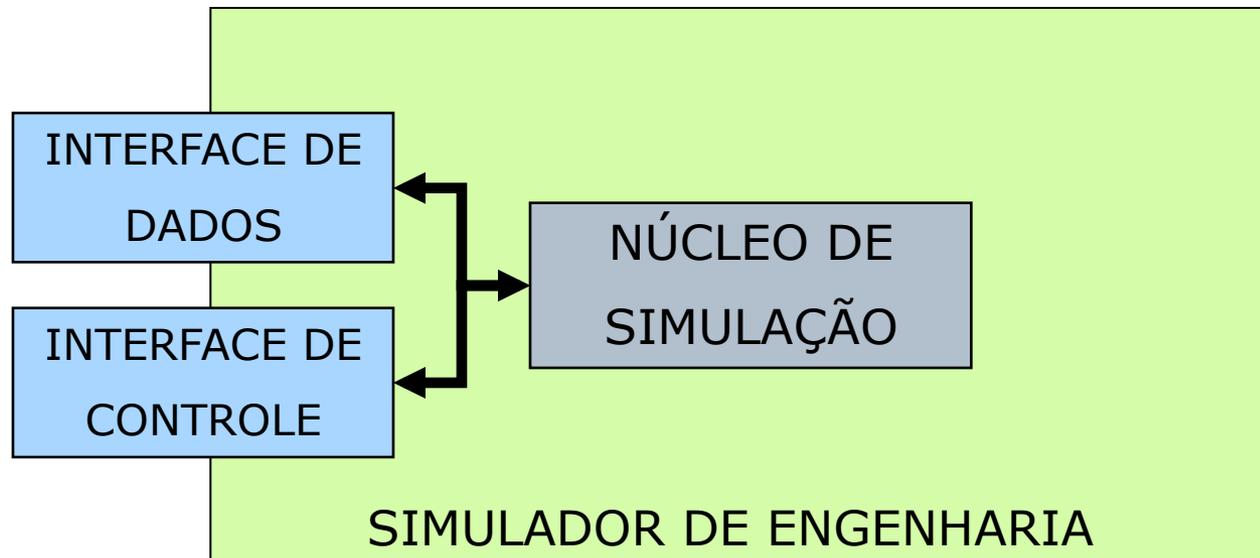
Segundo um grande operador ferroviário, um maquinista treinado pode economizar até 8% em combustível em relação a um maquinista sem treinamento.

OBS.: Estima-se que em torno de 5% do consumo de óleo Diesel do País se dá nas ferrovias.

