

# DMAIC

## Guia Técnico Completo

Lean Six Sigma na Prática Industrial

**D DEFINE**

**M MEASURE**

**A ANALYZE**

**I IMPROVE**

**C CONTROL**

Metodologia estruturada para  
redução de defeitos e variação

**3,4**

DPMO no 6 $\sigma$

**Cpk $\geq 1,33$**

Meta de Capabilidade

**DMAIC**

5 Fases Integradas

# O QUE É O DMAIC?

*Metodologia estruturada de melhoria de processos baseada em dados, desenvolvida dentro do Six Sigma para eliminar defeitos e reduzir variação.*

**1980s**

**Motorola**

Criação do Six Sigma.  
Bill Smith e Mikel Harry.

**1990s**

**GE / Jack Welch**

Expansão global.  
\$12 bi em economias até 2000.

**2000s**

**ISO / AIAG**

Integração com IATF,  
ISO 9001 e Core Tools.

**Hoje**

**Indústria 4.0**

DMAIC + IoT + IA  
para melhoria contínua.

## OBJETIVO CENTRAL



Reduzir  
Variação



Eliminar  
Defeitos



Elevar  
Sigma Level



Reduzir  
COPQ



Sustentar  
Ganhos

# ESTRUTURA DO DMAIC — VISÃO GERAL DAS 5 FASES



■ TOLLGATE REVIEW obrigatório entre cada fase — aprovação do Champion/Sponsor antes de avançar

## Project Charter

Escopo · Meta SMART · Equipe · Cronograma · Benefício financeiro

## Problem Statement

Problema QUANTIFICADO: linha, indicador, magnitude, período

## SIPOC

Suppliers · Inputs · Process · Outputs · Customers — mapa macro do fluxo

## VOC → CTQ

Voz do Cliente traduzida em requisito mensurável (Critical to Quality)

## Business Case

COPQ baseline + alinhamento estratégico + ROI esperado

## Stakeholder Map

Mapeamento de influência, interesse e riscos iniciais do projeto

## EXEMPLO REAL

### Problem Statement:

*"O índice de refugo na Linha X atingiu 4,2% em Jan-Jun/2025, gerando COPQ de R\$ 180k/ano, vs. meta de  $\leq 1,0\%$ ."*

## GOAL STATEMENT (SMART)

*"Reduzir o refugo da Linha X de 4,2% para  $\leq 1,0\%$  até 31/12/2025, eliminando COPQ de R\$ 135k/ano."*

## ✓ ENTREGÁVEL

Project Charter aprovado pelo Champion/Sponsor

MSA — Measurement System Analysis

Gage R&R (Repetibilidade & Reprodutibilidade)

R&R < 10% → ACEITÁVEL ✓

10% – 30% → MARGINAL ⚠

R&R > 30% → INACEITÁVEL ✗

CAPABILIDADE DO PROCESSO

Cp (USL – LSL) / 6σ  
Capacidade potencial (sem desvio de centro)

Cpk min[(USL–μ)/3σ , (μ–LSL)/3σ]  
Capacidade real — considera centralização

Ppk min[(USL–μ)/3σp, (μ–LSL)/3σp]  
Performance longo prazo (σ amostral)

FÓRMULA DPMO:  $DPMO = ( N^{\circ} \text{ Defeitos} \div (\text{Unidades} \times \text{Oportunidades por unidade}) ) \times 1.000.000$

| Sigma Level | 1σ      | 2σ      | 3σ     | 4σ    | 5σ     | 6σ       |
|-------------|---------|---------|--------|-------|--------|----------|
| DPMO        | 691.462 | 308.538 | 66.807 | 6.210 | 233    | 3,4      |
| Yield       | 30,9%   | 69,1%   | 93,3%  | 99,4% | 99,98% | 99,9997% |

FERRAMENTAS QUALITATIVAS

Diagrama de Ishikawa (6M)

Máquina · Método · Material · Mão de Obra · Meio Ambiente · Medição

5 Porquês Estruturado

Aprofundamento iterativo até causa sistêmica — mínimo 3 níveis

Diagrama de Pareto

80/20: identificar os 20% de causas que geram 80% dos defeitos

TESTES ESTATÍSTICOS — SELEÇÃO CORRETA

|                                   |                        |
|-----------------------------------|------------------------|
| Contínuo · 2 grupos · Normal      | t-test (Student)       |
| Contínuo · 2 grupos · Não-normal  | Mann-Whitney           |
| Contínuo · >2 grupos · Normal     | ANOVA 1-way/2-way      |
| Contínuo · >2 grupos · Não-normal | Kruskal-Wallis         |
| Catégorico · proporções           | Qui-quadrado           |
| Relação entre variáveis contínuas | Correlação + Regressão |
| Múltiplos fatores simultâneos     | DOE — Fatorial         |

REGRA DE OURO:  $p\text{-value} < 0,05 \rightarrow$  Diferença estatisticamente significativa  $\rightarrow$  Causa-raiz CONFIRMADA

## Brainstorming Estruturado

SCAMPER · 6-3-5 · TRIZ — geração criativa de soluções

## Matriz Impacto × Esforço

Priorizar top 3 soluções — alto impacto, baixo esforço

## FMEA da Solução

RPN = Severidade × Ocorrência × Detecção | Antecipar falhas

## DOE de Otimização

Ajuste fino dos fatores críticos identificados na fase Analyze

## Plano de Ação 5W2H

What · Why · Where · When · Who · How · How Much

## ANÁLISE FINANCEIRA DO PROJETO

$ROI (\%) = (\text{Benefício Anual} - \text{Investimento}) \div \text{Investimento} \times 100$

