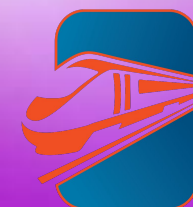


**APLICAÇÃO DE
AGENTES
INTELIGENTES NA
MINERAÇÃO DE DADOS
PARA DIAGNÓSTICO DE
FALHAS**

**31ª SEMANA DE TECNOLOGIA
METROFERROVIÁRIA**

Estêvão Lima Rabelo



12ª edição
Prêmio
**Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários**



Estêvão Lima Rabelo

Formação

Engenheiro Mecânico

Especializações

Engenharia de Segurança do Trabalho

Logística Empresarial

MBA em Data Science e Analytics

Atuação na CPTM (desde 2012): Sólida experiência em engenharia de manutenção, análise de falhas e confiabilidade de sistemas ferroviários

Foco Atual: Aplicações de ciência de dados e IA na manutenção ferroviária

O DESAFIO: DA TEORIA À REALIDADE DA MANUTENÇÃO

O DESAFIO: DA TEORIA À REALIDADE DA MANUTENÇÃO

Base

Gestão de Ativos



O DESAFIO: DA TEORIA À REALIDADE DA MANUTENÇÃO

Base

Gestão de Ativos



Disponibilidade

Confiabilidade

Segurança

O DESAFIO: DA TEORIA À REALIDADE DA MANUTENÇÃO

Base

Gestão de Ativos



Disponibilidade

Confiabilidade

Segurança

Realidade

Registros Textuais



Dependência (falta de telemetria)

Textos Livres

Dados não estruturados

O DESAFIO: DA TEORIA À REALIDADE DA MANUTENÇÃO

Base

Gestão de Ativos



Disponibilidade

Confiabilidade

Segurança

Realidade

Registros Textuais



Dependência (falta de telemetria)