Arquiteturas típicas

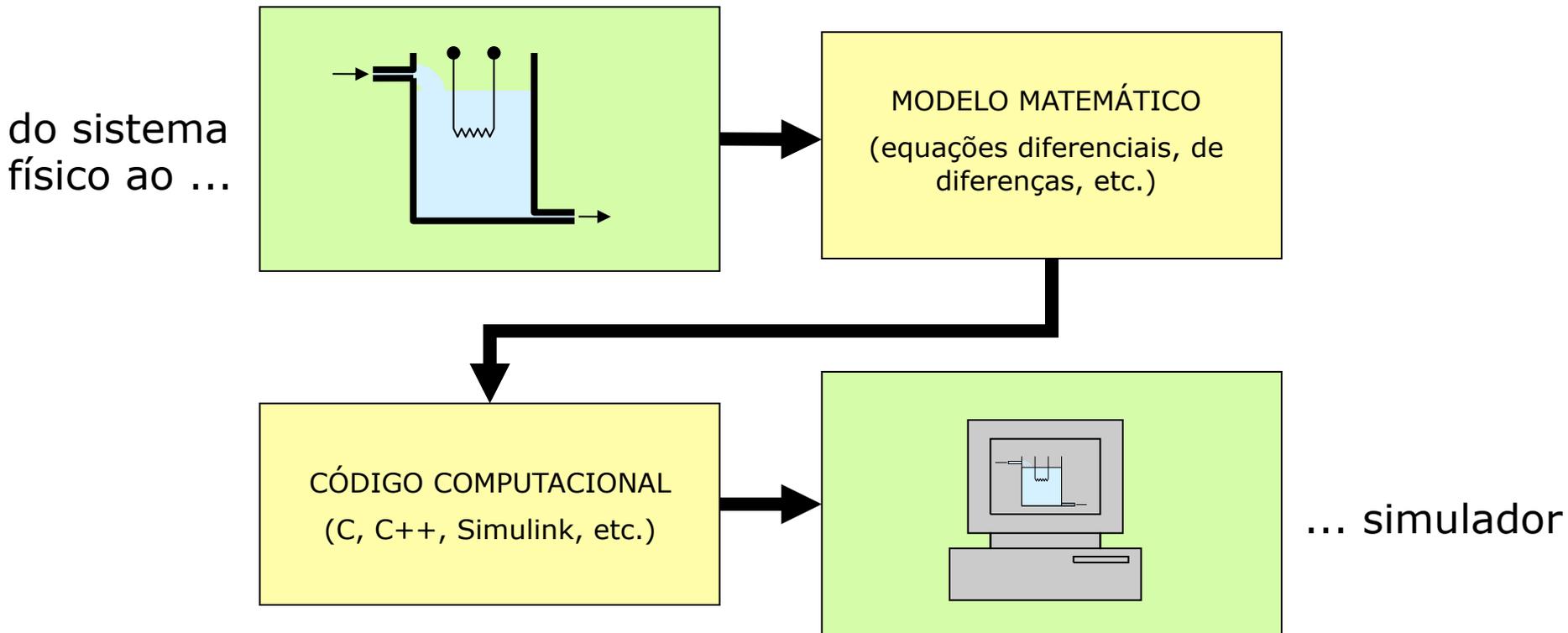


Arquiteturas típicas



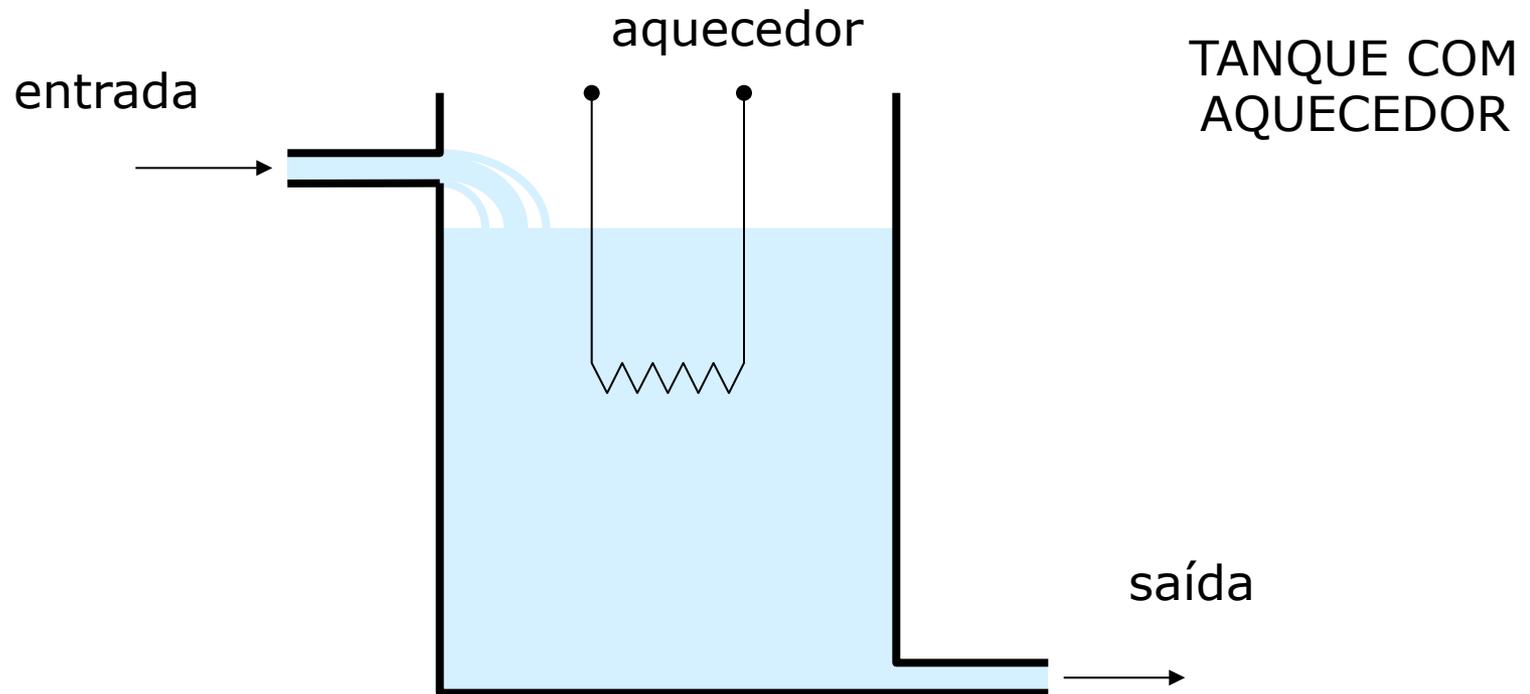
Projeto de simuladores

■ Da modelagem à implementação



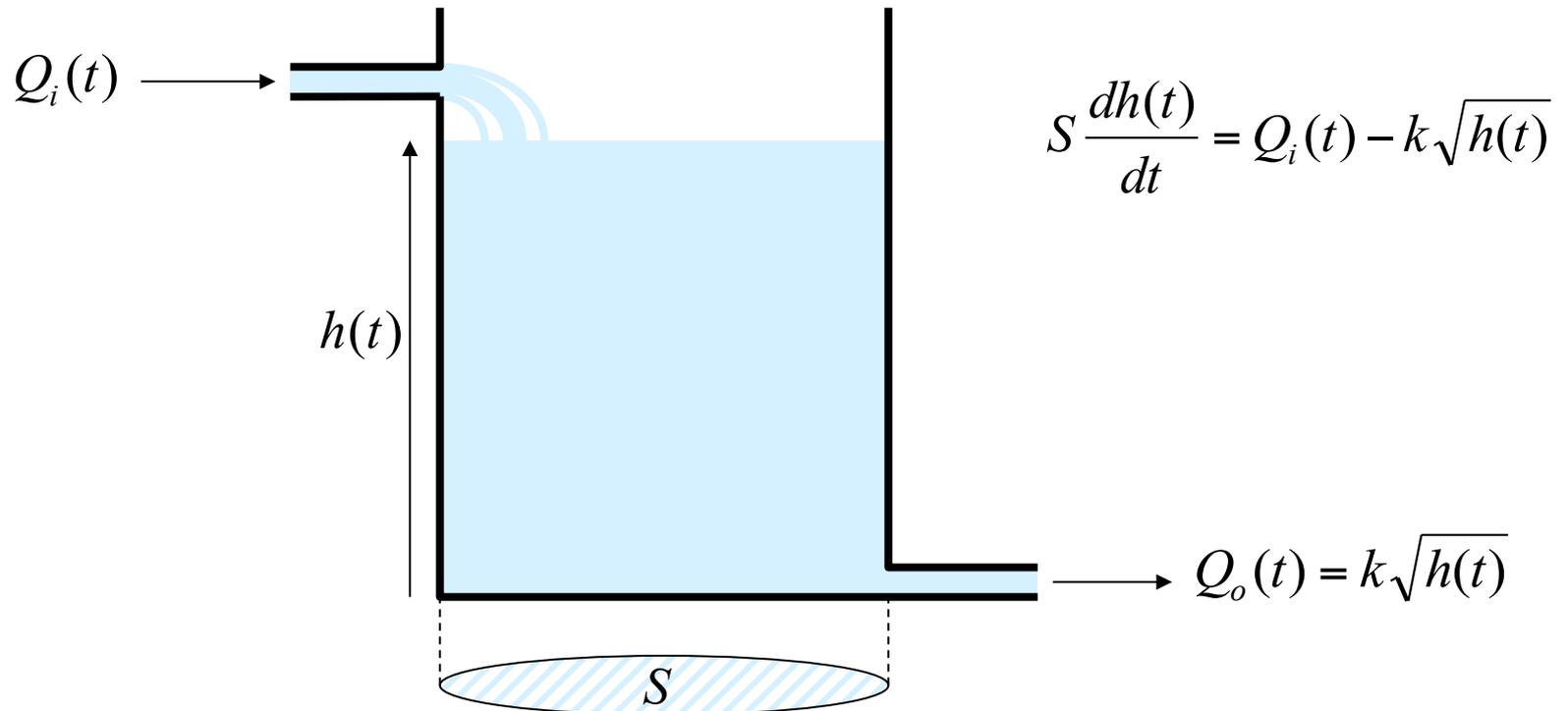
Um exemplo

Sistema físico



Um exemplo

Modelo matemático



Um exemplo

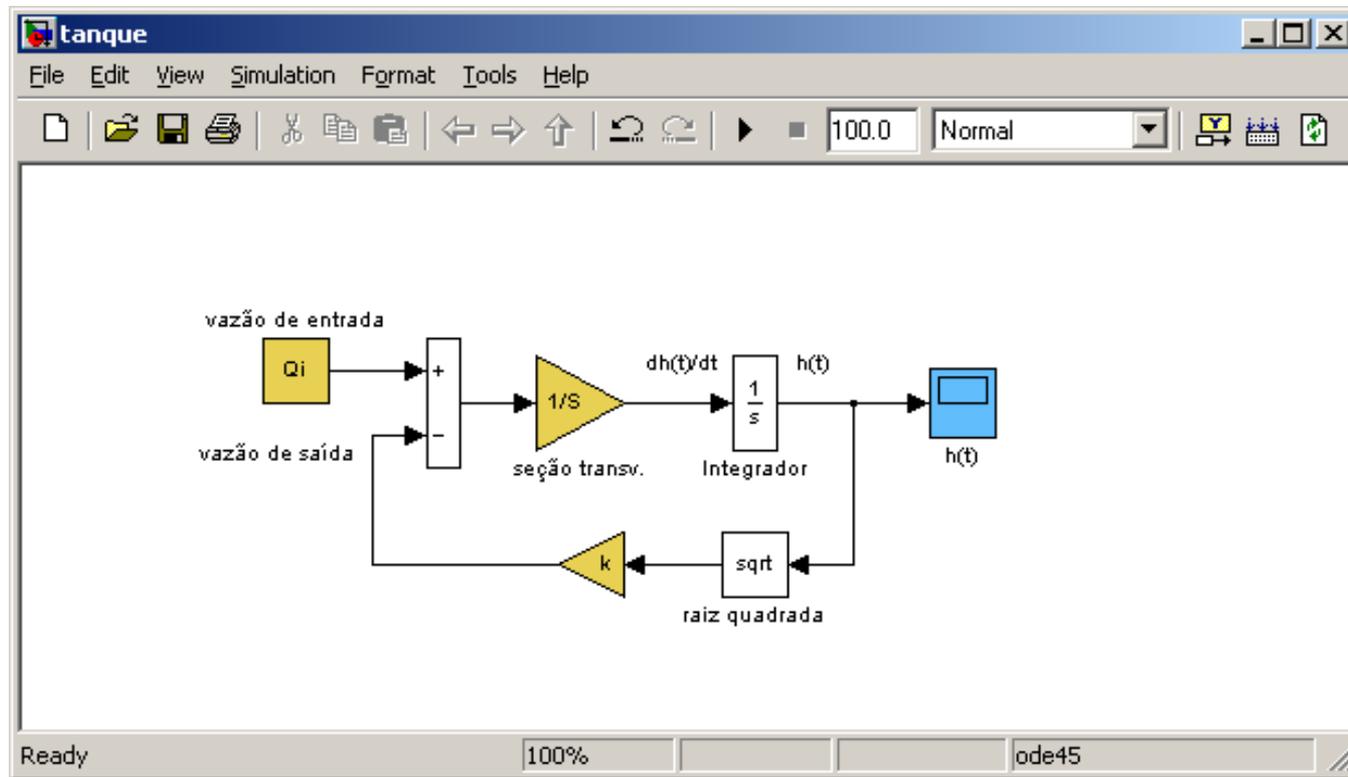
Modelo matemático

■ Observações

- O modelo não considera o aquecimento da água (partial scope)
- O modelo é basicamente uma versão simplificada do comportamento real de um tanque (muitos fatores foram desconsiderados)

Um exemplo

Código computacional (Simulink)



Projeto de simuladores

- Outros aspectos
 - Hardware:
plataformas computacionais de simulação; sistemas de visualização; controles e IHM; etc.
 - Software:
código de simulação; algoritmos; integração com controles e IHM; sistemas de apoio, etc.
 - Arquiteturas de rede:
distribuição de processamento e outros aspectos

Conhecimentos básicos

1. Conhecimento do problema;
2. Entendimento dos processos (físicos, químicos, etc.)
3. Técnicas de modelagem matemática;
4. Técnicas de processamento numérico;
5. Domínio das soluções computacionais existentes;
6. Conhecimentos específicos: arquitetura de redes, linguagens de programação, computação gráfica, etc.

Controle de propulsão

Fragatas classe Niterói



Controle de propulsão

Fragatas classe Niterói

■ Algumas especificações

**Deslocamento:**

3.200 ton (padrão),
3.800 ton (carregado).

Dimensões:

129.2 m comprimento,
13.5 m boca,
5.9 m calado.

Propulsão:

CODOG (Combined Diesel or Gas)

2 turbinas a gás
Rolls-Royce Olympus TM3B
28.000 shp cada

4 motores MTU 16V956 TB91
3.940 bhp cada

Dois eixos com hélices de passo variável.

(dados públicos)

