

# **SIGMA EAM**

## **50 Aplicações de Dados Históricos**

*Priorização por Matriz GUT com Aplicação de Pareto*

### **Trabalho Técnico-Científico**

Aprofundamento técnico, conceitos, fórmulas e roteiros de implantação

### **Rede Industrial — Sistema SIGMA EAM**

*Documento técnico de referência para Gestão da Manutenção*

## Apresentação

Este documento apresenta 50 aplicações práticas dos dados históricos armazenados no SIGMA EAM — histórico de máquinas, Ordens de Serviço, tempos de trabalho, consumo de materiais, falhas e custos — voltadas à redução de custos operacionais e ao aumento da eficiência da mão de obra, do estoque e da produção.

A relação foi reordenada pela Matriz GUT (Gravidade, Urgência, Tendência) combinada à regra de Pareto (80/20), de modo que as primeiras ações concentrem o maior retorno por esforço investido. Cada item inclui: conceito técnico, fórmula ou modelo de cálculo, roteiro de implantação no SIGMA EAM, KPI de acompanhamento e ganho esperado, com base em benchmarks de McKinsey, Deloitte, Aberdeen Group, A.T. Kearney e U.S. Department of Energy.

## Estrutura da priorização

- Camada Crítica (itens 1–10) — GUT 100 a 125 — executar em 0 a 90 dias.
- Camada Estratégica (itens 11–20) — GUT 80 a 96 — executar em 90 a 180 dias.
- Camada Tática (itens 21–35) — GUT 48 a 75 — executar em 6 a 12 meses.
- Camada de Maturidade (itens 36–50) — GUT 16 a 45 — executar em 12 a 24 meses.

## ROI consolidado de programas estruturados (benchmark)

- ROI médio: 200% a 500% em 24 meses; payback de 3 a 6 meses.
- Redução de 10% a 40% no custo total de manutenção (McKinsey).
- Redução de 25% a 50% em paradas não planejadas (Aberdeen / Deloitte).
- Aumento de 20% a 28% na produtividade da mão de obra (Deloitte / A.T. Kearney).
- Redução de 15% a 25% no capital imobilizado em estoque MRO.
- Aumento do Wrench Time de 25–35% para 55–65% (A.T. Kearney).

# Índice das 50 Ações Priorizadas

## Camada Crítica — Pareto Vital (1 a 10)

1. Mix de manutenção: corretiva, preventiva e preditiva — GUT 125
2. Análise de Pareto das falhas (regra 80/20) — GUT 125
3. Mapeamento e eliminação de falhas crônicas recorrentes — GUT 125
4. MTBF (Mean Time Between Failures) por ativo — GUT 100
5. Previsão de demanda de peças atrelada a planos preventivos — GUT 100
6. Custo de downtime (parada) por hora — GUT 100
7. Análise XYZ de criticidade operacional de itens de estoque — GUT 100
8. Cumprimento da programação (Schedule Compliance) — GUT 100
9. Identificação e liquidação de itens sem movimentação (obsoletos) — GUT 100
10. Custo total de manutenção por ativo — GUT 100

## Camada Estratégica (11 a 20)

11. MTTR (Mean Time To Repair) por tipo de falha — GUT 80
12. Disponibilidade histórica por ativo — GUT 80
13. Índice de retrabalho de manutenção — GUT 80
14. Backlog vs. capacidade de execução por especialidade — GUT 80
15. Curva ABC de consumo de materiais — GUT 80
16. Detecção de consumo anormal de itens — GUT 80
17. Lead time real de fornecedores — GUT 80
18. Ajuste da periodicidade de planos preventivos com base em MTBF real — GUT 80
19. Eficácia dos planos preventivos — GUT 80
20. Análise de horas extras por equipe — GUT 80

## Camada Tática (21 a 35)

21. Variação orçamentária: planejado vs. realizado — GUT 64
22. Tempo médio padrão por tipo de serviço — GUT 60
23. Desempenho individual de técnicos — GUT 60
24. Tempo de deslocamento entre tarefas (wrench time) — GUT 60
25. Estoque de segurança calculado estatisticamente — GUT 60
26. Análise de tendências em medições históricas — GUT 60
27. RCA (Root Cause Analysis) estruturada — GUT 60
28. CMVR — Custo de Manutenção sobre Valor de Reposição — GUT 60
29. Apropriação de custo por centro de custo e área — GUT 60
30. FMEA alimentado com histórico real — GUT 48
31. Matriz de competências baseada em histórico de execução — GUT 48
32. Giro de estoque por categoria — GUT 48
33. Padronização e racionalização de SKUs — GUT 48
34. Identificação de candidatos a manutenção preditiva — GUT 48
35. Custo unitário por tipo de manutenção — GUT 48

## Camada de Maturidade (36 a 50)

- 36. MTTF (Mean Time To Failure) de componentes consumíveis — *GUT 45*
- 37. Análise de Weibull para previsão de falhas — *GUT 45*
- 38. Identificação de lacunas de treinamento — *GUT 45*
- 39. TCO (Total Cost of Ownership) por item — *GUT 45*
- 40. Migração de manutenção por tempo (TBM) para por condição (CBM) — *GUT 45*
- 41. RCM (Reliability-Centered Maintenance) com histórico real — *GUT 45*
- 42. Eficácia de modificações de engenharia — *GUT 45*
- 43. ROI de projetos de melhoria — *GUT 45*
- 44. Decisão de substituir vs. recuperar (replace or repair) — *GUT 45*
- 45. Planejamento de paradas gerais (shutdowns) com base histórica — *GUT 36*
- 46. Curva da banheira aplicada por família de equipamentos — *GUT 30*
- 47. Dimensionamento ideal equipe própria vs. terceirizada — *GUT 30*
- 48. Benchmarking entre plantas ou setores — *GUT 20*
- 49. Contratos de performance com fornecedores (SLA-based) — *GUT 20*
- 50. Simulação de cenários (digital twin) baseada em dados históricos — *GUT 16*

## Camada Crítica — Pareto Vital (Ações 1 a 10)

Estas dez ações concentram entre 70% e 80% do retorno total possível das 50 aplicações. Devem ser iniciadas nos primeiros 90 dias do programa. A dispersão de esforço em todas as 50 ações simultaneamente é o erro mais comum em programas de transformação da manutenção.

### 1. Mix de manutenção: corretiva, preventiva e preditiva

---

**Categoria:** Camada Crítica — Mix de Manutenção **Item original:** #13 **Pontuação GUT:** 125 (G5×U5×T5)

#### Conceito técnico

Trata-se da distribuição percentual das horas (ou custos) de manutenção entre as três naturezas básicas: corretiva (reativa, pós-falha), preventiva (planejada por tempo ou uso) e preditiva (baseada em condição). Estudos de Deloitte e McKinsey apontam que a manutenção corretiva emergencial custa de 3 a 5 vezes mais que a planejada — devido a horas extras, compras urgentes, lucro cessante e danos secundários. O objetivo do indicador é forçar a migração progressiva da operação reativa para a planejada, meta de classe mundial: 85% a 90% do esforço em trabalho planejado.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\% \text{ Corretiva} = (H \text{ corretiva} \div H \text{ total}) \times 100$$

$$\% \text{ Preventiva} = (H \text{ preventiva} \div H \text{ total}) \times 100$$

$$\% \text{ Preditiva} = (H \text{ preditiva} \div H \text{ total}) \times 100$$

$$\text{Índice de Planejamento} = (H \text{ preventiva} + H \text{ preditiva}) \div H \text{ total} \times 100$$

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Garantir que toda OS no SIGMA EAM seja classificada por TIPO (corretiva emergencial, corretiva planejada, preventiva sistemática, preditiva, melhoria).

**Etapa 2:** Configurar relatório mensal no SIGMA agrupando horas apontadas por TIPO de OS.

**Etapa 3:** Definir baseline atual (ex.: 70% corretiva, 25% preventiva, 5% preditiva).

**Etapa 4:** Estabelecer meta progressiva: ano 1 → 50/40/10; ano 2 → 30/55/15; ano 3 → 15/70/15.

**Etapa 5:** Bloquear, por workflow, a abertura de OS corretiva sem classificação de modo de falha (para alimentar Pareto).

**Etapa 6:** Apresentar o gráfico em reunião mensal de PCM com a diretoria.

#### KPI de acompanhamento

Índice de Planejamento (%) — meta > 85% em 24 meses.

#### Ganho esperado

*Redução de 20% a 30% no custo total de manutenção e queda de 25% a 50% nas paradas não planejadas em 12 a 24 meses.*

### 2. Análise de Pareto das falhas (regra 80/20)

---

**Categoria:** Camada Crítica — Análise de Falhas **Item original:** #6 **Pontuação GUT:** 125 (G5×U5×T5)

#### Conceito técnico

O Princípio de Pareto aplicado à manutenção afirma que aproximadamente 20% dos modos de falha (ou ativos, ou códigos de OS) são responsáveis por 80% dos custos, paradas ou horas consumidas. Identificar este grupo crítico permite concentrar engenharia de confiabilidade onde o retorno é máximo. É a ferramenta de priorização mais barata e poderosa da gestão da manutenção.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$\% \text{ Acumulado de impacto} = \Sigma (\text{impacto do modo de falha } i) \div \Sigma (\text{impacto total}) \times 100$   
*Corte de Pareto: incluir modos até atingir 80% acumulado*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Padronizar o cadastro de Modos de Falha no SIGMA EAM (ex.: vazamento, rolamento travado, queima de motor, sensor descalibrado).

**Etapa 2:** Garantir que toda OS corretiva tenha modo de falha preenchido na conclusão (campo obrigatório).

**Etapa 3:** Extrair, a cada 90 dias, o relatório de frequência  $\times$  custo por modo de falha.

**Etapa 4:** Ordenar de forma decrescente e construir o gráfico de Pareto (barras + linha cumulativa).

**Etapa 5:** Identificar os modos que somam 80% do impacto e abrir projetos de RCA (item #18 desta lista) para cada um.

**Etapa 6:** Reavaliar trimestralmente — modos resolvidos saem da lista; novos podem entrar.

### KPI de acompanhamento

Número de modos de falha responsáveis por 80% do custo — meta: reduzir esse número a cada trimestre.

### Ganho esperado

*Redução drástica do volume total de corretivas com esforço de engenharia concentrado, tipicamente 30% a 40% de queda em falhas crônicas.*

## 3. Mapeamento e eliminação de falhas crônicas recorrentes

---

**Categoria:** Camada Crítica — Falhas Recorrentes **Item original:** #9 **Pontuação GUT:** 125 (G5×U5×T5)

### Conceito técnico

Falhas crônicas são ocorrências de baixo impacto unitário mas alta frequência, que se repetem mês após mês e se diluem invisíveis no orçamento. Diferem das falhas catastróficas (alto impacto, baixa frequência), que costumam receber atenção. A soma das crônicas, ao longo do ano, costuma superar o impacto das catastróficas. A literatura técnica (SMRP, Aberdeen) classifica como crônica qualquer falha repetida 3+ vezes no mesmo ativo em 12 meses.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$\text{Índice de Cronicidade} = n^{\circ} \text{ de ocorrências do mesmo modo de falha no ativo} \div 12 \text{ meses}$   
 $\text{Custo Anual da Crônica} = n^{\circ} \text{ ocorrências} \times (H \text{ reparo} \times R\$/h + \text{materiais} + \text{downtime})$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Configurar consulta no SIGMA EAM que liste, por ativo, os modos de falha repetidos 3 ou mais vezes em 12 meses.