Textos Livres

Dados não estruturados

Obstáculos



Falta de padrão



Análise lenta



Vários

Repositórios

SOLUÇÃO: UM SISTEMA DE AGENTES INTELIGENTES

SOLUÇÃO: UM SISTEMA DE AGENTES INTELIGENTES

Sistemas Multiagentes



Colaboração

Divisão de Tarefas

Estrutura Clássica

SOLUÇÃO: UM SISTEMA DE AGENTES INTELIGENTES

Sistemas Multiagentes

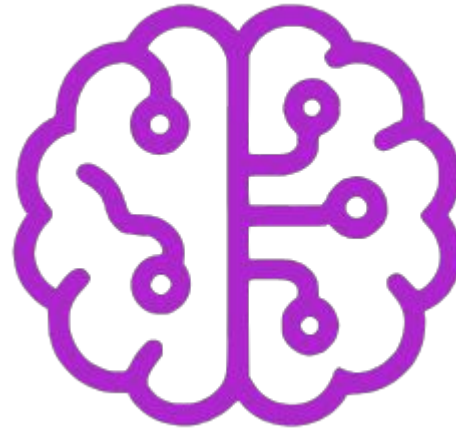


Colaboração

Divisão de Tarefas

Estrutura Clássica

Modelos de Linguagem -LLMs



Compreensão de texto

Raciocínio avançado

Tecnologia recente 2023+

SOLUÇÃO: UM SISTEMA DE AGENTES INTELIGENTES