Controle de propulsão

Fragatas classe Niterói

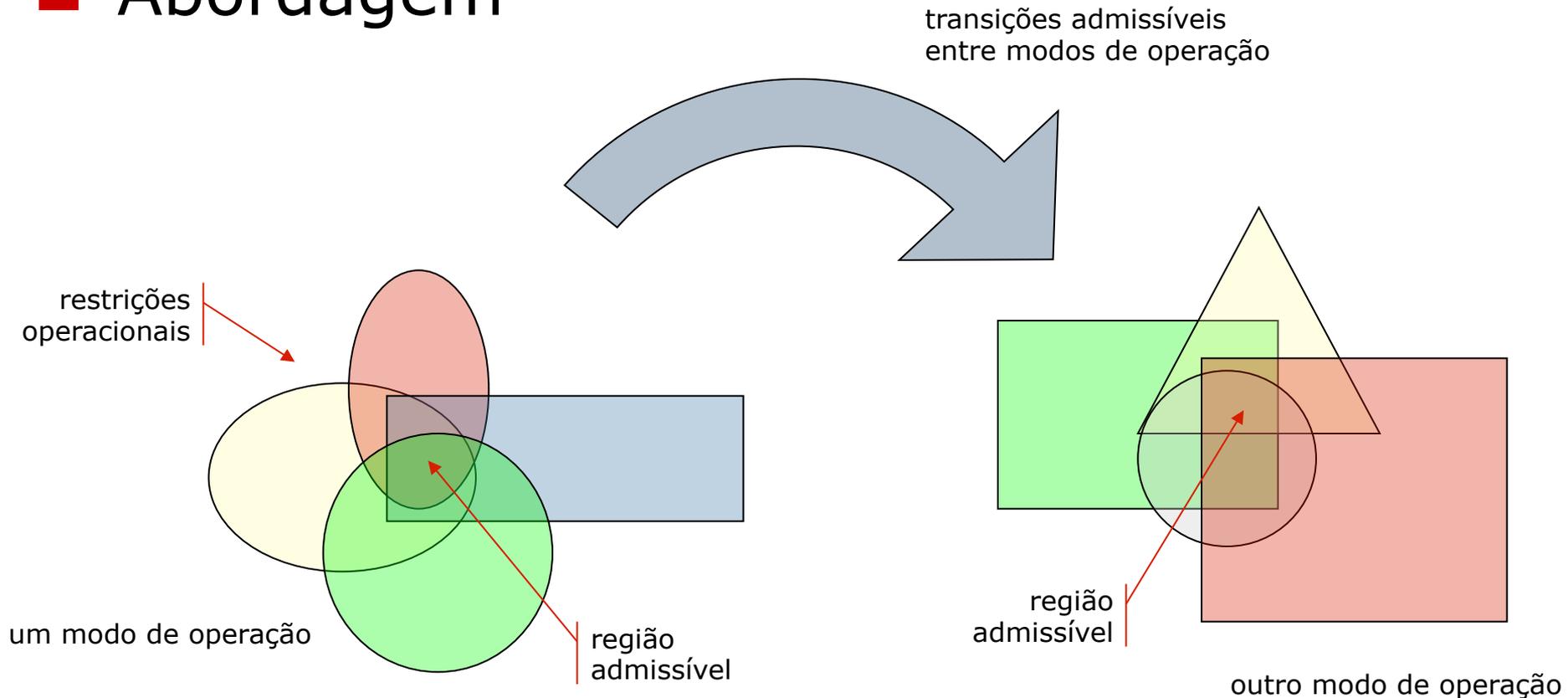
■ Características do sistema

- Não-linear;
- Híbrido (elementos discretos e contínuos);
- Ordem elevada;
- Sujeito a restrições de estado e entrada;

Não há teoria de aplicação direta para o projeto de um sistema de controle deste tipo

Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

■ Abordagem



Controle de propulsão

Fragatas classe Niterói

- Metodologia (1)
 - Identificar (regime estacionário)
 - Modos de operação;
 - Restrições operacionais;
 - Identificar (regime transitório)
 - Transições admissíveis;
 - Restrições associadas às transições;

Controle de propulsão

Fragatas classe Niterói

■ Metodologia (2)

- Projetar um sistema de controle que
 - contemple todos os modos de operação;
 - respeite todas as restrições operacionais;
 - realize as transições admissíveis, quando solicitado;
 - respeite as restrições das transições;

Controle de propulsão

Fragatas classe Niterói

- Metodologia (3)

- Otimizar o sistema de controle para
 - máximo desempenho em regime permanente;
 - máximo desempenho em regime transitório;

Controle de propulsão

Fragatas classe Niterói

- Metodologia (4)

- Validar o sistema de controle

- contra um simulador (sempre possível);

- contra a planta real (quando possível);

... e retrabalhar o projeto quando necessário.

Controle de propulsão

Fragatas classe Niterói

- Ferramenta para implementar a metodologia
 - Um simulador capaz de
 - incorporar todas as entradas e saídas (pertinentes) do sistema
 - reproduzir todos os modos de operação;
 - reproduzir todas as transições admissíveis;

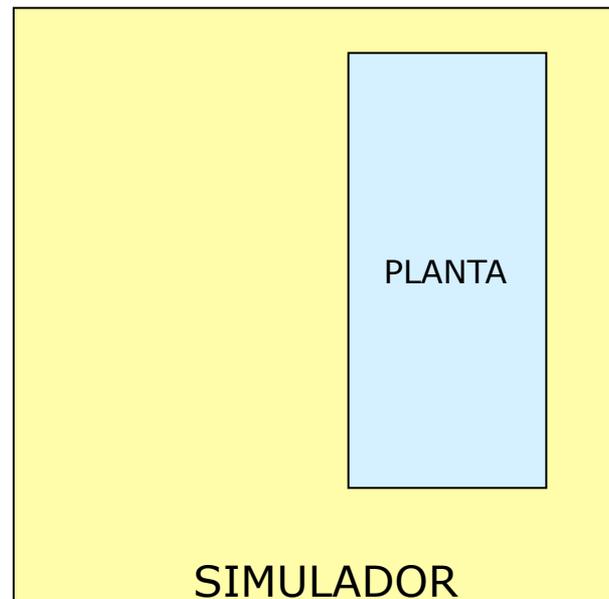
Controle de propulsão

Fragatas classe Niterói

- Produção do simulador
 1. Aprendizado do processo;
 2. Levantamento de dados;
 3. Modelagem de subsistemas;
 4. Implementação de código;
 5. Integração dos subsistemas;
 6. Validação do simulador
 - contra os dados levantados;
 - contra a planta real;

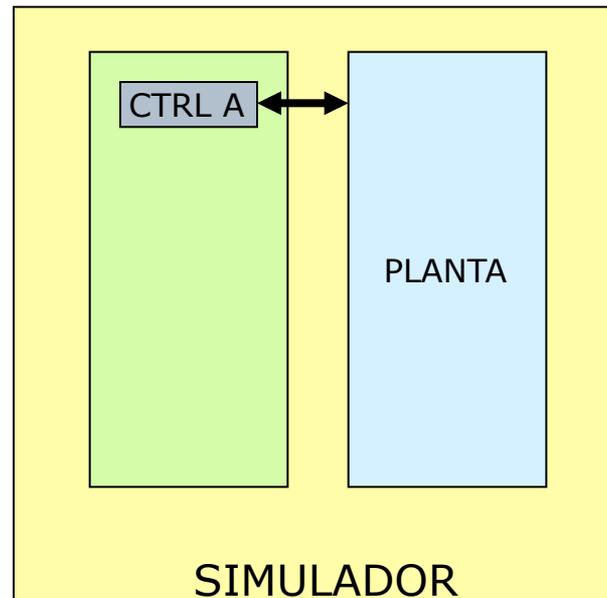
Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Etapa inicial (somente planta)



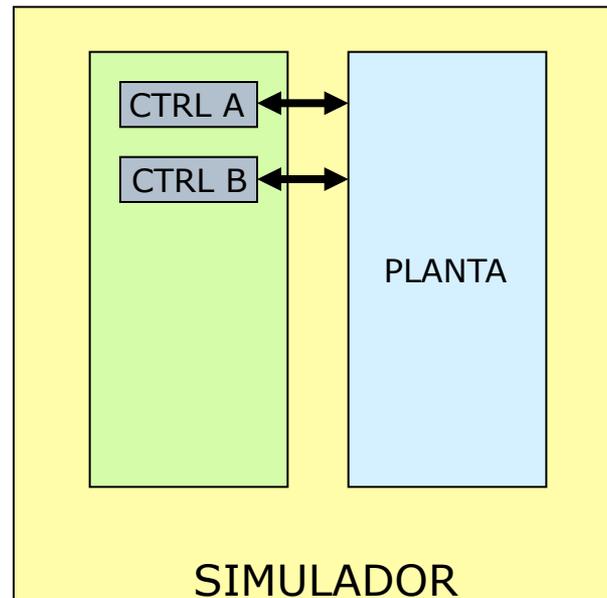
Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Projetando o controle