**Etapa 2:** Calcular o custo anual de cada crônica (mão de obra + materiais + lucro cessante).

**Etapa 3:** Ranquear por custo total anual decrescente.

**Etapa 4:** Abrir projeto formal de RCA (Análise de Causa Raiz) com método 5 Porquês ou Ishikawa para cada crônica do top 10.

**Etapa 5:** Implementar ação corretiva definitiva (modificação de engenharia, mudança de spec de material, treinamento, alteração de processo).

**Etapa 6:** Monitorar MTBF antes e depois para validar a eliminação.

### KPI de acompanhamento

Custo total anual de falhas crônicas (R\$) — meta de redução de 50% em 12 meses.

### Ganho esperado

*Elimina custos recorrentes que se diluem no orçamento. Casos documentados mostram ganhos de R\$ 200 mil a R\$ 2 milhões por planta no primeiro ano de programa estruturado.*

## 4. MTBF (Mean Time Between Failures) por ativo

---

**Categoria:** Camada Crítica — Confiabilidade **Item original:** #1 **Pontuação GUT:** 100 (G5×U5×T4)

### Conceito técnico

O MTBF mede o tempo médio entre falhas consecutivas de um ativo reparável. É o indicador-mestre de confiabilidade. Quanto maior o MTBF, maior a confiabilidade do equipamento. Aplica-se a ativos que falham, são reparados e retornam à operação. Para componentes não reparáveis (correias, rolamentos), usa-se o MTTF (item #36). O MTBF é a base para o cálculo de disponibilidade, definição de periodicidade de preventiva e análise estatística de Weibull.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$MTBF = \Sigma (\text{Tempo de operação}) \div N^{\circ} \text{ de falhas}$$
$$\text{Ou: } MTBF = (\text{Tempo total disponível} - \text{Tempo total de parada}) \div N^{\circ} \text{ de falhas}$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Garantir o registro preciso, em cada OS corretiva, do horário de início e fim da intervenção (parada e retomada).

**Etapa 2:** Configurar no SIGMA EAM o cálculo automático de MTBF por ativo, com janela móvel de 12 meses.

**Etapa 3:** Tabular MTBF dos 20% ativos mais críticos da planta (curva ABC de criticidade operacional).

**Etapa 4:** Acompanhar a tendência mensal: MTBF crescente = melhoria; decrescente = degradação.

**Etapa 5:** Cruzar MTBF com idade do ativo e custo acumulado para alimentar decisão de substituição (item #41).

### KPI de acompanhamento

MTBF médio dos ativos classe A — meta: crescimento de 10% a 20% ao ano.

### Ganho esperado

*Indicador-base de toda gestão de confiabilidade. Sem MTBF confiável, nenhuma outra análise é estatisticamente válida.*

## 5. Previsão de demanda de peças atrelada a planos preventivos

---

**Categoria:** Camada Crítica — Estoque **Item original:** #25 **Pontuação GUT:** 100 (G5×U5×T4)

### Conceito técnico

Compras emergenciais custam, em média, 20% a 40% mais que compras programadas (frete expresso, fornecedor único, preço sem negociação). A previsão de demanda consiste em antecipar a necessidade de materiais consumidos em OS preventivas futuras já agendadas no SIGMA EAM, gerando uma curva de demanda projetada de 3 a 12 meses. Essa curva alimenta o setor de compras com tempo hábil para licitar, negociar lote econômico e exigir SLA de entrega.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Demanda Prevista (item, mês)} = \Sigma (\text{consumo padrão por OS} \times n^{\circ} \text{ de OS planejadas no mês})$$
$$\text{Ponto de Pedido} = (\text{Demanda Diária Média} \times \text{Lead Time}) + \text{Estoque de Segurança}$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Padronizar o cadastro de materiais consumidos em cada Plano de Manutenção Preventiva (BOM da OS).

**Etapa 2:** Configurar no SIGMA EAM o relatório de Demanda Projetada por item, agregando OS planejadas em janela de 90 dias.

**Etapa 3:** Enviar automaticamente o relatório semanal ao setor de Compras.

**Etapa 4:** Estabelecer SLA interno: itens previstos com 90+ dias devem ser comprados em modo planejado (sem urgência).

**Etapa 5:** Monitorar mensalmente o percentual de compras emergenciais — meta: < 15% do total.

#### KPI de acompanhamento

% de compras emergenciais sobre total — meta: < 15% em 12 meses.

#### Ganho esperado

*Redução de 20% a 40% no custo unitário das compras de MRO e diminuição de rupturas em peças críticas.*

## 6. Custo de downtime (parada) por hora

---

**Categoria:** Camada Crítica — Financeiro **Item original:** #41 **Pontuação GUT:** 100 (G5×U5×T4)

#### Conceito técnico

Quantifica o impacto financeiro de cada hora de parada não planejada — incluindo lucro cessante, mão de obra ociosa, perda de matéria-prima em processo, penalidades contratuais e custo de retomada. O Siemens True Cost of Downtime 2024 aponta US\$ 253 milhões/ano em uma planta industrial de grande porte. Sem este número, não há ROI calculável para nenhum investimento em confiabilidade.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\begin{aligned} \text{Custo/Hora Parada} &= \text{Lucro Cessante} + \text{Mão de Obra Ociosa} + \text{Perda de Insumos} + \text{Multas} \\ &\quad \text{Contratuais} + \text{Custo de Setup de Retomada} \\ \text{Lucro Cessante} &= (\text{Produção/h} \times \text{Margem Unitária}) \end{aligned}$$

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Reunir Manutenção, Operação, Controladoria e Comercial para validar os componentes do custo/hora.

**Etapa 2:** Calcular o custo/hora separadamente para cada linha produtiva (linhas críticas vs. não críticas).

**Etapa 3:** Cadastrar o valor no SIGMA EAM como atributo do ativo ou da área operacional.

**Etapa 4:** Configurar o sistema para multiplicar automaticamente o tempo de parada da OS pelo custo/hora cadastrado.

**Etapa 5:** Apresentar mensalmente o relatório de Custo de Downtime por área para alinhar prioridades com a Operação.

#### KPI de acompanhamento

Custo total de downtime mensal (R\$) — meta: redução anual escalonada.

#### Ganho esperado

*Justifica financeiramente os investimentos em confiabilidade. Transforma o discurso técnico (MTBF, MTTR) em linguagem financeira (R\$ economizados).*

## 7. Análise XYZ de criticidade operacional de itens de estoque

---

**Categoria:** Camada Crítica — Estoque **Item original:** #22 **Pontuação GUT:** 100 (G5×U5×T4)

#### Conceito técnico

Enquanto a Curva ABC classifica itens por valor financeiro, a Análise XYZ classifica por criticidade operacional: X = vital (sua falta para a produção), Y = importante (degrada operação), Z = não crítico. Itens de baixo valor

(R\$ 50) podem ser classe X e, se faltarem, custam horas de parada. A combinação ABC × XYZ gera 9 categorias com políticas de estoque específicas.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Matriz ABC × XYZ:*

*AX, AY, AZ: alto valor – controle rigoroso*

*BX, BY, BZ: valor médio – controle moderado*

*CX: baixo valor, mas vital – estoque garantido!*

*CY, CZ: baixo valor, não crítico – políticas simplificadas*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Listar todos os itens de estoque MRO no SIGMA EAM.

**Etapa 2:** Em workshop com Manutenção e Operação, classificar cada item em X, Y ou Z conforme impacto da ruptura.

**Etapa 3:** Cruzar a classificação com a curva ABC existente (valor de consumo).

**Etapa 4:** Definir políticas de estoque por célula da matriz (estoque mínimo, máximo, ponto de pedido, frequência de inventário).

**Etapa 5:** Garantir estoque de segurança  $\geq 0$  para 100% dos itens classe X, independentemente do valor.

**Etapa 6:** Revisar a classificação anualmente ou em mudanças de processo.

### KPI de acompanhamento

Nº de rupturas em itens classe X — meta: zero.

### Ganho esperado

*Elimina paradas de produção por falta de item de baixo valor (caso clássico: parada de R\$ 50 mil por falta de retentor de R\$ 12).*

## 8. Cumprimento da programação (Schedule Compliance)

---

**Categoria:** Camada Crítica — Planejamento **Item original:** #14 **Pontuação GUT:** 100 (G4×U5×T5)

### Conceito técnico

O Schedule Compliance mede o percentual de OS executadas conforme programadas na semana, comparando o que foi planejado vs. o que foi efetivamente realizado dentro do prazo previsto. É o indicador-mestre da eficácia do PCM. Padrão de classe mundial:  $\geq 85\%$ . Abaixo de 70%, o planejamento é fictício — a operação está em modo reativo, ainda que o sistema mostre OS preventivas cadastradas.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Schedule Compliance = (OS Programadas Executadas no Prazo ÷ Total OS Programadas) × 100*

*Critério: a OS deve ter sido concluída no dia/semana programado, sem reagendamento.*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Garantir que toda OS preventiva e planejada tenha data alvo programada no SIGMA EAM.

**Etapa 2:** Configurar relatório semanal com OS programadas vs. executadas vs. reagendadas vs. canceladas.

**Etapa 3:** Apurar o indicador toda segunda-feira, comparando a semana anterior.

**Etapa 4:** Investigar as causas de não cumprimento (falta de peça, indisponibilidade de operação, falta de equipe, mudança de prioridade).

**Etapa 5:** Acompanhar a curva mensal em reunião de PCM — meta: 60% → 75% → 85% em 18 meses.

**Etapa 6:** Vincular o indicador a metas de bonificação do supervisor de manutenção.

## KPI de acompanhamento

Schedule Compliance (%) — meta progressiva até > 85%.

## Ganho esperado

*Aumento direto de produtividade da equipe e previsibilidade da produção. Indicador-mestre que destrava todos os demais ganhos do programa.*

## 9. Identificação e liquidação de itens sem movimentação (obsoletos)

---

**Categoria:** Camada Crítica — Estoque **Item original:** #23 **Pontuação GUT:** 100 (G5×U4×T5)

### Conceito técnico

Estoque obsoleto é capital imobilizado em peças que não giram. Em plantas industriais maduras, 15% a 30% do valor do estoque MRO pode estar parado há mais de 24 meses. Esse capital, além de imobilizado, ocupa espaço físico, sofre depreciação e ainda gera custo de armazenagem (estimado em 18% a 25% do valor do estoque por ano).

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Idade de Estoque} = \text{Data Atual} - \text{Data da Última Saída do Item}$$

$$\% \text{ Obsoletos} = (\text{Valor Itens sem movimento} \geq 24 \text{ meses} \div \text{Valor Estoque Total}) \times 100$$

$$\text{Custo de Carregamento Anual} = \text{Valor Estoque} \times \text{Taxa de Carregamento (18\%-25\%)}$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Configurar relatório no SIGMA EAM listando itens sem movimento por faixa: 12, 24, 36 e 48+ meses.

**Etapa 2:** Cruzar a lista com a classificação XYZ — itens X obsoletos podem ser sobressalentes estratégicos legítimos (justificam permanência).