Sistemas Multiagentes

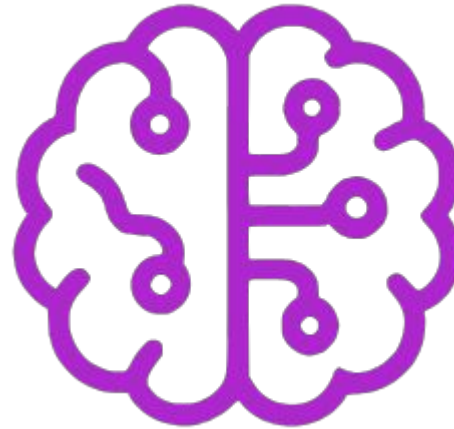


Colaboração

Divisão de Tarefas

Estrutura Clássica

Modelos de Linguagem -LLMs



Compreensão de texto

Raciocínio avançado

Tecnologia recente 2023+

Agentes que
Compreendem



Análise da causa raiz

Geração de conhecimento

Decisões baseadas em dados

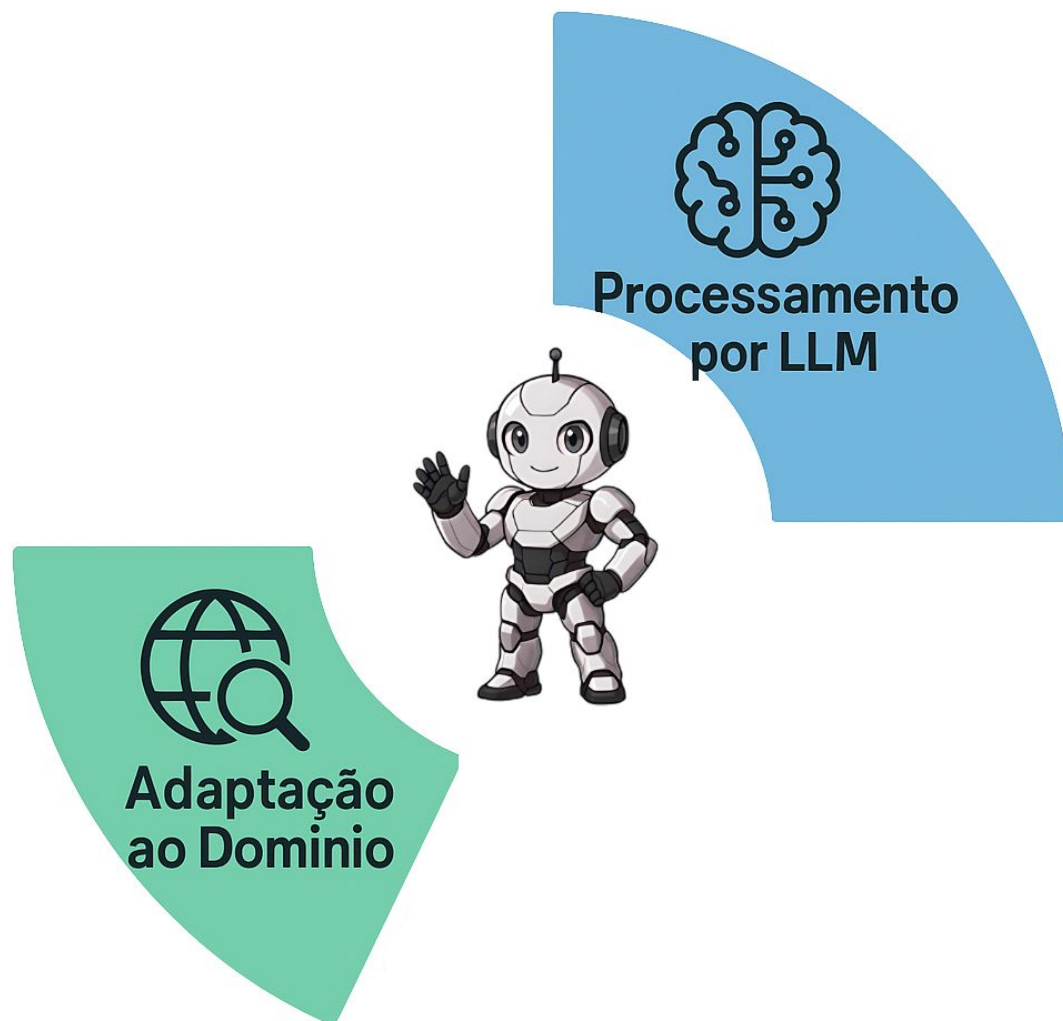
ARQUITETURA FUNCIONAL DE UM AGENTE INTELIGENTE



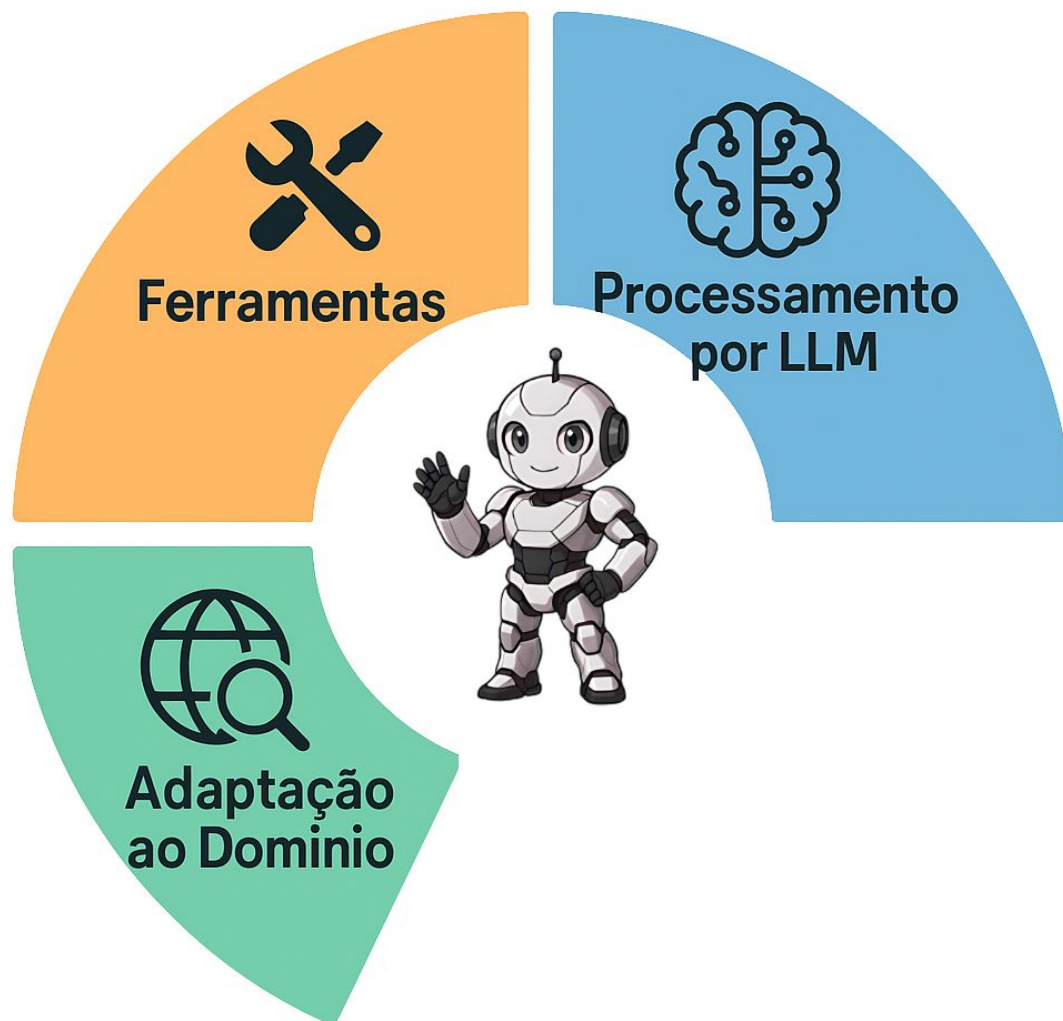
ARQUITETURA FUNCIONAL DE UM AGENTE INTELIGENTE



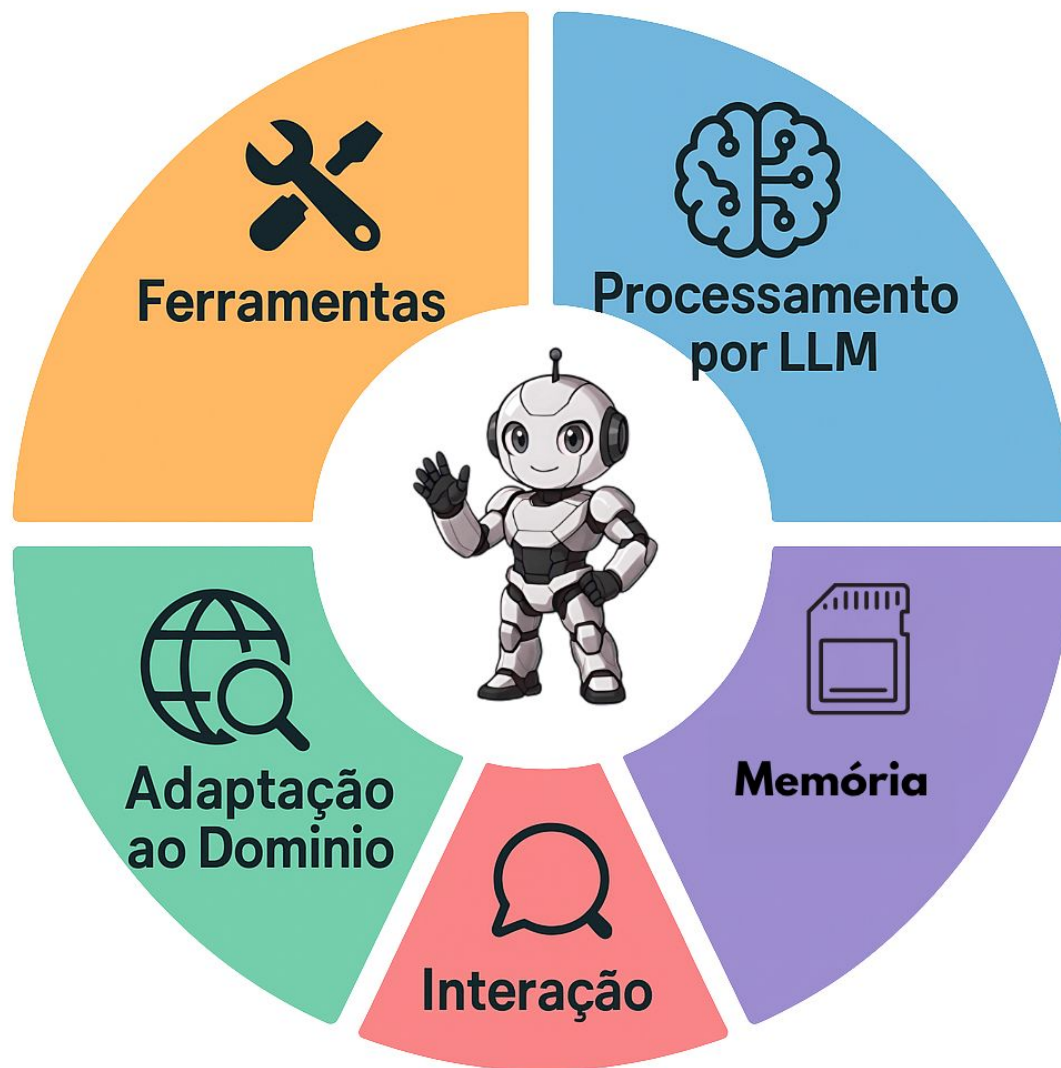
ARQUITETURA FUNCIONAL DE UM AGENTE INTELIGENTE