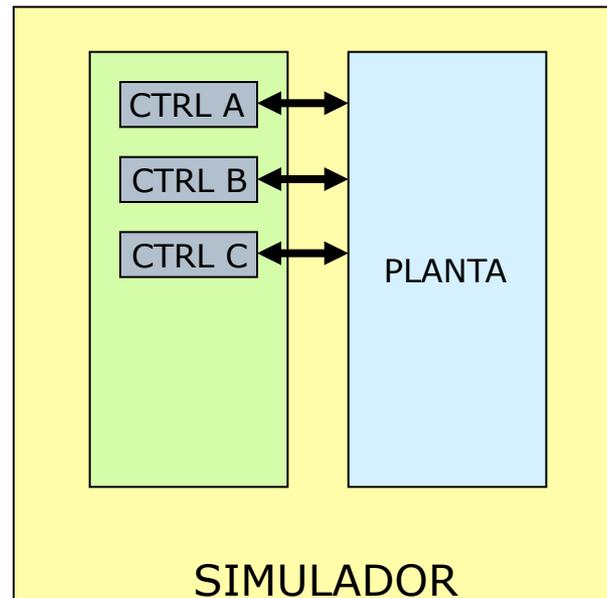
Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Projetando o controle



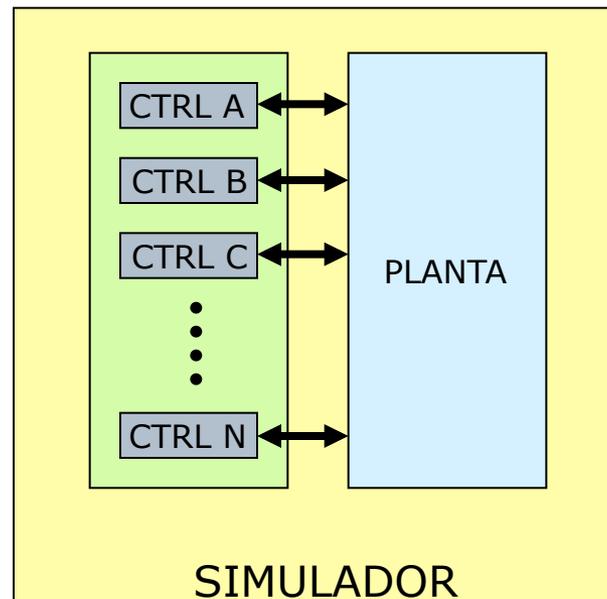
Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Projetando o controle



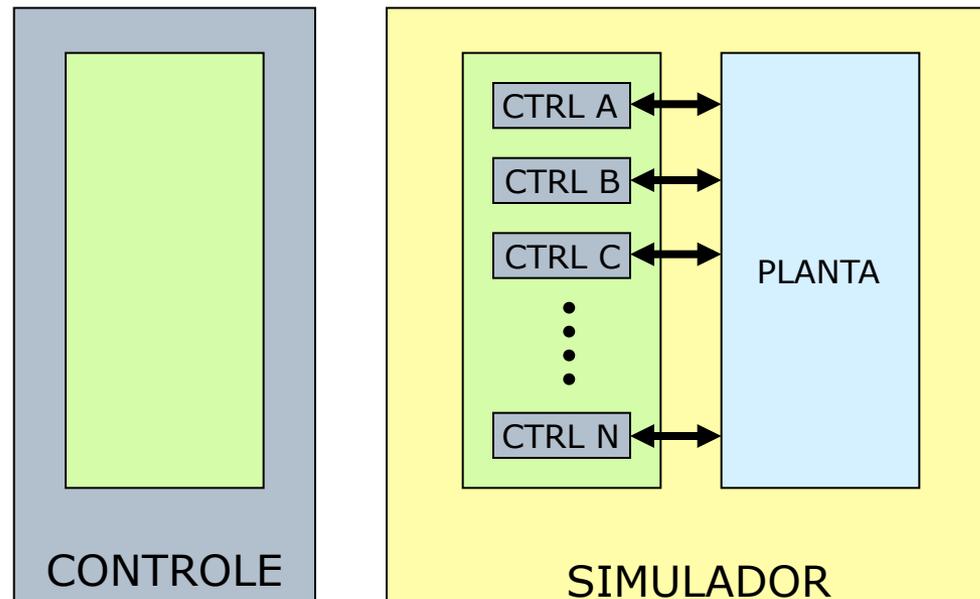
Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Projeto de controle finalizado



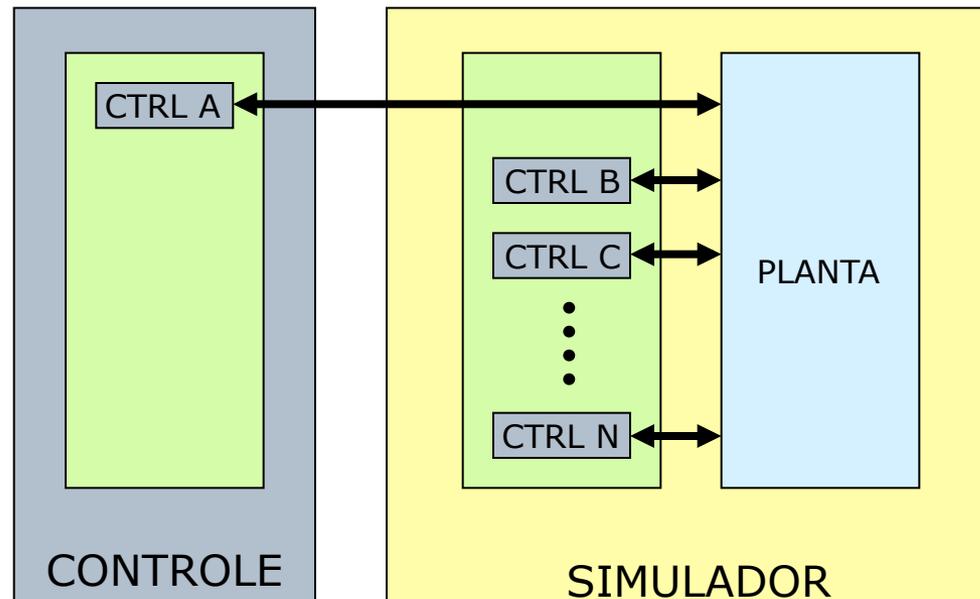
Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Especificando o hw/sw de controle