**Etapa 3:** Para itens Y e Z obsoletos: avaliar redistribuição entre unidades, venda como sucata, doação ou descarte fiscal.

**Etapa 4:** Implementar política: todo item sem movimento por 24 meses deve ser revisto pelo gestor de manutenção.

**Etapa 5:** Realizar leilão interno ou venda anual de obsoletos.

**Etapa 6:** Reduzir progressivamente o % de estoque obsoleto — meta: < 10% em 24 meses.

## KPI de acompanhamento

% do valor do estoque com idade > 24 meses — meta: < 10%.

## Ganho esperado

*Libera capital de giro (10% a 20% do valor do estoque MRO em média), reduz custo de armazenagem e libera espaço físico.*

## 10. Custo total de manutenção por ativo

---

**Categoria:** Camada Crítica — Financeiro **Item original:** #39 **Pontuação GUT:** 100 (G5×U4×T5)

### Conceito técnico

Consolida em uma única vista todos os custos atribuídos a cada equipamento ao longo de sua vida: mão de obra própria, mão de obra terceirizada, materiais consumidos, serviços externos, lubrificantes, perdas associadas e custo de downtime. É a base para a decisão estratégica de substituir vs. recuperar. Quando o custo anual ultrapassa 6% do valor de reposição, abre-se o alerta de CAPEX (indicador CMVR — item #28).

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Custo Total Ativo =  $\Sigma$  (Mão de obra própria + Terceiros + Materiais + Serviços + Downtime atribuído)*

*Custo Acumulado =  $\Sigma$  Custo Total Ativo ao Longo dos anos*

---

### **Como implantar no SIGMA EAM**

**Etapa 1:** Assegurar que toda OS no SIGMA EAM seja vinculada a um ativo (tag).

**Etapa 2:** Configurar o sistema para apropriar automaticamente horas, materiais e serviços à OS.

**Etapa 3:** Estruturar relatório de Custo Acumulado por Ativo, com filtro por período (mês, ano, vida útil).

**Etapa 4:** Tabular o Top 20 ativos com maior custo acumulado.

**Etapa 5:** Cruzar com o valor de reposição do ativo (informação contábil) e calcular CMVR.

**Etapa 6:** Levar à reunião de gestão para suportar decisões de CAPEX e fim de vida.

### **KPI de acompanhamento**

Custo de manutenção por ativo (R\$/ano) — meta: monitoramento contínuo e identificação de outliers.

### **Ganho esperado**

*Identifica quando substituir é mais barato que manter. Suporta decisões de CAPEX com dados, evita reformas em ativos terminais.*

## Camada Estratégica (Ações 11 a 20)

Estas dez ações consolidam os ganhos da Camada Crítica e expandem o controle operacional. Executar entre 90 e 180 dias após o início do programa, em paralelo com o aprofundamento da Camada Crítica.

### 11. MTTR (Mean Time To Repair) por tipo de falha

**Categoria:** Camada Estratégica — Confiabilidade **Item original:** #2 **Pontuação GUT:** 80 (G4×U4×T5)

#### Conceito técnico

O MTTR mede o tempo médio necessário para restaurar um ativo após uma falha. Inclui tempo de detecção, diagnóstico, mobilização, reparo, testes e retomada. Reduzir o MTTR aumenta diretamente a disponibilidade, sem necessariamente reduzir o número de falhas. É a porta de entrada para padronização de procedimentos (Lições de Um Ponto — LUP) e treinamento direcionado.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

$$MTTR = \frac{\Sigma (\text{Tempo de reparo das falhas})}{N^{\circ} \text{ de falhas}}$$
$$\text{Disponibilidade} = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$$

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Padronizar no SIGMA EAM o registro dos marcos da OS: detecção, abertura, início do reparo, fim do reparo, retomada.

**Etapa 2:** Calcular MTTR por TIPO de falha (não apenas por ativo) — permite atacar gargalos de procedimento.

**Etapa 3:** Identificar os 10 tipos de falha com maior MTTR.

**Etapa 4:** Desenvolver LUP (Lição de Um Ponto) ou procedimento padrão para cada um.

**Etapa 5:** Treinar a equipe e disponibilizar o documento no SIGMA EAM (anexo do plano).

**Etapa 6:** Monitorar a evolução do MTTR após implantação do procedimento.

#### KPI de acompanhamento

MTTR médio dos top 10 modos de falha — meta: redução de 20% em 12 meses.

#### Ganho esperado

*Aumento direto de disponibilidade sem reduzir o número de falhas. Tipicamente +2 a +5 pontos percentuais de OEE.*

### 12. Disponibilidade histórica por ativo

**Categoria:** Camada Estratégica — Confiabilidade **Item original:** #3 **Pontuação GUT:** 80 (G4×U4×T5)

#### Conceito técnico

A Disponibilidade é a métrica que cruza MTBF e MTTR, expressando o percentual do tempo em que o ativo esteve apto a operar. É um dos três pilares do OEE (Overall Equipment Effectiveness), ao lado de Performance e Qualidade. Plantas de classe mundial operam com Disponibilidade > 90% em ativos críticos.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Disponibilidade} = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} \times 100$$

*Ou: Disponibilidade = (Tempo Operacional ÷ Tempo Planejado) × 100*

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Definir o Tempo Planejado de operação por ativo (turnos × dias × horas).

**Etapa 2:** Configurar o SIGMA EAM para acumular o tempo de parada (planejada e não planejada) por OS.

**Etapa 3:** Calcular a Disponibilidade mensal por ativo classe A.

**Etapa 4:** Construir ranking de ativos com pior Disponibilidade.

**Etapa 5:** Priorizar projetos de melhoria nos 10 ativos com pior indicador.

**Etapa 6:** Apresentar mensalmente à Operação para alinhamento de prioridades.

#### **KPI de acompanhamento**

Disponibilidade média de ativos críticos — meta: > 90%.

#### **Ganho esperado**

*Aumento do OEE e da produtividade horária da planta. Suporta a decisão de capacidade vs. confiabilidade.*

## **13. Índice de retrabalho de manutenção**

---

**Categoria:** Camada Estratégica — Qualidade da Execução **Item original:** #10 **Pontuação GUT:** 80 (G4×U5×T4)

#### **Conceito técnico**

Mede o percentual de OS reabertas em curto prazo (tipicamente 30 dias) após o fechamento, indicando falha no diagnóstico, na execução ou na qualidade da peça aplicada. Cada retrabalho consome o dobro de horas, o dobro de materiais e o dobro de paradas. Padrão de classe mundial: < 3%. Acima de 10% indica falha sistêmica no processo de execução.

#### **Fórmula / Modelo de cálculo**

$$\text{Índice de Retrabalho} = (\text{N}^\circ \text{ de OS reabertas em até 30 dias} \div \text{Total OS fechadas no período}) \times 100$$

#### **Como implantar no SIGMA EAM**

**Etapa 1:** Configurar no SIGMA EAM a rotina de detecção: nova OS no mesmo ativo + mesmo modo de falha em até 30 dias = retrabalho.

**Etapa 2:** Apurar o índice mensalmente, por equipe e por executante.

**Etapa 3:** Investigar as causas: diagnóstico incorreto? peça de baixa qualidade? procedimento incompleto? falta de treinamento?

**Etapa 4:** Implementar plano de ação por causa raiz (treinamento, troca de fornecedor, revisão de procedimento).

**Etapa 5:** Vincular ao processo de avaliação de desempenho dos técnicos.

#### **KPI de acompanhamento**

Índice de Retrabalho (%) — meta: < 3% em 18 meses.

#### **Ganho esperado**

*Elimina horas duplicadas e consumo duplicado de materiais. Redução típica de 5% a 10% no custo total de manutenção.*

## **14. Backlog vs. capacidade de execução por especialidade**

---

**Categoria:** Camada Estratégica — Mão de Obra **Item original:** #12 **Pontuação GUT:** 80 (G4×U4×T5)

#### **Conceito técnico**

Backlog é o volume de trabalho pendente, expresso em horas-homem, separado por especialidade (mecânica, elétrica, instrumentação, etc.). Capacidade é a disponibilidade líquida da equipe no mesmo período. A relação Backlog/Capacidade indica saúde do PCM: ideal entre 2 e 4 semanas. Abaixo de 2 = equipe ociosa ou sub-planejada. Acima de 6 = sobrecarga, atrasos, equipe estressada.

#### **Fórmula / Modelo de cálculo**

---

$$\text{Backlog (semanas)} = \text{Horas pendentes em OS} \div \text{Capacidade Líquida semanal (h)}$$
$$\text{Capacidade Líquida} = \text{N}^\circ \text{ técnicos} \times \text{H/semana} \times \text{Fator de Utilização (geralmente 0,55 a 0,65)}$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

- Etapa 1:** Configurar dashboard no SIGMA EAM separando horas pendentes por especialidade.
- Etapa 2:** Calcular a capacidade líquida da equipe por especialidade (descontar férias, treinamento, ausências).
- Etapa 3:** Apurar o Backlog semanalmente.
- Etapa 4:** Estabelecer faixas de alerta: verde (2-4 sem), amarelo (4-6 sem), vermelho (>6 sem).
- Etapa 5:** Usar como base para decisão de contratação, terceirização sazonal ou redistribuição de equipes.
- Etapa 6:** Apresentar em reunião de PCM toda semana.

### KPI de acompanhamento

Backlog por especialidade (semanas) — meta: 2 a 4 semanas.

### Ganho esperado

*Evita contratações desnecessárias ou sobrecargas geradoras de erros. Dimensiona a equipe pela demanda real.*

## 15. Curva ABC de consumo de materiais

---

**Categoria:** Camada Estratégica — **Estoque** **Item original:** #21 **Pontuação GUT:** 80 (G5×U4×T4)

### Conceito técnico

Classificação dos itens de estoque por valor de consumo anual. Tipicamente, 15% a 20% dos itens (classe A) representam 70% a 80% do valor; 30% (classe B) representam 15% a 20%; e 50% a 55% (classe C) representam apenas 5% a 10%. A política de gestão deve ser proporcional: classe A → controle rigoroso, contagem cíclica frequente, negociação direta; classe C → política simplificada, estoque de segurança maior, contagem anual.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Valor de Consumo (item)} = \text{Quantidade Consumida} \times \text{Preço Unitário}$$
$$\% \text{ Acumulado} = \Sigma \text{ Valor de Consumo Ordenado} \div \text{Valor Total} \times 100$$
$$\text{Classe A: } 0\text{-}80\% \text{ acumulado} \mid \text{B: } 80\text{-}95\% \mid \text{C: } 95\text{-}100\%$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

- Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM o consumo dos últimos 12 meses por item (quantidade × preço).
- Etapa 2:** Ordenar decrescente e calcular percentual acumulado.
- Etapa 3:** Classificar em A, B e C.
- Etapa 4:** Definir políticas: contagem cíclica mensal (A), trimestral (B), anual (C).
- Etapa 5:** Concentrar negociação de compras nos itens A (maior potencial de economia).
- Etapa 6:** Revisar a curva semestralmente.

### KPI de acompanhamento

% de erro de inventário em itens classe A — meta: < 1%.