ARQUITETURA FUNCIONAL DE UM AGENTE INTELIGENTE



ARQUITETURA FUNCIONAL DE UM AGENTE INTELIGENTE



LINHA DE PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO

LINHA DE PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO



Impacto
operacional

LINHA DE PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO



Busca do histórico



Impacto
operacional

LINHA DE PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO



Busca do histórico

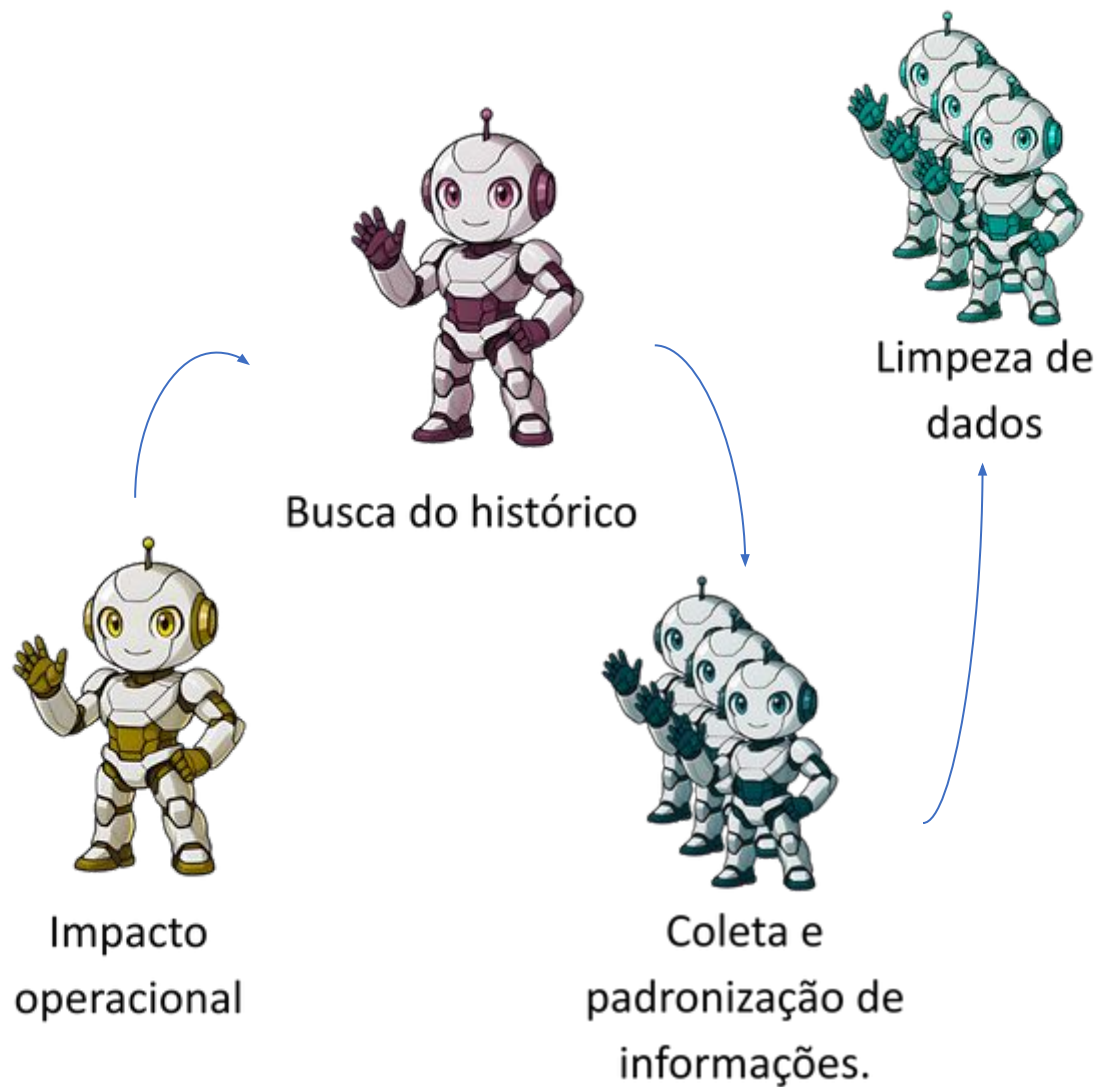


Impacto
operacional

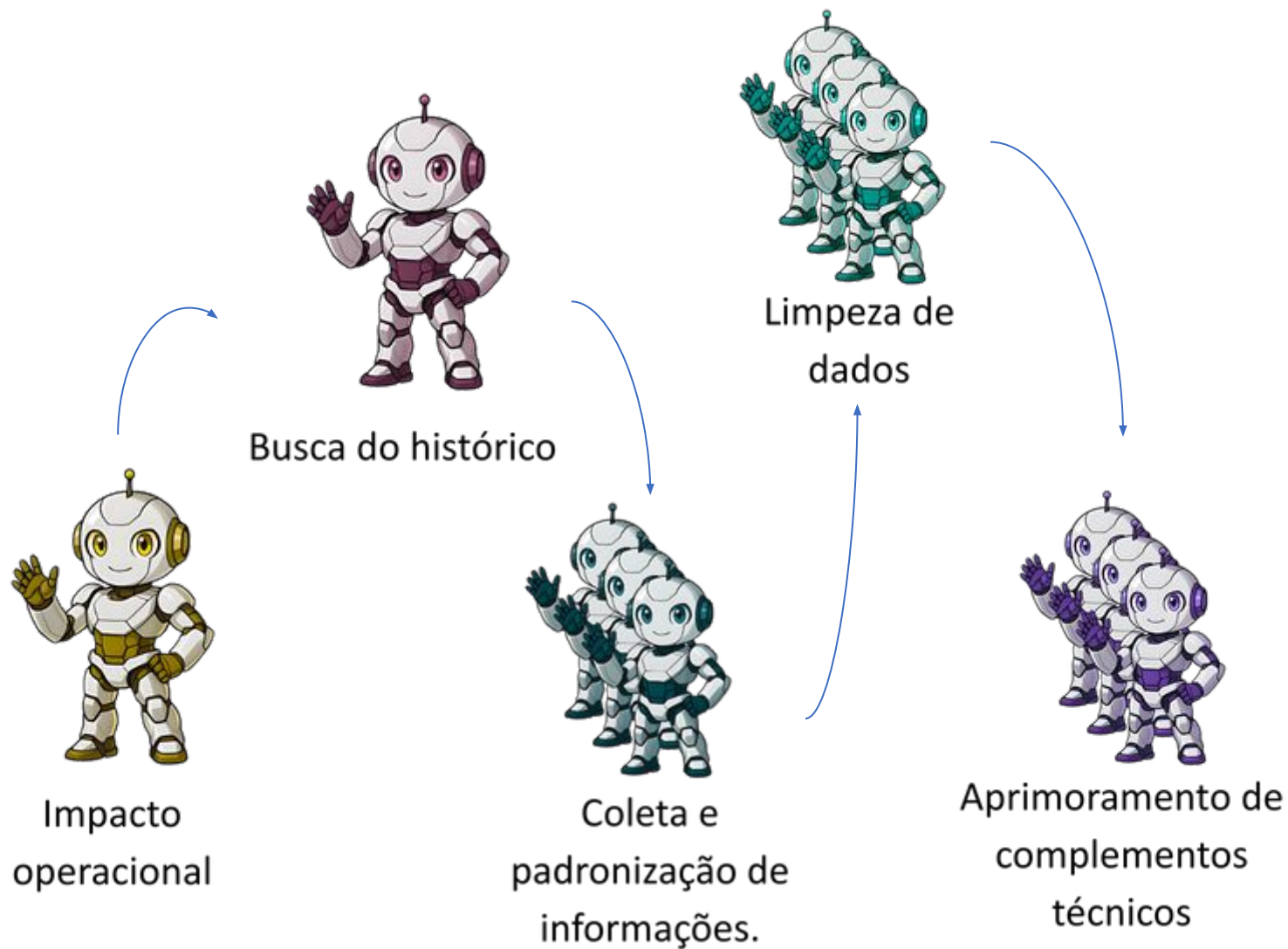


Coleta e
padronização de
informações.