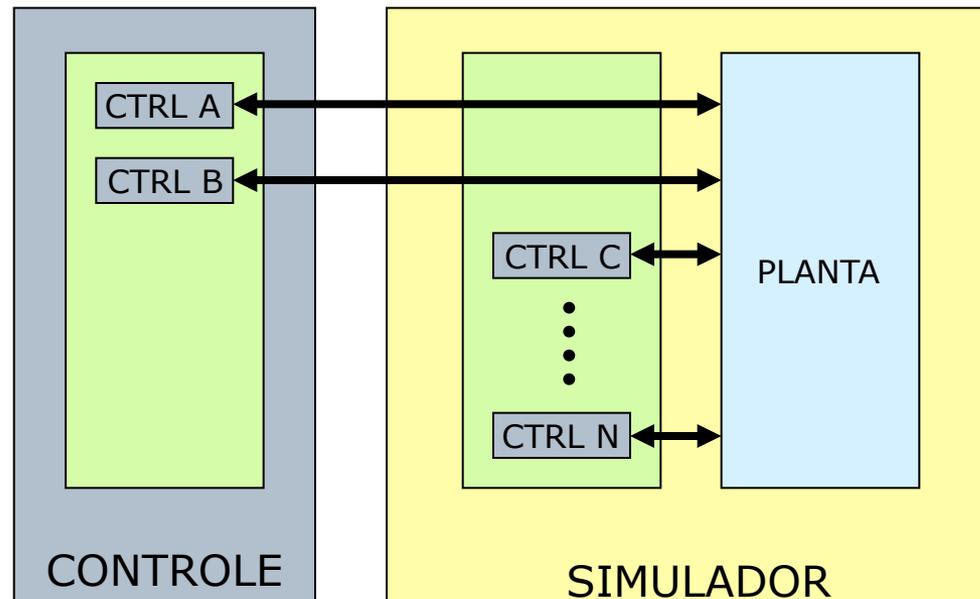
Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Migrando para o hw/sw de controle



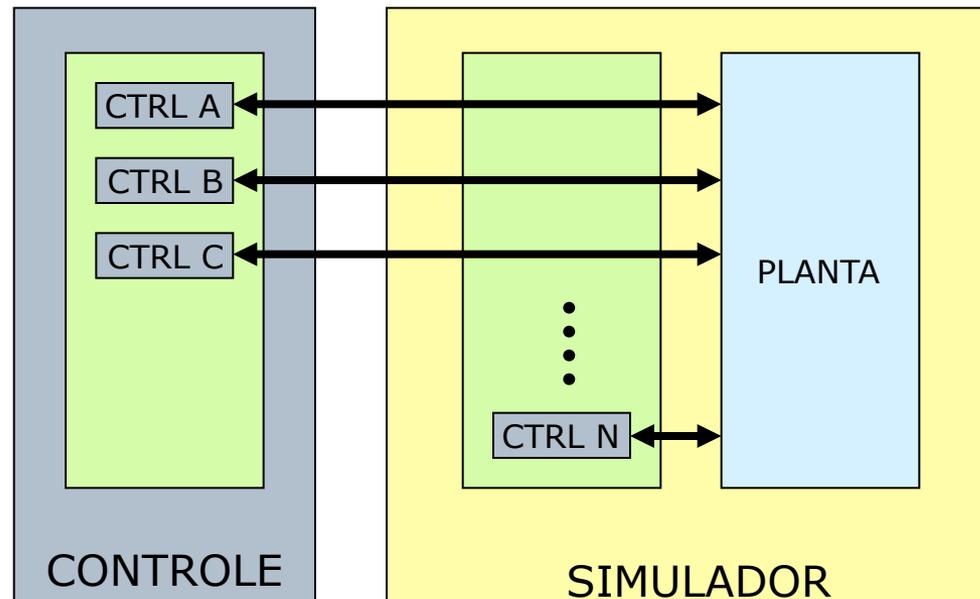
Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Migrando para o hw/sw de controle



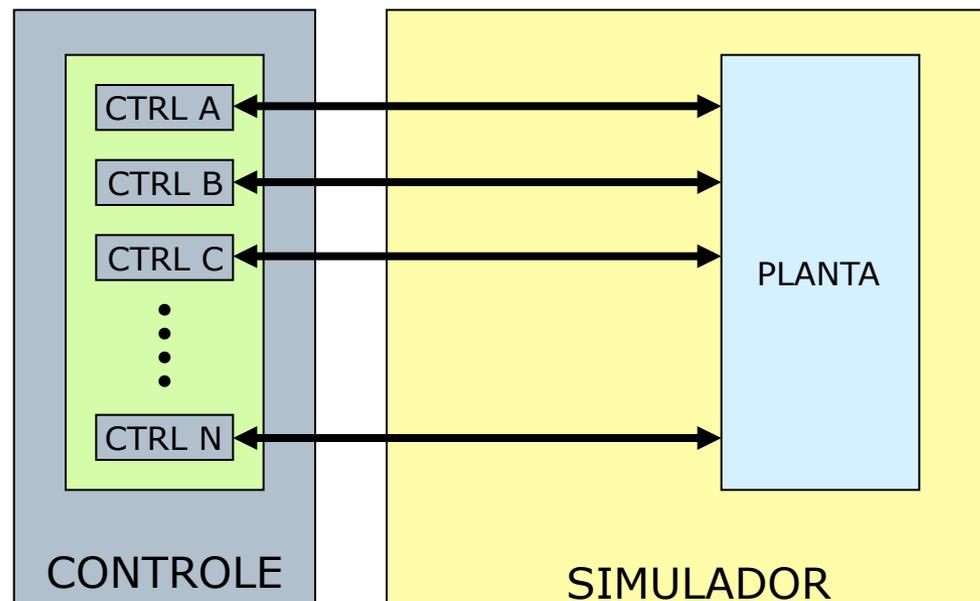
Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Migrando para o hw/sw de controle



Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

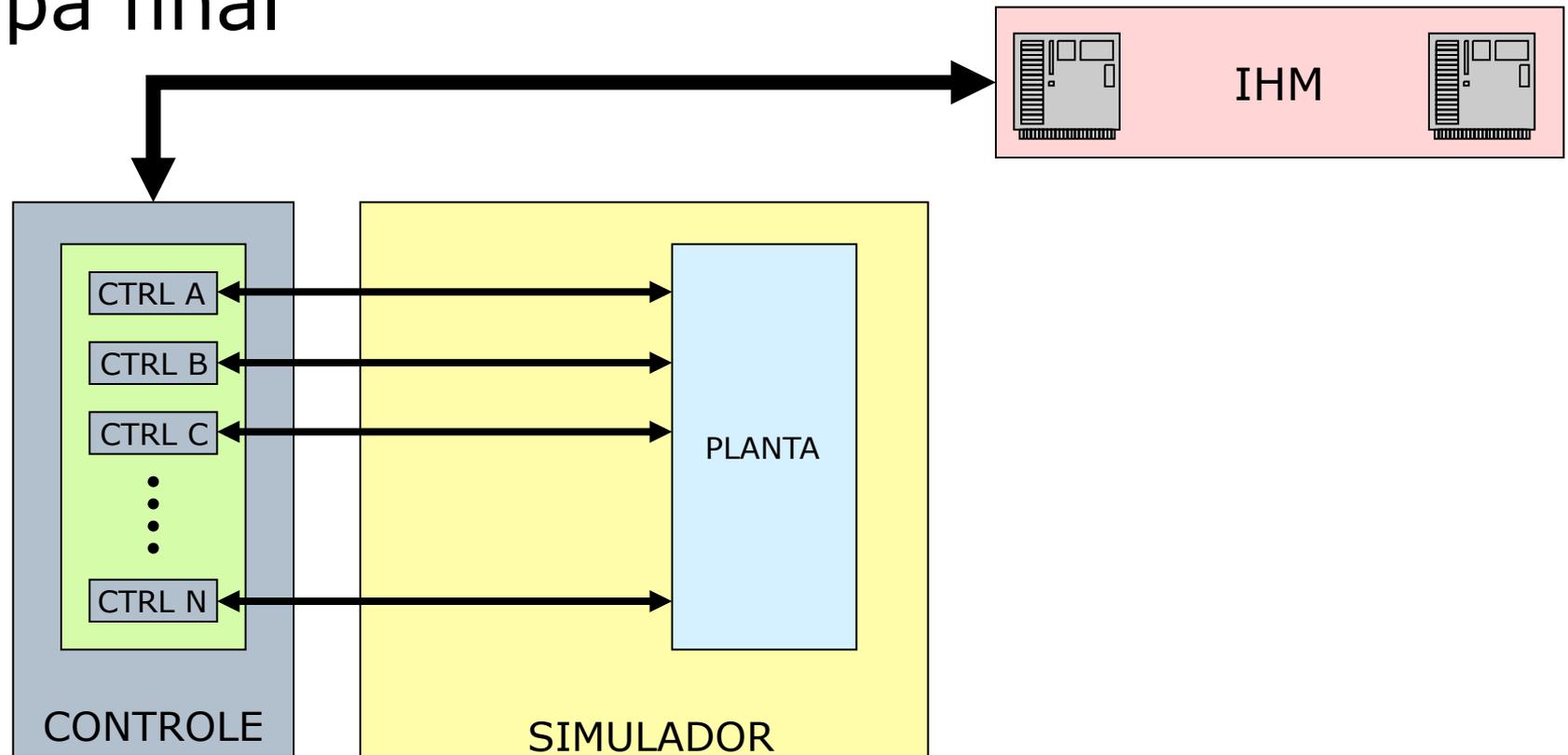
Controle no hw definitivo



Arranjo comumente denominado hoje como “hardware in the loop”.

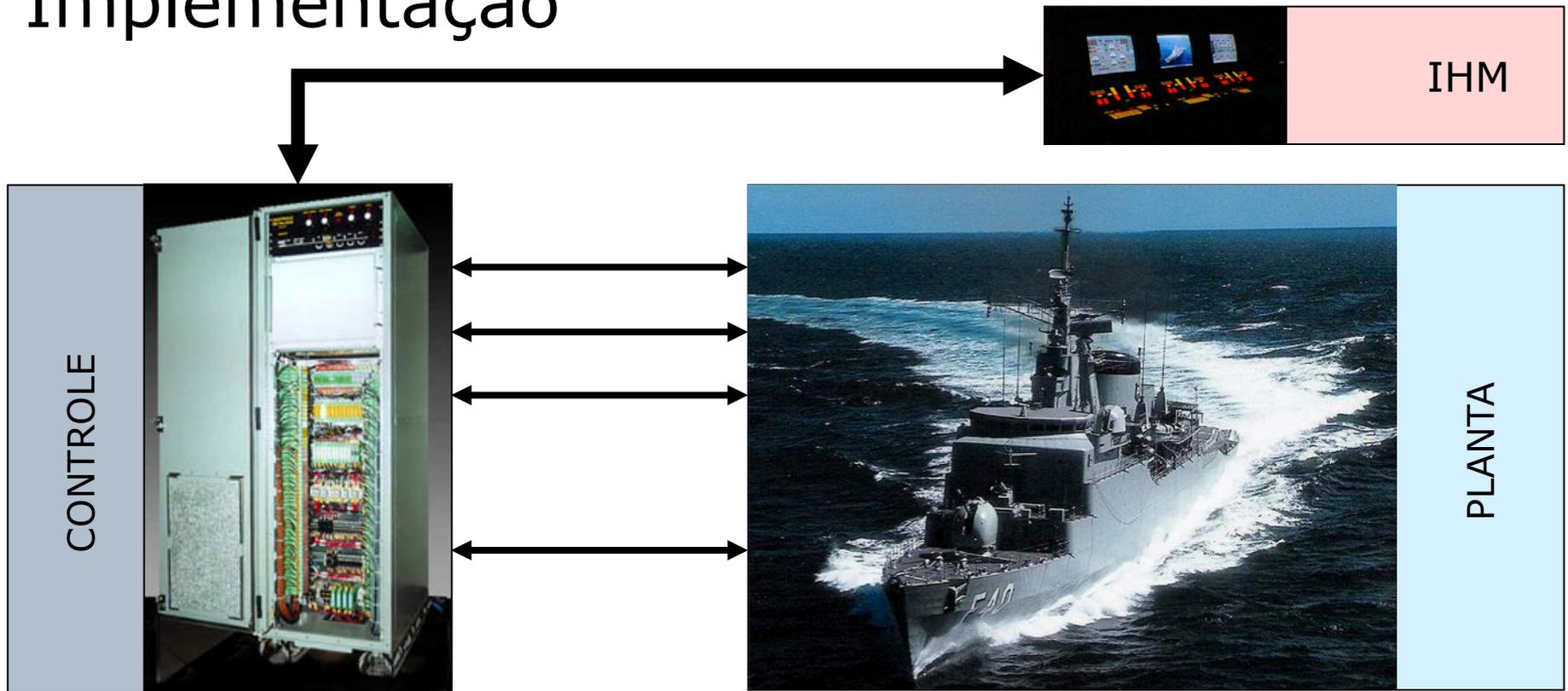
Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Etapa final