### Ganho esperado

*Reduz capital imobilizado sem comprometer disponibilidade. Foco onde está o dinheiro.*

## 16. Detecção de consumo anormal de itens

---

**Categoria:** Camada Estratégica — Estoque **Item original:** #26 **Pontuação GUT:** 80 (G4×U5×T4)

### Conceito técnico

Saídas atípicas de materiais — acima da média histórica — podem indicar desvio (furto), desperdício (mau uso, perda), falha sistêmica em algum equipamento (alto consumo de peça por modo de falha não diagnosticado) ou erro de apontamento. A análise estatística (limite de 2 ou 3 desvios-padrão) sinaliza outliers para investigação.

### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Limite Superior} = \text{Média Mensal} + 2 \times \text{Desvio-padrão}$$

$$\text{Anomalia} = \text{consumo do mês} > \text{Limite Superior}$$

*Investigar a causa: desvio, desperdício, falha, erro de cadastro*

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Configurar no SIGMA EAM o cálculo automático de média e desvio-padrão de consumo dos últimos 12 meses por item.

**Etapa 2:** Disparar alerta automático sempre que o consumo mensal exceder o limite superior.

**Etapa 3:** Designar responsável (almojarife sênior ou planejador) para investigar cada anomalia.

**Etapa 4:** Documentar a causa identificada e o plano de ação (controle físico, troca de fornecedor, RCA de equipamento).

**Etapa 5:** Acompanhar mensalmente a curva de anomalias detectadas e resolvidas.

### KPI de acompanhamento

Nº de anomalias de consumo detectadas e investigadas por mês.

### Ganho esperado

*Elimina perdas invisíveis que comprometem o orçamento. Detecta desvios, desperdícios e falhas sistêmicas não diagnosticadas.*

## 17. Lead time real de fornecedores

**Categoria:** Camada Estratégica — Estoque **Item original:** #28 **Pontuação GUT:** 80 (G4×U4×T5)

### Conceito técnico

Diferença entre o prazo prometido pelo fornecedor e o prazo efetivamente cumprido. O ponto de pedido (PP) calculado com base no prazo prometido (e não no real) gera rupturas sistêmicas. A análise histórica do SIGMA EAM permite identificar fornecedores não confiáveis e recalibrar os parâmetros de estoque com dados reais.

### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Lead Time Real} = \text{Data Recebimento} - \text{Data do Pedido}$$

$$\text{Lead Time Médio} = \Sigma \text{Lead Time Real} \div \text{Nº de Pedidos}$$

$$\text{Confiabilidade do Fornecedor} = (\text{Pedidos no Prazo} \div \text{Total Pedidos}) \times 100$$

$$\text{Ponto de Pedido} = (\text{Demanda Diária} \times \text{Lead Time Real Médio}) + \text{Estoque de Segurança}$$

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Configurar registro automático no SIGMA EAM de data do pedido vs. data do recebimento por fornecedor.

**Etapa 2:** Apurar mensalmente o lead time real médio e a confiabilidade (% pedidos no prazo) por fornecedor.

**Etapa 3:** Recalcular o ponto de pedido de cada item usando o lead time REAL.

**Etapa 4:** Negociar penalidades contratuais ou troca de fornecedor para os com confiabilidade < 80%.

**Etapa 5:** Manter ranking de fornecedores e fornecer feedback periódico.

#### KPI de acompanhamento

% de rupturas atribuídas a atraso de fornecedor — meta: < 5%.

#### Ganho esperado

*Evita rupturas por confiança excessiva no prazo prometido. Suporta decisão de troca de fornecedor com dados objetivos.*

## 18. Ajuste da periodicidade de planos preventivos com base em MTBF real

---

**Categoria:** Camada Estratégica — Manutenção Planejada **Item original:** #31 **Pontuação GUT:** 80 (G4×U4×T5)

#### Conceito técnico

Muitos planos preventivos são criados com periodicidade do manual do fabricante (genérica) ou por estimativa. Após 12+ meses de histórico no SIGMA EAM, é possível ajustar a frequência com base no MTBF real do ativo no contexto operacional específico. Preventivas com frequência menor que necessária → falhas. Maior que necessária → desperdício de horas e materiais.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Frequência Ótima  $\approx 0,7 \times \text{MTBF real}$  (regra prática)  
Ou usar análise de Weibull (item #37) para precisão estatística*

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Listar todos os planos preventivos vigentes no SIGMA EAM com sua periodicidade atual.

**Etapa 2:** Para cada plano, calcular o MTBF real do modo de falha que ele previne.

**Etapa 3:** Recalcular a periodicidade ótima usando regra de  $0,7 \times \text{MTBF}$  (ou Weibull para itens críticos).

**Etapa 4:** Para planos onde  $\text{MTBF} \gg \text{Periodicidade}$ : AUMENTAR a frequência (ou eliminar preventiva — usar até a falha aceitável para itens não críticos).

**Etapa 5:** Para planos onde  $\text{MTBF} < \text{Periodicidade}$ : REDUZIR a frequência (preventiva mais cedo).

**Etapa 6:** Documentar a justificativa de cada ajuste e revisar anualmente.

#### KPI de acompanhamento

% de planos ajustados com base em dados (vs. fabricante).

#### Ganho esperado

*Reduz preventivas excessivas (desperdício de horas e materiais) ou insuficientes (falhas residuais).*

## 19. Eficácia dos planos preventivos

---

**Categoria:** Camada Estratégica — Manutenção Planejada **Item original:** #35 **Pontuação GUT:** 80 (G4×U4×T5)

#### Conceito técnico

Mede se um plano preventivo está, de fato, reduzindo falhas. Compara o número de corretivas em ativos COM plano vs. ativos similares SEM plano (ou antes vs. depois da implantação). Planos cujo MTBF do ativo não melhorou após implantação são planos ineficazes — consomem horas sem gerar retorno. A literatura técnica aponta que 25% a 40% dos planos preventivos em plantas imaturas são ineficazes.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Eficácia do Plano =  $(\text{MTBF Após Plano} - \text{MTBF Antes do Plano}) \div \text{MTBF Antes} \times 100$   
Plano Eficaz = Eficácia > 30%  
Plano Inútil = Eficácia  $\leq 0$  (sem melhoria ou piora)*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Listar todos os planos preventivos com  $\geq 12$  meses de execução.

**Etapa 2:** Calcular MTBF antes do plano (período pré) e MTBF após (período pós).

**Etapa 3:** Classificar: Eficaz ( $>30\%$  melhoria), Marginal (0–30%), Ineficaz ( $\leq 0$ ).

**Etapa 4:** Para planos Ineficazes: revisar conteúdo (tarefa correta?), suspender ou substituir por preditiva.

**Etapa 5:** Para planos Marginais: ajustar periodicidade ou escopo.

**Etapa 6:** Reavaliar anualmente.

### KPI de acompanhamento

% de planos preventivos classificados como Eficazes — meta:  $> 70\%$ .

### Ganho esperado

*Elimina planos que consomem horas sem reduzir falhas. Realoca capacidade da equipe para o que efetivamente importa.*

## 20. Análise de horas extras por equipe

---

**Categoria:** Camada Estratégica — Mão de Obra **Item original:** #15 **Pontuação GUT:** 80 (G4×U4×T5)

### Conceito técnico

Horas extras sistemáticas (acima de 10% das horas regulares) indicam subdimensionamento da equipe, má distribuição de tarefas ou excesso de corretivas. Além do custo direto (50% a 100% acima da hora normal), geram fadiga, aumento de erros e absenteísmo. A análise histórica revela padrões: dias da semana, turnos, especialidades, equipes — apontando a causa raiz.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\% \text{ Horas Extras} = (H \text{ Extras} \div H \text{ Regulares}) \times 100$$

$$\text{Custo Adicional Anual} = H \text{ Extras} \times R\$/h \times \text{Adicional (50\% a 100\%)}$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Configurar relatório no SIGMA EAM (ou cruzar com folha) que apure horas extras por equipe, turno, especialidade e dia.

**Etapa 2:** Identificar padrões: HE concentradas em corretivas? Em finais de semana? Em uma equipe específica?

**Etapa 3:** Investigar a causa raiz por padrão identificado.

**Etapa 4:** Implementar planos de ação: redistribuição de equipe, ampliação de quadro, melhoria de planejamento, redução de corretivas (atacar mix de manutenção — ação #1).

**Etapa 5:** Acompanhar a evolução do indicador mensalmente.

### KPI de acompanhamento

% de Horas Extras sobre horas regulares — meta:  $< 10\%$ .

### Ganho esperado

*Redução do custo de adicional noturno/HE e da fadiga operacional. Aumenta segurança operacional.*

## Camada Tática (Ações 21 a 35)

Estas quinze ações refinam processos já estabelecidos, aprofundando a maturidade analítica. Executar entre 6 e 12 meses após o início do programa.

### 21. Variação orçamentária: planejado vs. realizado

**Categoria:** Camada Tática — Financeiro **Item original:** #43 **Pontuação GUT:** 64 (G4×U4×T4)

#### Conceito técnico

Compara o orçamento de manutenção planejado vs. o efetivamente gasto, identificando desvios estruturais (não pontuais). Permite construir orçamentos cada vez mais precisos e detectar áreas onde o planejamento é sistematicamente otimista ou pessimista. Plantas bem geridas operam com variação < 12%; plantas reativas chegam a > 50%.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Variação (\%)} = (\text{Realizado} - \text{Planejado}) \div \text{Planejado} \times 100$$

*Variação saudável: ±12% conforme benchmark CMMS*

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Estruturar o orçamento de manutenção no SIGMA EAM por centro de custo, categoria (MO, materiais, serviços) e mês.

**Etapa 2:** Apurar mensalmente o realizado vs. planejado.

**Etapa 3:** Identificar desvios > 15% e investigar a causa (escopo não previsto, falha catastrófica, erro de planejamento).

**Etapa 4:** Documentar lições aprendidas para o orçamento do ano seguinte.

**Etapa 5:** Apresentar trimestralmente à Controladoria.

#### KPI de acompanhamento

Variação orçamentária anual (%) — meta: < 12%.

#### Ganho esperado

*Reduz surpresas financeiras e contingenciamentos emergenciais. Aumenta a credibilidade do PCM junto à Controladoria.*

### 22. Tempo médio padrão por tipo de serviço

**Categoria:** Camada Tática — Mão de Obra **Item original:** #11 **Pontuação GUT:** 60 (G4×U3×T5)

#### Conceito técnico

Cria padrões internos de duração para cada tipo de tarefa de manutenção (ex.: troca de rolamento de motor 50cv = 4h; lubrificação de redutor = 0,5h). Esses padrões alimentam o planejamento, a estimativa de backlog e a identificação de desvios individuais. Sem padrão, não há gestão objetiva de produtividade.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Tempo Padrão} = \text{Mediana (ou média truncada) das execuções históricas}$$
$$\text{Desvio Individual} = (\text{Tempo do Técnico} - \text{Padrão}) \div \text{Padrão} \times 100$$

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM o tempo executado de cada tipo de tarefa nos últimos 12 meses.

**Etapa 2:** Calcular a mediana (mais robusta que média) para definir o tempo padrão.

**Etapa 3:** Cadastrar o tempo padrão no plano da tarefa.

**Etapa 4:** Comparar o tempo real de cada execução vs. padrão.

**Etapa 5:** Investigar desvios sistemáticos (> +30% ou < -30%) — pode indicar treinamento, complexidade extra ou apontamento incorreto.