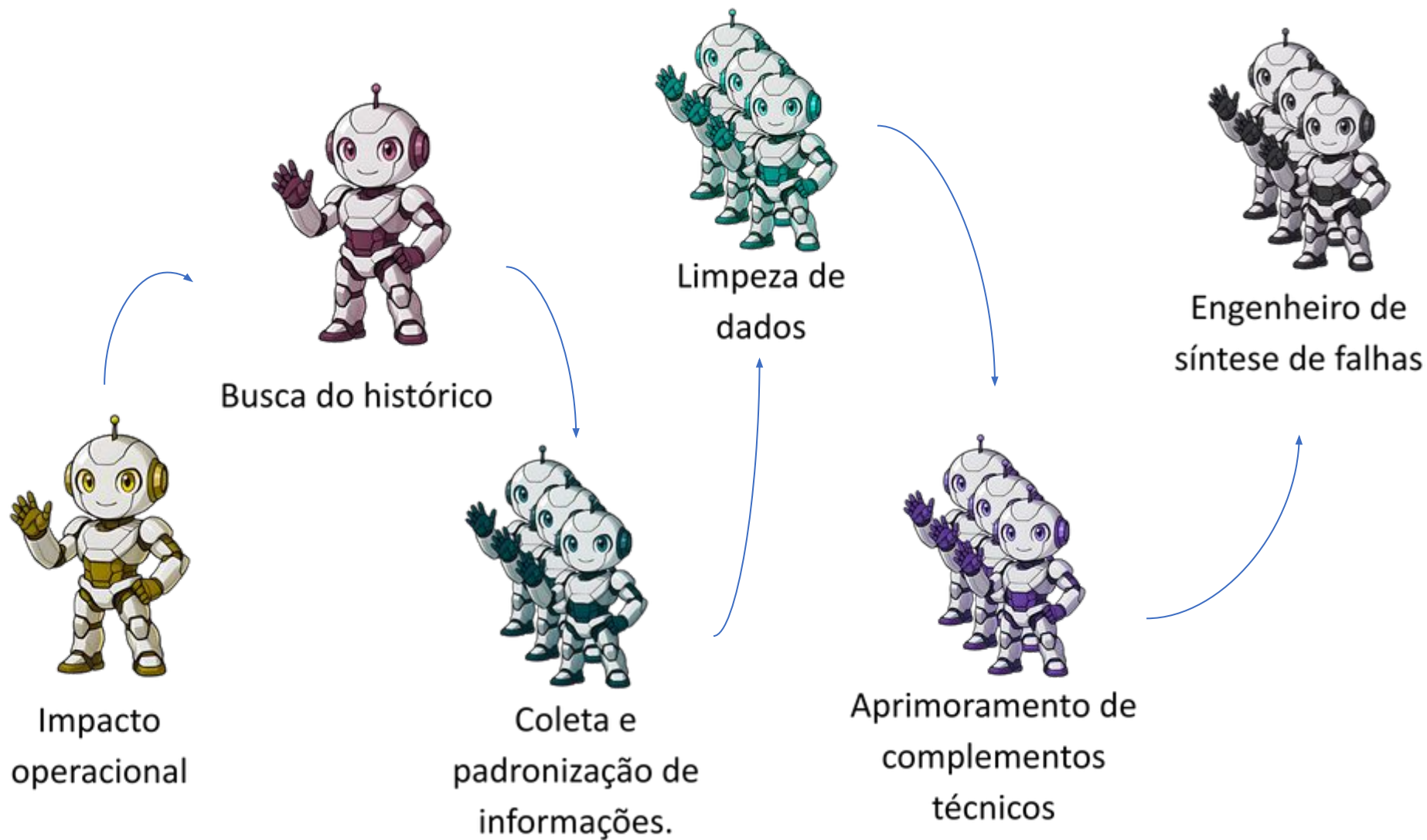
LINHA DE PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO



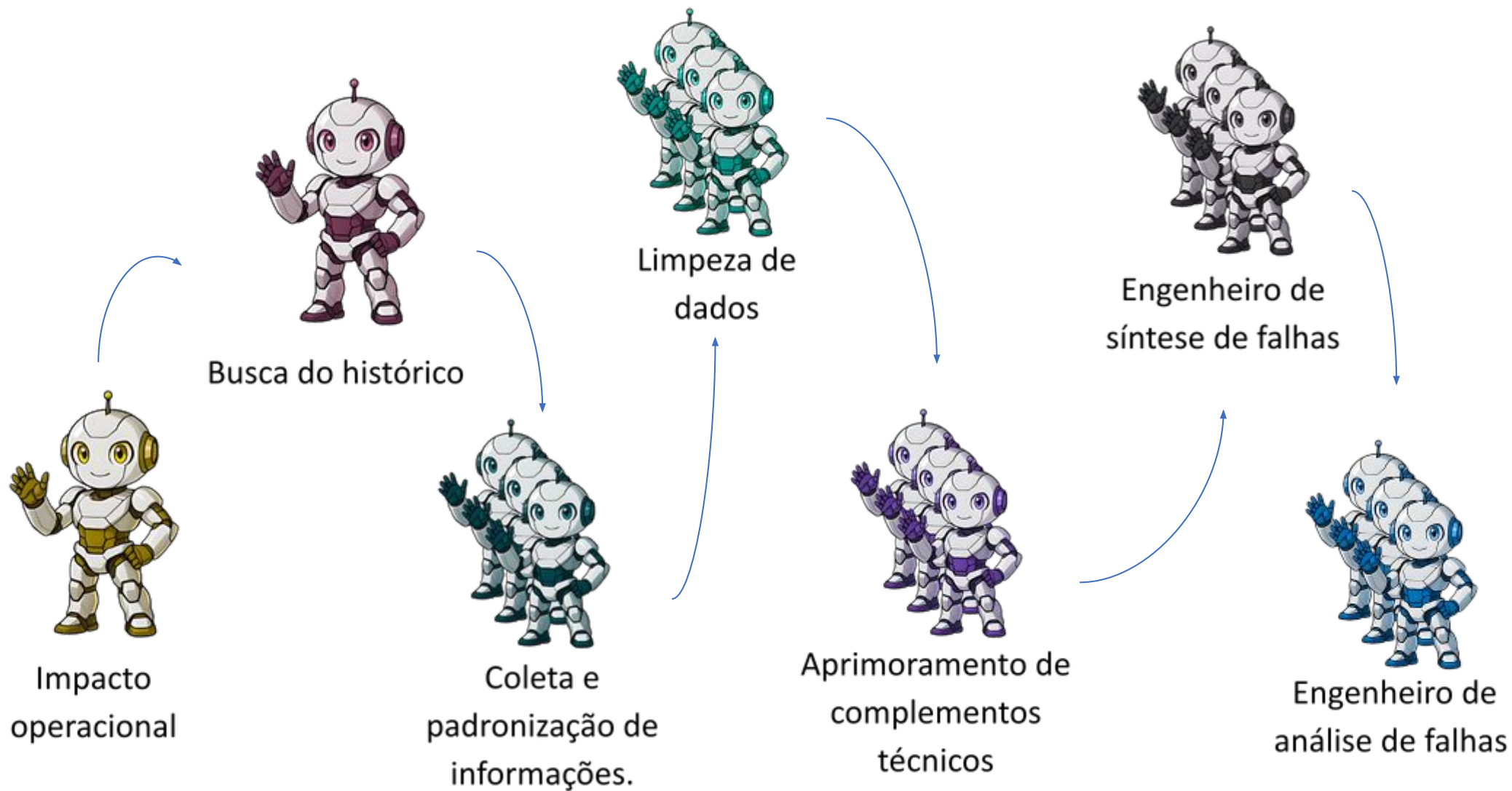
LINHA DE PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO



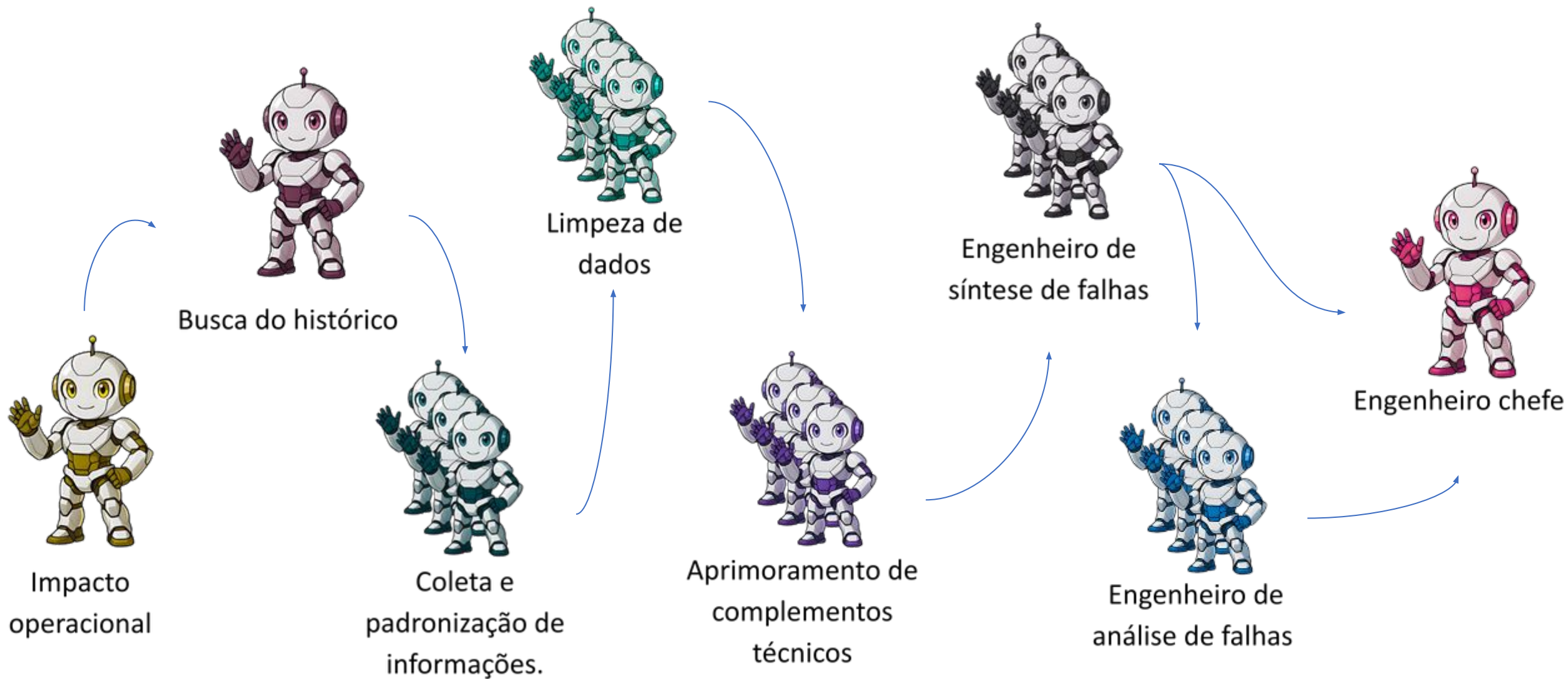
LINHA DE PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO



LINHA DE PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO



LINHA DE PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO



O RESULTADO: UM RELATÓRIO QUE GERA AÇÃO



1 - Resumo Técnico dos Eventos Analisados
Visão geral do histórico e sintomas



2 - Modos de Falha Observados
Lista padronizada com códigos e descrições



3 - Hipóteses das Causas Raiz (5 Porquês – Síntese)
Cadeias de causa e efeito estruturadas



4 - Análise dos Indicadores de Tempo
Tempo de indisponibilidade, reparo e acesso.



5 - Plano de Ação Integrado e Prioritário
Medidas corretivas e preventivas com prioridade



6 - Recomendações Técnicas
Sugestões adicionais, melhorias e ajustes operacionais



7 - Conclusão
Síntese das análises

O RESULTADO: UM RELATÓRIO QUE GERA AÇÃO



1 - Resumo Técnico dos Eventos Analisados
Visão geral do histórico e sintomas



2 - Modos de Falha Observados
Lista padronizada com códigos e descrições



3 - Hipóteses das Causas Raiz (5 Porquês – Síntese)
Cadeias de causa e efeito estruturadas



4 - Análise dos Indicadores de Tempo
Tempo de indisponibilidade, reparo e acesso.



5 - Plano de Ação Integrado e Prioritário
Medidas corretivas e preventivas com prioridade



6 - Recomendações Técnicas
Sugestões adicionais, melhorias e ajustes operacionais



7 - Conclusão
Síntese das análises

O RESULTADO: UM RELATÓRIO QUE GERA AÇÃO



1 - Resumo Técnico dos Eventos Analisados
Visão geral do histórico e sintomas



2 - Modos de Falha Observados
Lista padronizada com códigos e descrições



3 - Hipóteses das Causas Raiz (5 Porquês – Síntese)
Cadeias de causa e efeito estruturadas



4 - Análise dos Indicadores de Tempo
Tempo de indisponibilidade, reparo e acesso.