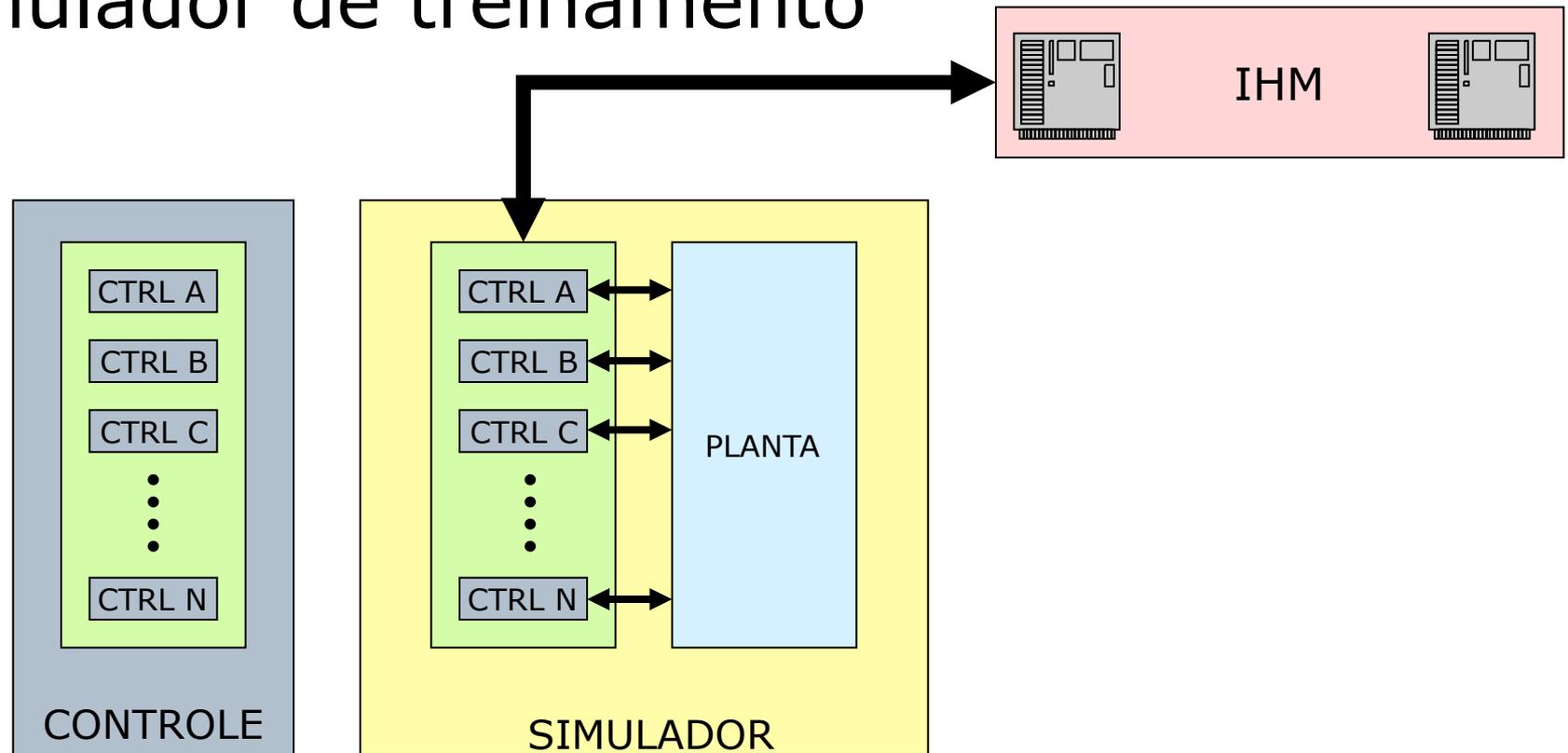
Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Implementação



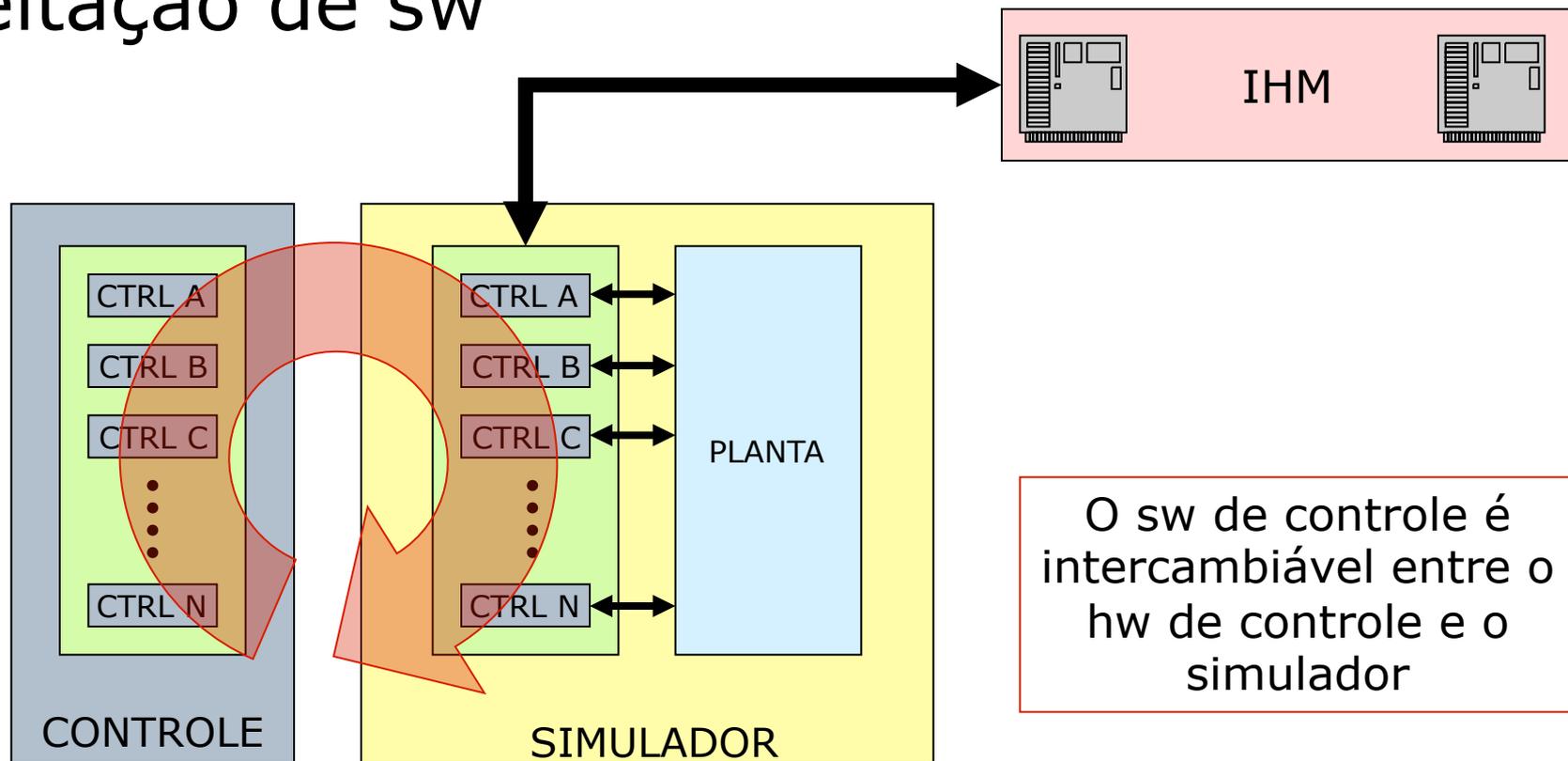
Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Simulador de treinamento



Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Aceitação de sw



Controle de propulsão

Fragatas classe Niterói

■ Conclusões

- Projeto bem sucedido;
- Tecnologia adquirida;

■ Observações

- A metodologia permite uma grande economia de tempo e recursos;
- A metodologia pode ser aplicada a uma grande gama de diferentes projetos;