**Etapa 6:** Revisar padrões a cada 12 meses.

#### **KPI de acompanhamento**

% de OS executadas dentro de  $\pm 20\%$  do tempo padrão — meta: > 75%.

#### **Ganho esperado**

*Identifica desvios individuais e dimensiona o quadro com precisão. Base para gestão objetiva de produtividade.*

## **23. Desempenho individual de técnicos**

---

**Categoria:** Camada Tática — Mão de Obra **Item original:** #16 **Pontuação GUT:** 60 (G3×U4×T5)

#### **Conceito técnico**

Avaliação objetiva por colaborador, combinando tempo médio de execução, índice de retrabalho, cumprimento de programação e quantidade de OS concluídas. A análise deve ser usada para desenvolvimento (treinamento, mentoria) e reconhecimento — nunca para perseguição. Plantas que adotam meritocracia objetiva reportam aumento de engajamento e queda de turnover.

#### **Fórmula / Modelo de cálculo**

$$\text{Índice Composto} = (1 - \text{Retrabalho}\%) \times (\text{Cumprimento}\%) \times (\text{Aderência ao Tempo Padrão}\%)$$

*Faixas: > 0,85 (alto desempenho), 0,70-0,85 (regular), < 0,70 (necessita desenvolvimento)*

---

#### **Como implantar no SIGMA EAM**

**Etapa 1:** Garantir que toda OS no SIGMA EAM seja apontada com o responsável pela execução.

**Etapa 2:** Configurar dashboard mensal por técnico com: nº OS, tempo médio vs. padrão, índice de retrabalho, cumprimento de prazos.

**Etapa 3:** Realizar feedback individual trimestral baseado nos dados.

**Etapa 4:** Para técnicos com índice < 0,70: plano de desenvolvimento individual (PDI) com mentoria.

**Etapa 5:** Para técnicos com índice > 0,85: programa de reconhecimento (bônus, premiação, plano de carreira).

**Etapa 6:** Comunicar claramente os critérios para evitar percepção de subjetividade.

#### **KPI de acompanhamento**

Distribuição da equipe por faixa de desempenho — meta: > 50% no nível alto.

#### **Ganho esperado**

*Direciona treinamento e reconhecimento de forma justa. Aumenta engajamento e reduz turnover.*

## **24. Tempo de deslocamento entre tarefas (wrench time)**

---

**Categoria:** Camada Tática — Mão de Obra **Item original:** #19 **Pontuação GUT:** 60 (G3×U4×T5)

#### **Conceito técnico**

Wrench Time é o tempo efetivo de chave na mão — quando o técnico está executando trabalho de manutenção. A literatura aponta que, sem CMMS, esse índice fica entre 25% e 35% da jornada. Com

programação otimizada, sobe para 55% a 65%. Os 60-70% restantes são deslocamento, espera, busca por peças, papelada, reuniões. Reorganizar o roteiro diário é o maior ganho de produtividade disponível.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Wrench Time (\%)} = (\text{Horas efetivas de execução} \div \text{Horas trabalhadas totais}) \times 100$$

*Padrão de classe mundial: > 55%*

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Realizar estudo de tempos (Day in the Life — DILO) por amostragem da equipe: cronometrar atividades por categoria (execução, deslocamento, espera, busca, etc.).

**Etapa 2:** Identificar os principais consumidores de tempo improdutivo.

**Etapa 3:** Otimizar a sequência de OS na programação diária — agrupar por área geográfica.

**Etapa 4:** Pré-separar peças e ferramentas no kit da OS antes da execução (staging).

**Etapa 5:** Implementar SIGMA EAM mobile para eliminar idas ao escritório para apontamento.

**Etapa 6:** Repetir o DILO semestralmente para medir a evolução.

#### KPI de acompanhamento

Wrench Time (%) — meta: > 55% em 18 meses.

#### Ganho esperado

*Aumento de 15% a 25% na capacidade produtiva da equipe SEM aumentar o quadro. É o ganho mais barato disponível.*

## 25. Estoque de segurança calculado estatisticamente

**Categoria:** Camada Tática — Estoque **Item original:** #29 **Pontuação GUT:** 60 (G4×U3×T5)

#### Conceito técnico

O estoque de segurança protege contra variabilidade da demanda e do lead time. Em vez de regras empíricas (ex.: '1 mês de consumo'), calcula-se estatisticamente com base no nível de serviço desejado (tipicamente 95% ou 99%), no desvio-padrão da demanda e da variação do lead time.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

$$ES = Z \times \sqrt{(LT \times \sigma D^2 + D^2 \times \sigma LT^2)}$$

Onde:  $Z$  = fator de nível de serviço (1,65 p/ 95%; 2,33 p/ 99%)

$LT$  = lead time médio |  $D$  = demanda diária média

$\sigma D$  = desvio-padrão da demanda |  $\sigma LT$  = desvio-padrão do lead time

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM o histórico de consumo diário por item (últimos 24 meses, se possível).

**Etapa 2:** Calcular média e desvio-padrão da demanda por item.

**Etapa 3:** Levantar lead time real e seu desvio-padrão por fornecedor (item #17).

**Etapa 4:** Definir o nível de serviço desejado por classe (X = 99%, Y = 95%, Z = 90%).

**Etapa 5:** Calcular o ES por item usando a fórmula. Atualizar no SIGMA EAM.

**Etapa 6:** Comparar com o ES antigo: itens com ES novo MENOR liberam capital; itens com ES MAIOR previnem rupturas.

#### KPI de acompanhamento

Capital imobilizado em estoque de segurança vs. nível de serviço alcançado.

#### Ganho esperado

*Reduz estoque imobilizado mantendo (ou melhorando) o nível de serviço. Tipicamente 10% a 20% de redução em estoque MRO.*

## 26. Análise de tendências em medições históricas

---

**Categoria:** Camada Tática — Preditiva **Item original:** #36 **Pontuação GUT:** 60 (G4×U3×T5)

### Conceito técnico

Para ativos com monitoramento de variáveis (vibração, temperatura, corrente, pressão, vazão), a análise de tendência detecta degradação gradual antes da falha catastrófica. O cruzamento com o histórico de OS no SIGMA EAM identifica a 'assinatura' de cada modo de falha — permitindo alerta antecipado.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Tendência} = (\text{Medição Atual} - \text{Medição Baseline}) \div \text{Medição Baseline} \times 100$$
$$\text{Alerta} = \text{quando Tendência} > \text{Limiar definido por modo de falha}$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Identificar ativos críticos com sensores ou inspeção periódica de variáveis.

**Etapa 2:** Cadastrar no SIGMA EAM o histórico das leituras (vibração ISO 10816, temperatura, etc.).

**Etapa 3:** Cruzar leituras com OS de falha posteriores para identificar a 'curva' de degradação.

**Etapa 4:** Definir limites de alerta amarelo e vermelho por modo de falha.

**Etapa 5:** Configurar geração automática de OS preditiva quando o limite for atingido.

**Etapa 6:** Refinar os limites a cada nova falha registrada.

### KPI de acompanhamento

% de falhas precedidas de alerta preditivo — meta: > 70% nos ativos monitorados.

### Ganho esperado

*Permite intervenção planejada em vez de emergencial. Reduz custo de falha em 5 a 10 vezes.*

## 27. RCA (Root Cause Analysis) estruturada

---

**Categoria:** Camada Tática — Confiabilidade **Item original:** #37 **Pontuação GUT:** 60 (G4×U3×T5)

### Conceito técnico

Análise de Causa Raiz é uma metodologia formal de investigação que vai além da causa aparente, buscando a causa fundamental e contribuintes. Ferramentas: 5 Porquês, Diagrama de Ishikawa, Árvore Lógica de Falhas. Aplicada às falhas crônicas (item #3) e catastróficas, elimina recorrência e não apenas o sintoma.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Método: aplicar '5 Porquês' a cada falha do top crônicas, documentando: O Que (sintoma), Onde, Quando, Quem detectou, Como, Por que (5 níveis), Causa Raiz, Ação Definitiva.*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Treinar a equipe de manutenção em RCA (5 Porquês + Ishikawa).

**Etapa 2:** Definir critérios para abertura obrigatória de RCA: falha crônica (3+ ocorrências/12 meses), falha catastrófica, qualquer evento com downtime > X horas.

**Etapa 3:** Configurar no SIGMA EAM um campo de RCA vinculado à OS — registrar causa raiz e ação corretiva.

**Etapa 4:** Realizar reunião quinzenal de RCA com Manutenção, Operação, Engenharia.

**Etapa 5:** Documentar conclusões e acompanhar implantação das ações até o fechamento.

**Etapa 6:** Medir reincidência: se a falha voltar, a RCA falhou — refazer.

#### KPI de acompanhamento

Nº de RCAs realizadas vs. reincidência das falhas analisadas.

#### Ganho esperado

*Elimina o sintoma na origem. Casos típicos: 50% a 80% de redução em falhas crônicas selecionadas.*

## 28. CMVR — Custo de Manutenção sobre Valor de Reposição

---

**Categoria:** Camada Tática — Financeiro **Item original:** #40 **Pontuação GUT:** 60 (G4×U3×T5)

#### Conceito técnico

Indicador estratégico que relaciona o custo anual de manutenção de um ativo com seu valor de reposição (novo). Padrão de classe mundial: 2% a 5% a.a. Acima de 6% acende alerta amarelo. Acima de 15% indica que o ativo está em fase terminal — manter custa mais que substituir. É a métrica central para decisão de CAPEX.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

$$CMVR = (\text{Custo Anual de Manutenção do Ativo} \div \text{Valor de Reposição Novo}) \times 100$$

*Classe Mundial: 2-5% | Alerta: > 6% | Crítico: > 15%*

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Obter da Controladoria o valor de reposição atualizado dos ativos classe A.

**Etapa 2:** Calcular o CMVR de cada ativo usando o custo anual do SIGMA EAM (item #10).

**Etapa 3:** Construir ranking decrescente.

**Etapa 4:** Para ativos com CMVR > 6%: revisar plano de manutenção, abrir RCA das principais falhas.

**Etapa 5:** Para ativos com CMVR > 15%: incluir no plano de CAPEX para substituição.

**Etapa 6:** Atualizar anualmente.

#### KPI de acompanhamento

% de ativos classe A com CMVR < 6% — meta: > 80%.

#### Ganho esperado

*Aciona a decisão de CAPEX no momento técnico-econômico correto. Evita reformas em ativos terminais.*

## 29. Apropriação de custo por centro de custo e área

---

**Categoria:** Camada Tática — Financeiro **Item original:** #42 **Pontuação GUT:** 60 (G3×U4×T5)

#### Conceito técnico

Distribui o custo total de manutenção pelas unidades produtivas (centros de custo, linhas, áreas). Responsabiliza gestores operacionais pelo impacto da manutenção em sua área e direciona investimentos. Sem essa visão, a Manutenção é uma 'caixa-preta' financeira para a Operação.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Custo do CC} = \sum \text{Custos de OS atribuídas aos ativos do Centro de Custo}$$

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Estruturar o cadastro de ativos no SIGMA EAM com vinculação a Centro de Custo.

