

Sistema Multi-Agente Descentralizado

Gestão de Produção e Manutenção numa Smart Factory (Fábrica Inteligente)

Introduction to Intelligent Autonomous Systems | LIACD 2025-26

Francisca Cerqueira (202303764)

Iara Ferreira (202305194)

Rodrigo Simões (202303448)

Contexto e Desafio

Os sistemas centralizados são um ponto de falha (bottleneck) na indústria moderna.

- ★ **Falhas e Avarias:** Avarias de máquinas causam paragens em toda a linha de produção.
- 🚚 **Atrasos Logísticos:** Atrasos no fornecimento de matéria-prima.
- ⚠ **Falha Central:** Sistemas centralizados falham, parando toda a operação.
- ↑↓ **Flutuações:** Dificuldade em adaptar-se a picos de procura ou pedidos urgentes.

Solução Proposta: Um sistema descentralizado (SMA) onde os agentes negociam autonomamente para garantir resiliência e eficiência.

Fluxo de Interação Descentralizada

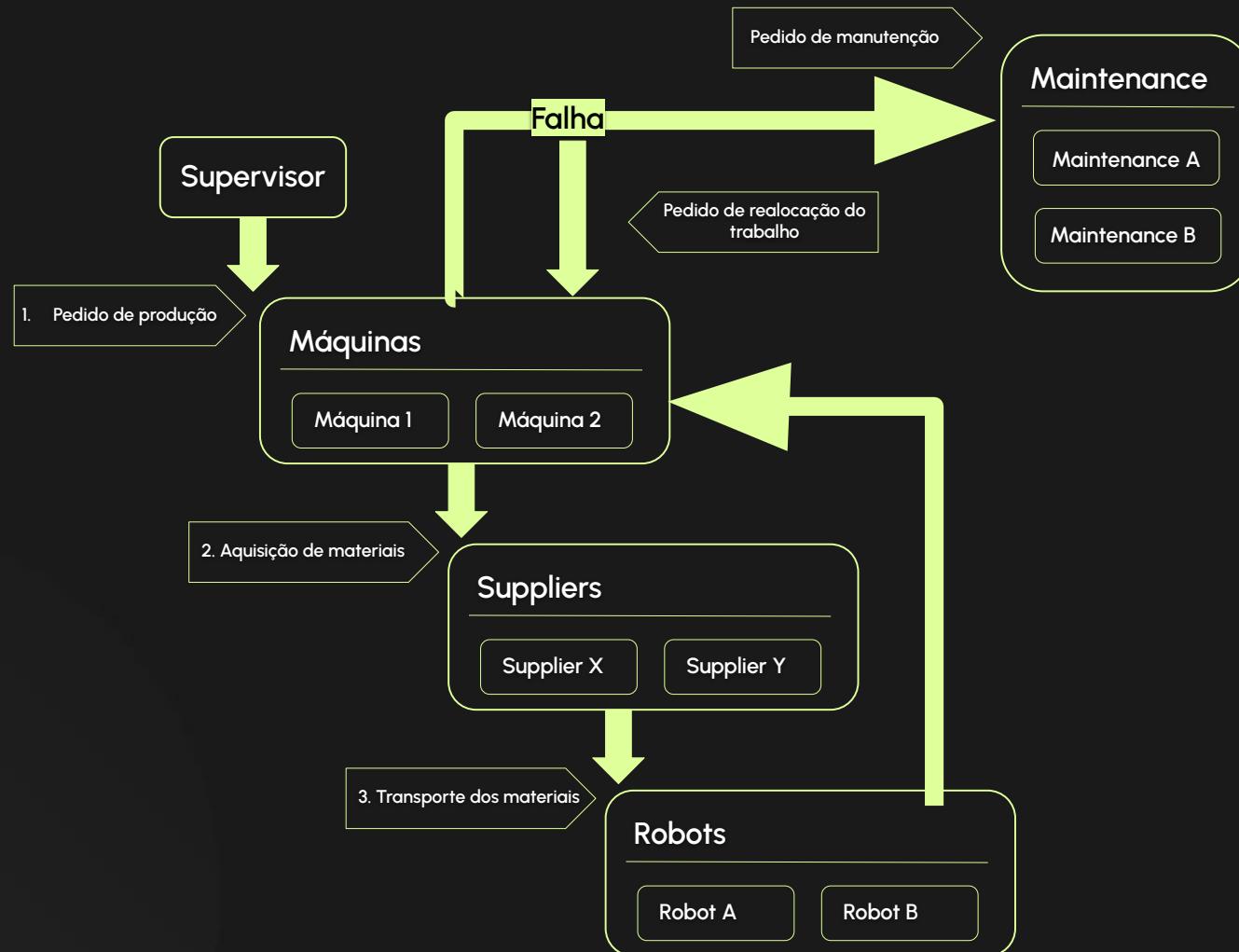


Fig. 1: Arquitetura do Sistema Multi-Agente

Protocolos de Interação

Contract Net Protocol (CNP): O pilar da descentralização.

» Fluxo de Produção:

- » 1. Supervisor (CFP) para Máquinas (Proposta: Fila de trabalhos)
- » 2. Máquina (CFP) para Suppliers (Proposta: Stock + Distância)
- » 3. Supplier (CFP) para Robots (Proposta: Bateria + Distância)

» Fluxo de Falha (Resiliência):

- » 1. Máq. Avariada (CFP) para Manutenção
- » 2. Máq. Avariada (CFP) para Outras Máquinas (Realocação)
- » 3. Máq. Realocada(CFP) para Robots

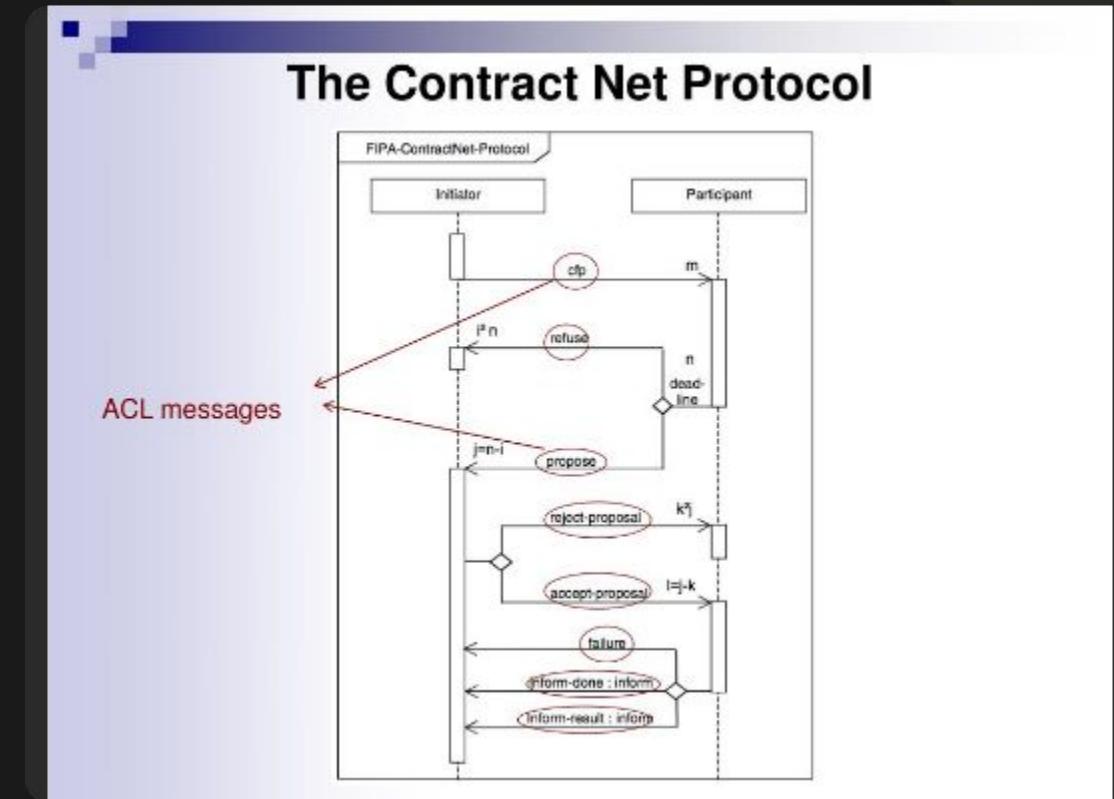


Fig. 2: Arquitetura do CNP

Decisão e Estratégias

Decisão da Máquina

Aceita novos trabalhos se a fila < 15 .