5 - Plano de Ação Integrado e Prioritário
Medidas corretivas e preventivas com prioridade



6 - Recomendações Técnicas
Sugestões adicionais, melhorias e ajustes operacionais



7 - Conclusão
Síntese das análises

O RESULTADO: UM RELATÓRIO QUE GERA AÇÃO



1 - Resumo Técnico dos Eventos Analisados
Visão geral do histórico e sintomas



2 - Modos de Falha Observados
Lista padronizada com códigos e descrições



3 - Hipóteses das Causas Raiz (5 Porquês – Síntese)
Cadeias de causa e efeito estruturadas



4 - Análise dos Indicadores de Tempo
Tempo de indisponibilidade, reparo e acesso.



5 - Plano de Ação Integrado e Prioritário
Medidas corretivas e preventivas com prioridade



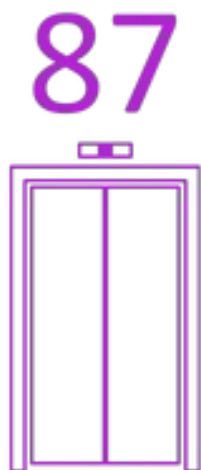
6 - Recomendações Técnicas
Sugestões adicionais, melhorias e ajustes operacionais



7 - Conclusão
Síntese das análises

O PROJETO PILOTO NOS ELEVADORES

O PROJETO PILOTO NOS ELEVADORES



Análise de todos os elevadores
instalados nas estações da
CPTM

O PROJETO PILOTO NOS ELEVADORES

87



Análise de todos os elevadores
instalados nas estações da
CPTM

344



Eventos de falha processados no
período de abril a junho de
2025

O PROJETO PILOTO NOS ELEVADORES

87



Análise de todos os elevadores
instalados nas estações da
CPTM

344



Eventos de falha processados no
período de abril a junho de
2025

4



Equipamentos críticos
selecionados por um agente de
IA para análise aprofundada

ESTUDO DE CASO: ELO1BAS



1 - Resumo Técnico dos Eventos Analisados
Visão geral do histórico e sintomas



2 - Modos de Falha Observados
Lista padronizada com códigos e descrições



3 - Hipóteses das Causas Raiz (5 Porquês – Síntese)
Cadeias de causa e efeito estruturadas



4 - Análise dos Indicadores de Tempo
Tempo de indisponibilidade, reparo e acesso.



5 - Plano de Ação Integrado e Prioritário
Medidas corretivas e preventivas com prioridade



6 - Recomendações Técnicas
Sugestões adicionais, melhorias e ajustes operacionais



7 - Conclusão
Síntese das análises

16 eventos de falha envolvendo principalmente os sistemas de controle eletrônico, sistema mecânico e elétrico das portas, sistema hidráulico de nivelamento e componentes elétricos da cabine.

...

... com destaque **para gargalos recorrentes no tempo de acesso**, que em muitos casos superaram em muito o tempo efetivo de reparo técnico.

ESTUDO DE CASO: ELO1BAS



1 - Resumo Técnico dos Eventos Analisados
Visão geral do histórico e sintomas



2 - Modos de Falha Observados
Lista padronizada com códigos e descrições



3 - Hipóteses das Causas Raiz (5 Porquês – Síntese)
Cadeias de causa e efeito estruturadas



4 - Análise dos Indicadores de Tempo
Tempo de indisponibilidade, reparo e acesso.



5 - Plano de Ação Integrado e Prioritário
Medidas corretivas e preventivas com prioridade

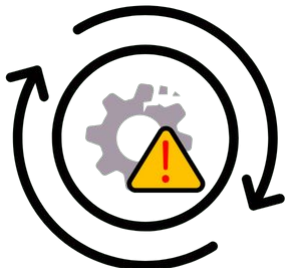


6 - Recomendações Técnicas
Sugestões adicionais, melhorias e ajustes operacionais



7 - Conclusão
Síntese das análises

Código modo de falha	Descrição do modo de falha	Qtde de falhas	Nºs das falhas
MF-03	Desalinhamento mecânico do conjunto de fechamento da porta	2	[2xx28, 227xx]
MF-09	Botão de comando elétrico da porta solto ou desajustado	2	[xx653, 22xx1]
MF-08	Obstrução na porta com atuação do sistema de segurança	1	[2xx33]
MF-14	Botão do painel de comando desencaixado por vandalismo	1	[212xx]



ESTUDO DE CASO: ELO1BAS



1 - Resumo Técnico dos Eventos Analisados
Visão geral do histórico e sintomas



2 - Modos de Falha Observados
Lista padronizada com códigos e descrições



3 - Hipóteses das Causas Raiz (5 Porquês – Síntese)
Cadeias de causa e efeito estruturadas



4 - Análise dos Indicadores de Tempo
Tempo de indisponibilidade, reparo e acesso.



5 - Plano de Ação Integrado e Prioritário
Medidas corretivas e preventivas com prioridade



6 - Recomendações Técnicas
Sugestões adicionais, melhorias e ajustes operacionais



7 - Conclusão
Síntese das análises

6 Causas identificadas.

...

A indisponibilidade prolongada do elevador decorre principalmente do **tempo elevado de acesso da equipe técnica ao local, superior ao tempo efetivo de reparo.**

...

ESTUDO DE CASO: ELO1BAS



1 - Resumo Técnico dos Eventos Analisados
Visão geral do histórico e sintomas



2 - Modos de Falha Observados
Lista padronizada com códigos e descrições



3 - Hipóteses das Causas Raiz (5 Porquês – Síntese)
Cadeias de causa e efeito estruturadas



4 - Análise dos Indicadores de Tempo
Tempo de indisponibilidade, reparo e acesso.