**Etapa 2:** Configurar relatório de custo por CC, com detalhamento por tipo (corretiva, preventiva, materiais).

**Etapa 3:** Apresentar mensalmente o relatório aos gestores de área.

**Etapa 4:** Vincular metas de redução de custo de manutenção aos gestores de operação.

**Etapa 5:** Trabalhar em parceria (Manutenção + Operação) para identificar oportunidades.

**KPI de acompanhamento**

Custo de manutenção por unidade de produção por CC.

**Ganho esperado**

*Responsabiliza gestores e direciona melhorias por área crítica. Quebra o silo Manutenção x Operação.*

### 30. FMEA alimentado com histórico real

---

**Categoria:** Camada Tática — Confiabilidade **Item original:** #7 **Pontuação GUT:** 48 (G4xU3xT4)

**Conceito técnico**

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) é uma análise prospectiva de modos de falha. Tradicionalmente é feita com base em opinião de especialistas (subjetiva). Após 12+ meses de SIGMA EAM, é possível alimentar os índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D) com dados reais, gerando o NPR (Número de Prioridade de Risco) baseado em evidências, não em estimativas.

**Fórmula / Modelo de cálculo**

---

$$NPR = S \times O \times D$$

*S, O, D em escala 1-10*

*Ações prioritárias: NPR > 100 ou S = 10*

---

**Como implantar no SIGMA EAM**

**Etapa 1:** Para cada ativo classe A, reunir Manutenção, Operação e Engenharia.

**Etapa 2:** Listar os modos de falha conhecidos (do histórico do SIGMA EAM).

**Etapa 3:** Atribuir Severidade com base nos efeitos reais documentados (downtime, segurança, qualidade).

**Etapa 4:** Atribuir Ocorrência com base na frequência REAL no histórico (não em opinião).

**Etapa 5:** Atribuir Detecção com base na eficácia dos meios atuais (preditiva, inspeção, alarmes).

**Etapa 6:** Priorizar e implementar ações nos modos com NPR > 100.

**Etapa 7:** Revisar o FMEA anualmente, atualizando com novos dados do SIGMA EAM.

**KPI de acompanhamento**

% de modos de falha com NPR > 100 atacados por planos de ação.

**Ganho esperado**

*Reduz falhas de alto impacto via ação preventiva direcionada e baseada em dados, não em opiniões.*

### 31. Matriz de competências baseada em histórico de execução

---

**Categoria:** Camada Tática — Mão de Obra **Item original:** #17 **Pontuação GUT:** 48 (G3xU4xT4)

**Conceito técnico**

Mapeia quais técnicos executam, com que eficiência (tempo, qualidade, retrabalho), cada tipo de tarefa. Permite alocação inteligente (o melhor técnico para a tarefa certa) e identifica risco de dependência (apenas 1 pessoa sabe fazer X). Base para plano de sucessão e cross-training.

**Fórmula / Modelo de cálculo**

---

$$Pontuação\ Técnico \times\ Tarefa = (1 - Retrabalho\%) \times (Aderência\ ao\ Tempo\ Padrão) \times Volume\ Executado\ (normalizado)$$

---

**Como implantar no SIGMA EAM**

**Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM, por técnico e por tipo de tarefa: nº OS executadas, tempo médio, retrabalho.

**Etapa 2:** Construir matriz Técnico × Tarefa com pontuação por célula.

**Etapa 3:** Identificar 'tarefas órfãs' (1 ou 2 técnicos dominam) — risco de dependência.

**Etapa 4:** Estruturar cross-training para reduzir riscos.

**Etapa 5:** Usar a matriz para alocar OS automaticamente no SIGMA EAM (técnico de maior pontuação disponível).

**Etapa 6:** Reavaliar semestralmente.

#### **KPI de acompanhamento**

% de tarefas com pelo menos 3 técnicos qualificados — meta: > 80%.

#### **Ganho esperado**

*Reduz tempo de execução, retrabalho e dependência de profissionais-chave. Aumenta flexibilidade da equipe.*

## **32. Giro de estoque por categoria**

---

**Categoria:** Camada Tática — Estoque **Item original:** #24 **Pontuação GUT:** 48 (G4×U3×T4)

#### **Conceito técnico**

Mede quantas vezes o estoque rotaciona em um ano. Quanto maior o giro, melhor a eficiência do capital. Categorias com baixo giro (< 1 vez/ano) sinalizam superestoque, demanda errática ou itens obsoletos. Benchmark MRO: giro entre 2 e 4 é considerado saudável; > 6 é classe mundial.

#### **Fórmula / Modelo de cálculo**

---

$$\begin{aligned} \text{Giro de Estoque} &= \text{Custo Anual de Saídas} \div \text{Valor Médio do Estoque} \\ \text{Dias de Cobertura} &= 365 \div \text{Giro} \end{aligned}$$

---

#### **Como implantar no SIGMA EAM**

**Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM o consumo anual e o estoque médio por categoria.

**Etapa 2:** Calcular o giro por categoria (lubrificantes, rolamentos, vedações, elétrica, etc.).

**Etapa 3:** Identificar categorias com giro < 1 — investigar (superestoque, mudança de processo, obsolescência).

**Etapa 4:** Definir meta de giro por categoria conforme criticidade.

**Etapa 5:** Implementar ações: redução de estoque máximo, devolução a fornecedor, redistribuição entre unidades.

**Etapa 6:** Acompanhar trimestralmente.

#### **KPI de acompanhamento**

Giro médio do estoque MRO — meta: ≥ 3 em 24 meses.

#### **Ganho esperado**

*Reduz custo de armazenagem e risco de obsolescência. Libera capital de giro.*

## **33. Padronização e racionalização de SKUs**

---

**Categoria:** Camada Tática — Estoque **Item original:** #27 **Pontuação GUT:** 48 (G4×U3×T4)

#### **Conceito técnico**

Empresas com cadastros antigos costumam ter peças similares cadastradas com códigos diferentes (ex.: rolamento 6205-2RS cadastrado 4 vezes com nomes diferentes). A padronização unifica códigos, reduz complexidade, capital imobilizado, erros de requisição e simplifica a negociação com fornecedores.

## Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Índice de Duplicidade} = (\text{Nº de SKUs duplicados identificados} \div \text{Total SKUs}) \times 100$$

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Realizar mutirão de auditoria do cadastro de materiais no SIGMA EAM (cruzar nome, fabricante, especificação técnica).

**Etapa 2:** Identificar duplicidades e definir o código 'sobrevivente' por família.

**Etapa 3:** Migrar estoque dos códigos extintos para o sobrevivente.

**Etapa 4:** Bloquear o cadastro de novos itens sem aprovação técnica (workflow).

**Etapa 5:** Padronizar o procedimento de cadastro futuro (template obrigatório).

**Etapa 6:** Revisar anualmente.

### KPI de acompanhamento

Redução percentual do nº total de SKUs ativos.

### Ganho esperado

*Reduz complexidade, capital imobilizado, erros de requisição. Aumenta poder de barganha em compras.*

## 34. Identificação de candidatos a manutenção preditiva

**Categoria:** Camada Tática — Preditiva **Item original:** #34 **Pontuação GUT:** 48 (G4×U3×T4)

### Conceito técnico

Nem todo ativo justifica investimento em preditiva (sensores, software, mão de obra especializada). A literatura aponta que a preditiva compensa em ativos com: alto custo de falha (catastrófica), boa previsibilidade de degradação (curva conhecida), MTBF intermediário (não muito baixo nem muito alto). A análise histórica do SIGMA EAM identifica esses candidatos com objetividade.

## Fórmula / Modelo de cálculo

$$\text{Score de Candidato a Preditiva} = (\text{Custo Médio de Falha}) \times (\text{Frequência Anual de Falha}) \times (\text{Probabilidade de Detecção Antecipada por Técnica Disponível})$$

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Listar ativos classe A com falhas catastróficas recorrentes nos últimos 24 meses.

**Etapa 2:** Para cada um, avaliar a técnica preditiva aplicável: vibração (rotativos), termografia (elétricos), ultrassom (vazamentos/lubrificação), análise de óleo, ferrografia.

**Etapa 3:** Calcular o Custo Anual de Falha vs. o Custo Anual da Preditiva (sensores + análises + mão de obra).

**Etapa 4:** Selecionar candidatos com payback < 18 meses.

**Etapa 5:** Implementar piloto em 5 a 10 ativos, medir resultados.

**Etapa 6:** Escalar para outros ativos similares conforme retorno.

### KPI de acompanhamento

Payback do programa preditivo — meta: < 18 meses.

### Ganho esperado

*Evita quebras catastróficas que custam 10x mais que o monitoramento. Caso comum: ROI de 300% a 500%.*

## 35. Custo unitário por tipo de manutenção

**Categoria:** Camada Tática — Financeiro **Item original:** #45 **Pontuação GUT:** 48 (G4×U3×T4)

### **Conceito técnico**

Compara o custo médio de uma OS corretiva emergencial vs. corretiva planejada vs. preventiva vs. preditiva. Os dados consolidados de Deloitte e McKinsey apontam: corretiva emergencial custa 3 a 5x a planejada. A comparação interna, com dados reais do SIGMA EAM, comprova a viabilidade econômica da migração para manutenção planejada.

### **Fórmula / Modelo de cálculo**

---

$$\text{Custo Médio por Tipo} = \text{Custo Total do Tipo} \div \text{Nº de OS do Tipo}$$
$$\text{Razão} = \text{Custo Corretiva Emergencial} \div \text{Custo Preventiva (deveria ser 3-5x)}$$

---

### **Como implantar no SIGMA EAM**

**Etapa 1:** Garantir que toda OS no SIGMA EAM esteja classificada por TIPO (ação #1).

**Etapa 2:** Calcular o custo médio de OS por tipo no período de 12 meses.

**Etapa 3:** Construir gráfico comparativo: barras com custo médio por tipo.

**Etapa 4:** Apresentar à diretoria para reforçar o business case da migração para planejamento.

**Etapa 5:** Acompanhar a evolução da razão Corretiva/Preventiva ao longo do tempo.

### **KPI de acompanhamento**

Razão Custo Corretiva Emergencial / Custo Preventiva — meta: documentar e usar como business case.

### **Ganho esperado**

*Comprova com dados internos a viabilidade econômica da migração para manutenção planejada. Material poderoso para justificar investimentos.*

## Camada de Maturidade (Ações 36 a 50)

Estas quinze ações pertencem ao estágio de maturidade avançada da gestão. Aplicar entre 12 e 24 meses após o início do programa, quando os ganhos das camadas anteriores já estiverem consolidados.

### 36. MTTF (Mean Time To Failure) de componentes consumíveis

---

**Categoria:** Maturidade — Confiabilidade **Item original:** #4 **Pontuação GUT:** 45 (G3×U3×T5)

#### Conceito técnico

Aplica-se a componentes não reparáveis (correias, vedações, filtros, lâmpadas, rolamentos descartáveis). Diferentemente do MTBF (entre falhas), o MTTF é o tempo até a primeira falha, pois o componente é descartado. Permite dimensionar corretamente o intervalo de troca preventiva.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$MTTF = \Sigma (\text{Tempo até a falha}) \div N^{\circ} \text{ de componentes observados}$$

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Identificar os componentes consumíveis críticos.