Em caso de avaria, delega o trabalho (com o *step* exato) à máquina com menor fila e mais próxima.

Decisão do Robot (Recurso Finito)

Aceita transporte
se:

Bateria > CustoViagem

Recusa por falta de energia e entra em modo de recarga por algum tempo.

Mecanismos e Dinâmicas

-  **Ambiente Dinâmico:** O Supervisor cria jobs e as Máquinas avariam de forma aleatória.
-  **Recursos Finitos (Suppliers):** O stock é finito. Ao esgotar, o Supplier entra em modo de recarga, recusando pedidos.
-  **Recursos Finitos (Manutenção):** As equipas de manutenção só podem atender um pedido de cada vez (estado "Ocupado").
-  **Gestão de Localização:** Todos os agentes (Máquinas, Robots, Suppliers) têm coordenadas para calcular custos de distância.

Métricas de Avaliação

Trabalhos Completos

Eficiência geral do sistema e capacidade de **Production Throughput** sob carga.

Trabalhos Criados

Volume de trabalho injetado pelo Supervisor.

Jobs Transferidos

A resiliência do CNP de Transferência em realocar tarefas após falhas.

Trabalhos Perdidos

Volume de trabalho que foi **cancelado** devido à rutura da cadeia de abastecimento (Falha ou Timeout no CNP de Suprimentos na Fase 0).

Downtime (ticks)

Tempo total que as máquinas ficaram inoperadas à espera de reparação ou materiais.

Comparação de Cenários Experimentais

- **Cenário 1 (Gestão de recursos):** Focou-se na escassez de Transporte e Stock (R/S), utilizando apenas 1 Robô e 1 Supplier para 5 Máquinas.
- **Cenário 2 (Gestão de Manutenção):** Focou-se na escassez de Crews de Manutenção (C), utilizando apenas 1 Crew para 6 Máquinas, mas com alta capacidade de Robôs (R=4) e Suppliers (S=4).

Jobs Criados	78	90
Jobs Completados	6 (7.7%)	24 (26.7%)
Downtime Total (Ticks)	254	612
Falhas de Máquina	8	14
Jobs Transferidos	3	12

Análise e conclusões

Conclusão Principal: A capacidade de Abastecimento e Transporte (R/S) é o fator mais importante, resultando na maior taxa de Jobs Lost. O sistema de CNP de Transferência funciona bem, mas é limitado pela disponibilidade do recurso de transporte.

1. Desempenho da Produção (Throughput)

- O Cenário 2 (24 Jobs Completos) alcançou 4 vezes mais produção que o Cenário 1 (6 Jobs Completos), mesmo com mais falhas de máquina.
- A causa do fracasso do Cenário 1 foi a falha catastrófica nos recursos: 67 Supply Requests Failed e 67 Jobs Lost. Um único Robô e Supplier não conseguem acompanhar 5 Máquinas, levando a *timeouts* e ao abandono do trabalho.

2. Resiliência e Downtime (Teste do CNP)

- Downtime (C1: 254 vs C2: 612): O Cenário 2 validou a deficiência de Manutenção. Com apenas uma Crew (C=1), o Downtime foi extremamente alto (612 ticks), pois cada falha gerou uma longa fila de espera pela reparação.
- Eficácia da Transferência (C1: 3 vs C2: 12): O alto número de Robôs (R=4) no Cenário 2 permitiu a transferência de 12 Jobs após falhas. O sistema conseguiu salvar o trabalho da Máquina avariada e colocá-lo numa Máquina funcional.
- O Cenário 1 (R=1) não conseguiu transferir jobs de forma eficiente, pois o Robô estava 100% do tempo ocupado com tarefas de Supply, mostrando a dependência crítica do CNP de Transferência no recurso Robô.

Conclusão e Trabalhos Futuros

Conclusão

- ✓ O sistema SMA descentralizado (SPADE) provou ser resiliente a falhas de máquinas e logística.
- ✓ A negociação (CNP) permite a realocação dinâmica de tarefas, minimizando o *downtime*.

Trabalhos Futuros

- ✓ Implementar manutenção preditiva (em vez de reativa).
- ✓ Otimizar o consumo de energia dos robots.
- ✓ Adicionar leilões (Auction Protocols) para jobs urgentes.

Perguntas?