5 - Plano de Ação Integrado e Prioritário
Medidas corretivas e preventivas com prioridade



6 - Recomendações Técnicas
Sugestões adicionais, melhorias e ajustes operacionais



7 - Conclusão
Síntese das análises

...

Em 12 dos 16 eventos, o **tempo de acesso foi significativamente maior que o tempo efetivo de reparo**, indicando gargalos logísticos e operacionais

...

ESTUDO DE CASO: ELO1BAS



1 - Resumo Técnico dos Eventos Analisados
Visão geral do histórico e sintomas



2 - Modos de Falha Observados
Lista padronizada com códigos e descrições



3 - Hipóteses das Causas Raiz (5 Porquês – Síntese)
Cadeias de causa e efeito estruturadas



4 - Análise dos Indicadores de Tempo
Tempo de indisponibilidade, reparo e acesso.



5 - Plano de Ação Integrado e Prioritário
Medidas corretivas e preventivas com prioridade



6 - Recomendações Técnicas
Sugestões adicionais, melhorias e ajustes operacionais



7 - Conclusão
Síntese das análises

“ ...

O que fazer: Revisar o fluxo de acionamento das equipes para priorizar ocorrências em equipamentos críticos e otimizar o tempo de deslocamento....”

...

Como fazer:

- Mapear processos atuais e identificar gargalos logísticos.
- Implementar sistema de alerta e despacho rápido para equipe técnica.

...

Ordem:

Imediata, para impacto rápido na redução da indisponibilidade.

”
...

ESTUDO DE CASO: ELO1BAS



1 - Resumo Técnico dos Eventos Analisados
Visão geral do histórico e sintomas



2 - Modos de Falha Observados
Lista padronizada com códigos e descrições



3 - Hipóteses das Causas Raiz (5 Porquês – Síntese)
Cadeias de causa e efeito estruturadas



4 - Análise dos Indicadores de Tempo
Tempo de indisponibilidade, reparo e acesso.



5 - Plano de Ação Integrado e Prioritário
Medidas corretivas e preventivas com prioridade



6 - Recomendações Técnicas
Sugestões adicionais, melhorias e ajustes operacionais



7 - Conclusão
Síntese das análises

“ ...

A proteção contra vandalismo e interferências externas deve ser reforçada para evitar falhas não sistêmicas que impactam a operação e a segurança

”
...

ESTUDO DE CASO: EL01BAS



1 - Resumo Técnico dos Eventos Analisados
Visão geral do histórico e sintomas



2 - Modos de Falha Observados
Lista padronizada com códigos e descrições



3 - Hipóteses das Causas Raiz (5 Porquês – Síntese)
Cadeias de causa e efeito estruturadas



4 - Análise dos Indicadores de Tempo
Tempo de indisponibilidade, reparo e acesso.



5 - Plano de Ação Integrado e Prioritário
Medidas corretivas e preventivas com prioridade



6 - Recomendações Técnicas
Sugestões adicionais, melhorias e ajustes operacionais



7 - Conclusão
Síntese das análises

O equipamento EL01BAS apresenta falhas recorrentes, principalmente nos sistemas mecânicos e elétricos das portas, no sistema hidráulico de nivelamento e nos componentes eletrônicos sensoriais. **A análise demonstrou que grande parte da indisponibilidade é decorrente de gargalos logísticos e da necessidade de melhoria de inspeções preventivas específicas.** Dessa forma, é imprescindível implementar um plano de ação prioritário que contemple a otimização logística, a atualização dos procedimentos de manutenção, a proteção contra fatores externos, a fim de melhorar significativamente a confiabilidade e disponibilidade do elevador.

O IMPACTO DA AUTOMAÇÃO: UMA NOVA REALIDADE NA ANÁLISE



600

horas de trabalho
técnico

O IMPACTO DA AUTOMAÇÃO: UMA NOVA REALIDADE NA ANÁLISE



600

horas de trabalho
técnico



14

horas de
processamento

O IMPACTO DA AUTOMAÇÃO: UMA NOVA REALIDADE NA ANÁLISE



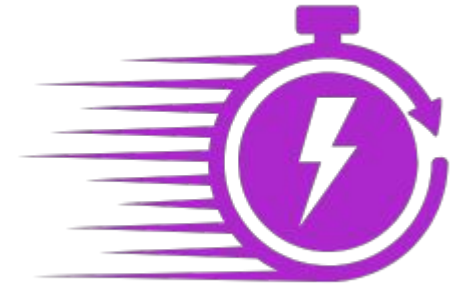
600

horas de trabalho
técnico



14

horas de
processamento



+97%

velocidade na
análise

CONCLUSÕES E PRÓXIMOS PASSOS



+97% em Velocidade de Análise

Redução drástica no tempo de elaboração de relatórios.

Equipe Mais Estratégica

Liberação do corpo técnico para a manutenção em campo.

Impacto na Operação

Aumento da confiabilidade e disponibilidade dos ativos.

CONCLUSÕES E PRÓXIMOS PASSOS



+97% em Velocidade de Análise

Redução drástica no tempo de elaboração de relatórios.

Equipe Mais Estratégica

Liberação do corpo técnico para a manutenção em campo.

Impacto na Operação

Aumento da confiabilidade e disponibilidade dos ativos.



Aprimorar o Conhecimento

Alimentar continuamente os agentes.

Expandir para Outros Ativos

Levar a análise inteligente para outros ativos.

Integrar com Manutenção Preditiva

Conectar o sistema a modelos preditivos para antecipar falhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DU, H. et al. A Survey on Context-Aware Multi-Agent Systems. arXiv preprint, 2024.

FERBER, J. Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence. Addison-Wesley, 1999.

GUO, T. et al. Large Language Model based Multi-Agents: A Survey of Progress and Challenges. IJCAI, 2024.

LAFRAIA, J. R. B. Manual de Gestão de Ativos. Ed. do Autor, 2020.

MONTGOMERY, D. C. Introduction to Statistical Quality Control. 8. ed. John Wiley & Sons, 2020.

AEAMESP

35 ANOS NOS TRILHOS DA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

OBRIGADO!

Estêvão Lima Rabelo

estevao.rabelo@cptm.sp.gov.br