**Etapa 2:** No SIGMA EAM, registrar data de instalação e data de troca (ou falha) de cada componente.

**Etapa 3:** Calcular MTTF por componente e por aplicação (mesmo componente em ativos diferentes pode ter MTTF diferente).

**Etapa 4:** Ajustar a periodicidade do plano preventivo para  $0,7 \times \text{MTTF}$  (regra prática) ou conforme Weibull (item #37).

**Etapa 5:** Acompanhar a evolução do MTTF após mudanças de fabricante ou especificação.

#### KPI de acompanhamento

MTTF dos componentes críticos — usado para parametrizar planos preventivos.

#### Ganho esperado

*Substituição no momento técnico correto — nem antes (desperdício) nem depois (quebra). Otimização do consumo.*

### 37. Análise de Weibull para previsão de falhas

---

**Categoria:** Maturidade — Confiabilidade **Item original:** #8 **Pontuação GUT:** 45 (G3×U3×T5)

#### Conceito técnico

A distribuição de Weibull é a ferramenta estatística mais usada em engenharia de confiabilidade. Caracteriza o padrão de falha do ativo via dois parâmetros:  $\beta$  (forma) — indica se a falha é precoce ( $\beta < 1$ ), aleatória ( $\beta = 1$ ) ou por desgaste ( $\beta > 1$ ) — e  $\eta$  (escala) — vida característica. Permite calcular probabilidade de falha em qualquer instante e definir a periodicidade ótima de preventiva.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$F(t) = 1 - \exp(-(t/\eta)^\beta)$$

Onde:  $F(t)$  = probabilidade acumulada de falha até o tempo  $t$   
 $\beta < 1$ : mortalidade infantil (defeitos de fabricação/montagem)  
 $\beta = 1$ : falha aleatória (Poisson)  
 $\beta > 1$ : desgaste (envelhecimento)

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM os tempos até a falha dos componentes selecionados (mínimo de 8–10 observações para estatística válida).

**Etapa 2:** Usar software estatístico (R, Minitab, Excel com solver) para ajustar a Weibull e estimar  $\beta$  e  $\eta$ .

**Etapa 3:** Interpretar  $\beta$ : se  $> 1$ , a preventiva por tempo faz sentido; se  $\approx 1$ , considerar manutenção por condição; se  $< 1$ , investigar causas de mortalidade infantil.

**Etapa 4:** Definir o intervalo ótimo de troca usando vida B10 (tempo no qual 10% das peças falharão).

**Etapa 5:** Documentar a análise no SIGMA EAM como anexo do plano preventivo.

**Etapa 6:** Reavaliar a cada novo conjunto de dados.

#### **KPI de acompanhamento**

% de planos preventivos críticos com periodicidade definida por Weibull.

#### **Ganho esperado**

*Define a janela ótima de troca com base estatística sólida. Reduz intervenções desnecessárias e falhas residuais.*

## **38. Identificação de lacunas de treinamento**

---

**Categoria:** Maturidade — Mão de Obra **Item original:** #18 **Pontuação GUT:** 45 (G3×U3×T5)

#### **Conceito técnico**

Tarefas com alta dispersão de tempo de execução entre técnicos sinalizam lacuna de capacitação — alguns dominam, outros não. A análise estatística da variância (CV — coeficiente de variação) identifica objetivamente onde investir em treinamento.

#### **Fórmula / Modelo de cálculo**

---

$$CV = \text{Desvio-padrão} \div \text{Média} \times 100$$

*CV > 30% indica alta dispersão – provável lacuna de capacitação*

---

#### **Como implantar no SIGMA EAM**

**Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM, por tipo de tarefa, o tempo executado por cada técnico.

**Etapa 2:** Calcular Média, Desvio-padrão e CV por tipo de tarefa.

**Etapa 3:** Tarefas com CV > 30% entram no plano de treinamento.

**Etapa 4:** Definir treinamento prático (técnico bom ensina os demais) ou formal (curso externo).

**Etapa 5:** Reavaliar CV após 6 meses — espera-se redução.

#### **KPI de acompanhamento**

% de tarefas críticas com CV < 20%.

#### **Ganho esperado**

*Reduz dependência de profissionais-chave e aumenta a flexibilidade da equipe.*

## **39. TCO (Total Cost of Ownership) por item**

---

**Categoria:** Maturidade — Estoque **Item original:** #30 **Pontuação GUT:** 45 (G3×U3×T5)

#### **Conceito técnico**

TCO consolida todos os custos associados a manter um item em estoque, não apenas o preço de aquisição: custo de armazenagem, obsolescência, ruptura (perda por falta) e capital (oportunidade do dinheiro parado). Itens onde o TCO supera o benefício de manter estoque devem ser revistos (compra sob demanda, consignação, contrato com fornecedor).

## Fórmula / Modelo de cálculo

---

$TCO = \text{Custo de Aquisição} + \text{Custo de Armazenagem (anual)} + \text{Custo de Obsolescência} + \text{Custo de Ruptura} + \text{Custo de Capital}$

$\text{Custo de Capital} = \text{Estoque Médio} \times \text{Taxa de Capital (12-18\% a.a.)}$

$\text{Custo de Armazenagem} = \text{Estoque Médio} \times \text{Taxa de Carregamento (8-12\% a.a.)}$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Definir as taxas internas: capital, armazenagem, obsolescência (com Controladoria).

**Etapa 2:** Calcular o TCO dos itens classe A no SIGMA EAM.

**Etapa 3:** Identificar itens onde o TCO supera benefício de estoque interno.

**Etapa 4:** Negociar com fornecedores: consignação, contrato com SLA de entrega, compra programada.

**Etapa 5:** Acompanhar trimestralmente o TCO médio por categoria.

### KPI de acompanhamento

TCO total do estoque MRO — meta: redução anual.

### Ganho esperado

*Identifica itens onde a política atual gera prejuízo oculto. Possibilita migração para modelos de consignação ou JIT.*

## 40. Migração de manutenção por tempo (TBM) para por condição (CBM)

---

**Categoria:** Maturidade — Preditiva **Item original:** #32 **Pontuação GUT:** 45 (G3×U3×T5)

### Conceito técnico

Manutenção Baseada em Condição (CBM) substitui a periodicidade fixa por intervenção quando a condição do ativo (vibração, temperatura, contaminação de óleo) atinge limite definido. Reduz drasticamente intervenções em ativos saudáveis. Aplicável a ativos com modos de falha de desgaste detectável.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Critério de Migração: ativo com  $\beta$  (Weibull) > 1 + sintoma detectável de degradação + custo de monitoramento < 30% do custo de preventiva sistemática.*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Identificar candidatos pela análise de Weibull (item #37) e candidatos a preditiva (item #34).

**Etapa 2:** Implantar monitoramento da variável-chave (sensor on-line ou coleta periódica).

**Etapa 3:** Definir limites de alerta (verde, amarelo, vermelho) com base no histórico.

**Etapa 4:** Substituir a preventiva por tempo pela rotina CBM no SIGMA EAM.

**Etapa 5:** Acompanhar MTBF e custo total — comparar antes/depois.

**Etapa 6:** Escalar para outros ativos similares.

### KPI de acompanhamento

% de ativos críticos em regime CBM (vs. TBM).

### Ganho esperado

*Reduz intervenções no ativo saudável. Foco onde a degradação é real, não no calendário.*

## 41. RCM (Reliability-Centered Maintenance) com histórico real

---

**Categoria:** Maturidade — Confiabilidade **Item original:** #33 **Pontuação GUT:** 45 (G3×U3×T5)

### Conceito técnico

RCM é uma metodologia estruturada de definição da estratégia de manutenção, baseada em sete perguntas norteadoras (função, falha funcional, modo de falha, efeito, consequência, tarefa adequada, ação default). Com o histórico do SIGMA EAM, o RCM é alimentado com dados reais (não opiniões), gerando um plano de manutenção otimizado por ativo.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Não há fórmula matemática única – é metodologia. Saída: planilha RCM com tarefa definida por modo de falha e justificativa por consequência (segurança, ambiente, operação, custo).*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Treinar equipe-chave em RCM (curso formal — SAE JA1011, JA1012).

**Etapa 2:** Selecionar ativos piloto (1 ou 2 críticos).

**Etapa 3:** Executar o RCM em workshops com Manutenção, Operação, Engenharia.

**Etapa 4:** Documentar todas as decisões no SIGMA EAM, vinculadas ao plano de manutenção.

**Etapa 5:** Medir resultados (MTBF, custo, disponibilidade) antes/depois.

**Etapa 6:** Escalar para outros ativos conforme resultados.

### KPI de acompanhamento

% de ativos classe A com plano de manutenção via RCM.

### Ganho esperado

*Reduz tarefas que não agregam valor ao plano. Otimiza esforço de manutenção por consequência da falha.*

## 42. Eficácia de modificações de engenharia

---

**Categoria:** Maturidade — Engenharia **Item original:** #38 **Pontuação GUT:** 45 (G3×U3×T5)

### Conceito técnico

Toda modificação de projeto (engenharia de melhoria) deve ser validada com dados pós-implantação: comparar MTBF, custos e disponibilidade antes vs. depois. Sem essa validação, investimentos em engenharia não geram aprendizado organizacional.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$Eficácia da Modificação = (Indicador Após - Indicador Antes) \div Indicador Antes \times 100$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Cadastrar no SIGMA EAM toda modificação de engenharia como evento marcado (não apenas OS).

**Etapa 2:** Definir período pré ( $\geq 6$  meses antes) e pós ( $\geq 6$  meses após).

**Etapa 3:** Comparar MTBF, custo, disponibilidade antes vs. depois.

**Etapa 4:** Documentar em relatório formal a eficácia.

**Etapa 5:** Decidir: replicar em ativos similares (se sucesso) ou reverter (se sem ganho).

### KPI de acompanhamento

% de modificações de engenharia validadas com ganho  $> 30\%$ .

### Ganho esperado

*Valida ou descarta investimentos com base em evidência. Cria aprendizado organizacional.*

## 43. ROI de projetos de melhoria

---

**Categoria:** Maturidade — Financeiro **Item original:** #44 **Pontuação GUT:** 45 (G3×U3×T5)

### Conceito técnico

Cada projeto de melhoria (modificação, treinamento, novo equipamento, software) deve ter seu ROI calculado: comparação entre o investimento total e o ganho gerado (redução de custos, aumento de disponibilidade, redução de horas extras). Plantas maduras adotam 'gate review' — projetos sem ROI demonstrado não recebem reinvestimento.

### Fórmula / Modelo de cálculo

$$ROI (\%) = (\text{Ganho Anual} - \text{Custo do Projeto}) \div \text{Custo do Projeto} \times 100$$
$$\text{Payback} = \text{Custo do Projeto} \div \text{Ganho Anual}$$

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Padronizar template de proposta de projeto com cálculo prévio de ROI esperado.

**Etapa 2:** Após implantação, medir o ganho real pelos dados do SIGMA EAM.

**Etapa 3:** Calcular o ROI real e comparar com o estimado.

**Etapa 4:** Realizar reunião trimestral de revisão de projetos.

**Etapa 5:** Documentar lições aprendidas — projetos sem ROI são bloqueados em propostas futuras.

### KPI de acompanhamento

% de projetos com ROI real  $\geq$  70% do estimado — meta: > 70%.

### Ganho esperado

*Prioriza os projetos com retorno comprovado e elimina os ineficazes. Cria cultura data-driven.*

## 44. Decisão de substituir vs. recuperar (replace or repair)

**Categoria:** Maturidade — CAPEX **Item original:** #46 **Pontuação GUT:** 45 (G3×U3×T5)

### Conceito técnico

Decisão estratégica que combina três variáveis: custo acumulado de manutenção, idade do ativo e confiabilidade (MTBF, disponibilidade). A regra clássica: se a recuperação custa mais que 60% do valor do equipamento novo, OU se o CMVR > 15% a.a., a substituição é economicamente mais atraente.

### Fórmula / Modelo de cálculo

*Decisão de Substituição se:*

- (a) *Custo de Reforma  $\geq$  60%  $\times$  Valor Novo, OU*
- (b) *CMVR > 15% a.a. (item #28), OU*
- (c) *Disponibilidade < 80% mesmo após RCA, OU*
- (d) *Custo Acumulado Histórico > 1 $\times$  Valor Novo*

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Consolidar do SIGMA EAM os dados de cada ativo classe A: custo acumulado, idade, MTBF, disponibilidade.

**Etapa 2:** Aplicar os critérios de decisão.

**Etapa 3:** Para ativos candidatos a substituição: elaborar business case com payback do CAPEX.

**Etapa 4:** Apresentar à diretoria no ciclo orçamentário anual.

**Etapa 5:** Reavaliar anualmente os ativos próximos do gatilho.

### KPI de acompanhamento

Plano de Substituição de Ativos atualizado anualmente, embasado em dados.

## Ganho esperado

*Toma decisões de CAPEX baseadas em dados, não em percepção. Evita reformas em ativos terminais.*

## 45. Planejamento de paradas gerais (shutdowns) com base histórica

---

**Categoria:** Maturidade — Planejamento **Item original:** #47 **Pontuação GUT:** 36 (G3×U3×T4)

### Conceito técnico

Shutdowns (paradas gerais, turnarounds) concentram em poucos dias as intervenções mais complexas. Estouro de prazo em shutdown custa caro: cada dia extra significa lucro cessante e horas de equipe terceirizada. O histórico de paradas anteriores no SIGMA EAM permite dimensionar escopo, duração, equipe e materiais com precisão.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$$\text{Duração Estimada} = \Sigma (\text{Tempo padrão de cada OS}) \div (\text{N}^\circ \text{ equipes} \times \text{Fator de Sobreposição})$$

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM o histórico completo da última parada similar (todas as OS, tempos, materiais).

**Etapa 2:** Construir o escopo da próxima parada com base no histórico + necessidades novas.

**Etapa 3:** Estimar duração e recursos usando os tempos reais.

**Etapa 4:** Estruturar cronograma detalhado (CPM ou Gantt) integrado ao SIGMA EAM.

**Etapa 5:** Pré-staging de materiais e ferramentas conforme item #5 (previsão de demanda).

**Etapa 6:** Avaliação pós-parada para alimentar o histórico da próxima.

### KPI de acompanhamento

Aderência prazo planejado vs. realizado — meta:  $\pm 10\%$ .

## Ganho esperado

*Reduz estouro de prazo e custo em shutdowns. Tipicamente 10% a 20% de redução em prazo e custo total.*

## 46. Curva da banheira aplicada por família de equipamentos

---

**Categoria:** Maturidade — Confiabilidade **Item original:** #5 **Pontuação GUT:** 30 (G3×U2×T5)

### Conceito técnico

A Curva da Banheira é um modelo conceitual que descreve três fases da vida de um ativo: (1) mortalidade infantil — taxa de falhas alta devido a defeitos de fabricação/instalação; (2) vida útil — taxa de falhas baixa e estável; (3) desgaste — taxa de falhas crescente. Identificar em qual fase o ativo está orienta a estratégia: aceitar e atacar falhas precoces, executar manutenção sistemática na vida útil, ou planejar substituição na fase de desgaste.

### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Análise visual + correlação com  $\theta$  de Weibull:  $\theta < 1$  (infantil),  $\theta \approx 1$  (útil),  $\theta > 1$  (desgaste).*

---

### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Agrupar ativos por família (mesmo modelo, mesma aplicação).

**Etapa 2:** Construir curva de taxa de falhas ao longo do tempo a partir do SIGMA EAM.

**Etapa 3:** Classificar em qual fase a família está.

**Etapa 4:** Definir estratégia por fase (RCA na infância, preventiva na vida útil, substituição programada no desgaste).

**Etapa 5:** Reavaliar anualmente.

#### KPI de acompanhamento

% de ativos cuja estratégia é coerente com sua fase de vida.

#### Ganho esperado

*Reduz custo de manter ativos que já justificam substituição. Aplica a estratégia certa para cada fase.*

## 47. Dimensionamento ideal equipe própria vs. terceirizada

---

**Categoria:** Maturidade — Mão de Obra **Item original:** #20 **Pontuação GUT:** 30 (G3×U2×T5)

#### Conceito técnico

Análise do mix entre equipe fixa (custo fixo, conhecimento institucional) e equipe terceirizada (custo variável, flexibilidade, especialização). A sazonalidade da demanda histórica define o ponto de equilíbrio: equipe própria dimensionada para a demanda base; terceirização para picos.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

*Ponto de Equilíbrio = Demanda Base Constante (mediana mensal histórica). Acima disso, terceirização compensa.*

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Extrair do SIGMA EAM a demanda mensal histórica em horas por especialidade.

**Etapa 2:** Identificar a mediana (demanda base) e os picos sazonais.

**Etapa 3:** Comparar o custo da equipe própria vs. terceirizada (incluindo encargos, treinamento, ociosidade).

**Etapa 4:** Redimensionar a equipe própria para a demanda base.

**Etapa 5:** Estabelecer contrato de terceirização para os picos.

**Etapa 6:** Acompanhar o mix realizado ao longo do ano.

#### KPI de acompanhamento

Custo total da mão de obra (próprio + terceiros) — meta: redução de 5% a 15%.

#### Ganho esperado

*Reduz custo fixo em períodos de baixa demanda. Otimiza o mix custo-flexibilidade.*

## 48. Benchmarking entre plantas ou setores

---

**Categoria:** Maturidade — Benchmarking **Item original:** #48 **Pontuação GUT:** 20 (G2×U2×T5)

#### Conceito técnico

Comparação de indicadores entre unidades semelhantes da mesma empresa ou de mercado: MTBF, MTTR, custo/ativo, Wrench Time, Schedule Compliance. Identifica gaps e melhores práticas a replicar. Aplica-se em empresas com múltiplas plantas ou em associações setoriais.

#### Fórmula / Modelo de cálculo

---

$Gap = (Indicador da Unidade - Indicador da Melhor) \div Indicador da Melhor \times 100$

---

#### Como implantar no SIGMA EAM

**Etapa 1:** Padronizar a forma de cálculo dos indicadores entre as unidades (mesmo SIGMA EAM facilita).

**Etapa 2:** Construir dashboard comparativo trimestral.

**Etapa 3:** Identificar a unidade líder em cada indicador.

**Etapa 4:** Promover visitas técnicas e troca de boas práticas.

**Etapa 5:** Definir metas de convergência: cada unidade deve, em 24 meses, atingir 80% do indicador da líder.

#### **KPI de acompanhamento**

% de redução do gap entre unidades em indicadores-chave.

#### **Ganho esperado**

*Replica boas práticas, elimina ineficiências localizadas, gera competição saudável entre plantas.*

## **49. Contratos de performance com fornecedores (SLA-based)**

---

**Categoria:** Maturidade — Contratos **Item original:** #49 **Pontuação GUT:** 20 (G2×U2×T5)

#### **Conceito técnico**

Em vez de contratar serviços por hora ou por preço, contrata-se resultado (disponibilidade, MTBF, % cumprimento de prazo). Aplicável a fornecedores de manutenção terceirizada, peças críticas e serviços especializados. Exige dados históricos confiáveis para estabelecer linha de base e meta.

#### **Fórmula / Modelo de cálculo**

---

*Bonificação/Multa = (Indicador Realizado - Indicador Meta) × Valor Contratual × Fator*

---

#### **Como implantar no SIGMA EAM**

**Etapa 1:** Selecionar fornecedores críticos com 12+ meses de histórico no SIGMA EAM.

**Etapa 2:** Estabelecer linha de base com dados reais (não promessas).

**Etapa 3:** Negociar contrato com metas de SLA e cláusulas de bonificação/multa.

**Etapa 4:** Configurar acompanhamento mensal automatizado.

**Etapa 5:** Reavaliar anualmente — fornecedores que não atendem perdem o contrato.

#### **KPI de acompanhamento**

% de contratos com SLA cumprido — meta: > 90%.

#### **Ganho esperado**

*Reduz custo de contratos superdimensionados. Alinha interesses fornecedor-cliente.*

## **50. Simulação de cenários (digital twin) baseada em dados históricos**

---

**Categoria:** Maturidade — Digital Twin **Item original:** #50 **Pontuação GUT:** 16 (G2×U2×T4)

#### **Conceito técnico**

Modelo digital do ativo (ou planta) alimentado com dados históricos reais do SIGMA EAM, sensores IoT e variáveis operacionais. Permite simular cenários (mudança de equipe, alteração de política de estoque, modificação de operação) antes de implantar em campo — eliminando custo de tentativa e erro. Estágio mais avançado da maturidade digital.

#### **Fórmula / Modelo de cálculo**

---

*Não há fórmula única – é modelagem computacional (Monte Carlo, simulação de eventos discretos, machine Learning).*

---

#### **Como implantar no SIGMA EAM**

**Etapa 1:** Garantir maturidade dos itens anteriores (especialmente dados confiáveis no SIGMA EAM).

**Etapa 2:** Selecionar plataforma de digital twin compatível com SIGMA EAM (ex.: integração via API).

**Etapa 3:** Modelar um ativo crítico ou linha produtiva piloto.

**Etapa 4:** Validar o modelo com dados históricos (backtesting).

**Etapa 5:** Usar para simulação de cenários antes de mudanças estruturais.

**Etapa 6:** Escalar gradualmente.

**KPI de acompanhamento**

ROI das decisões suportadas por simulação vs. decisões puramente intuitivas.

**Ganho esperado**

*Evita custos de tentativa e erro em decisões estruturais. Estágio de classe mundial — Maturidade 5 de 5.*

## Conclusão Executiva

A jornada de transformação da manutenção a partir dos dados históricos do SIGMA EAM exige disciplina sequencial: começar pelos 20% de ações que entregam 80% do resultado (Camada Crítica), consolidar (Camada Estratégica), refinar (Camada Tática) e atingir excelência (Camada de Maturidade).

Os benchmarks internacionais convergem para uma conclusão objetiva: empresas que adotam essa abordagem alcançam ROI entre 200% e 500% nos primeiros 24 meses, com redução típica de 20% a 30% no custo total de manutenção e 15% a 25% no capital imobilizado em estoque.

O retorno não vem do software em si, mas da disciplina analítica sobre o dado. O SIGMA EAM entrega a infraestrutura tecnológica e o repositório de dados; a maturidade da gestão entrega o resultado financeiro.

***Quem tenta fazer tudo, não termina nada. Quem ataca os 20% certos, conquista 80% do resultado.***