$\text{Payback (meses)} = \text{Investimento} \div \text{Benefício Mensal}$

$VPL = \sum [FC_t \div (1 + i)^t] - \text{Investimento inicial}$

## GANHO PROJETADO — 3 CENÁRIOS

Conservador: 50% do potencial

Realista: 75% do potencial

Otimista: 100% do potencial

## FMEA — Action Priority (AIAG-VDA 2019)

AP Alto → Ação imediata | AP Médio → Planejar | AP Baixo → Monitorar

## Plano de Controle

Parâmetro · Especificação · Método · Frequência · Responsável · Reaction Plan

## CEP / SPC Pós-Melhoria

Cartas:  $\bar{X}$ -R · I-MR · P · NP · C · U — Monitoramento contínuo com limites de controle

## LPA — Layered Process Audit

Auditoria em camadas (operador → supervisor → gerência) para garantir conformidade

## Padronização

Atualização de POP, OPL (One Point Lesson), Work Instructions e PFMEA

## Revisão de Sustentabilidade

Confirmação do ganho real vs. projetado: 30 / 60 / 90 dias pós-implementação

## SINAIS DE DESCONTROLE (Reaction Plan)

1. 1 ponto além de  $\pm 3\sigma$  (LCS/LCI)
2. 2 de 3 pontos além de  $\pm 2\sigma$
3. 4 de 5 pontos além de  $\pm 1\sigma$
4. 8 pontos consecutivos no mesmo lado
5. 6 pontos em tendência crescente/decrecente
6. Padrão cíclico ou estratificação

## ✓ ENTREGÁVEL FINAL

Plano de Controle aprovado  
Processo sob controle estatístico  
Ganho real confirmado vs. projetado



# ANÁLISE FINANCEIRA NO DMAIC — COPQ & ROI

**COPQ = Scrap + Retrabalho + Garantia + Devoluções + Paradas + Horas Extras + Custos Logísticos**

**FALHAS INTERNAS**

Scrap · Retrabalho · Paradas · Horas Extras

**FALHAS EXTERNAS**

Garantia · Devoluções · Recalls · Penalidades

**AVALIAÇÃO**

Inspeção · Auditorias · Laboratórios · Calibração

**PREVENÇÃO**

Treinamento · APQP · PFMEA · Poka-Yoke

SIGMA LEVEL vs. COPQ vs. DPMO

| Sigma | DPMO   | Yield    | COPQ / Faturamento |
|-------|--------|----------|--------------------|
| 3σ    | 66.807 | 93,3%    | 25–40%             |
| 4σ    | 6.210  | 99,4%    | 15–25%             |
| 5σ    | 233    | 99,98%   | 5–15%              |
| 6σ    | 3,4    | 99,9997% | < 1%               |

# PROJECT CHARTER — Estrutura Obrigatória e Template

## Problem Statement

Descrição QUANTIFICADA: o quê · onde · quando · magnitude  
Ex: refugo 4,2% na Linha X (Jan–Jun/25) vs. meta 1,0%

## Business Case

Impacto financeiro (COPQ) + alinhamento estratégico  
Justificativa para o Champion aprovar o investimento

## Goal Statement

Meta SMART: Specific · Measurable · Achievable · Relevant · Time-bound  
Ex: Reduzir de 4,2% para  $\leq 1,0\%$  até 31/12/2025

## Escopo

IN SCOPE: linha, turno, SKU, período  
OUT OF SCOPE: o que NÃO será abordado neste projeto

## Equipe do Projeto

Black Belt (líder) · Green Belt · Champion/Sponsor · SMEs  
Dedicação parcial mínima: 25% do tempo para BB

## Cronograma DMAIC

Milestones por fase + datas de Tollgate Review  
Duração típica: 3–6 meses para projetos médios

## Benefício Projetado

Conservador / Realista / Otimista (em R\$/ano)  
Confirmado pelo Finance Business Partner

## Riscos Iniciais

Top 3 riscos identificados + plano de mitigação  
Atualizado a cada Tollgate Review

# FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS — Guia de Seleção Rápida

## TESTE DE NORMALIDADE (obrigatório antes de qualquer teste)

Anderson-Darling / Shapiro-Wilk  
 $p > 0,05 \rightarrow$  distribuição Normal  
 $p \leq 0,05 \rightarrow$  usar testes não-paramétricos

## DETECÇÃO DE OUTLIERS

Método IQR: outlier se  $< Q1 - 1,5 \times IQR$  ou  $> Q3 + 1,5 \times IQR$   
Teste de Grubbs (G): para  $N < 25$  com distribuição normal  
Boxplot: visualização imediata de outliers candidatos

## ÍNDICES DE CAPABILIDADE

| Índice | Fórmula                                                  | Interpreta                                         | Meta                     |
|--------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------|
| Cp     | $(USL - LSL) / 6\sigma$                                  | Capacidade potencial (ignora centralização)        | $\geq 1,33$              |
| Cpk    | $\min[(USL - \mu) / 3\sigma, (\mu - LSL) / 3\sigma]$     | Capacidade real — considera desvio do centro       | $\geq 1,33$              |
| Ppk    | $\min[(USL - \mu) / 3\sigma_p, (\mu - LSL) / 3\sigma_p]$ | Performance longo prazo ( $\sigma$ amostral total) | $\geq 1,33$              |
| Cp=Cpk | Processo centralizado                                    | Cpk < Cp $\rightarrow$ processo fora do centro     | World-class: $\geq 1,67$ |

## FERRAMENTAS GRÁFICAS

Histograma

Box Plot

Scatter Plot

Run Chart

Carta  $\bar{X}$ -R

Carta I-MR

Carta P/NP

Carta C/U

# DMAIC vs. PDCA vs. DMADV — Quando Usar Cada Metodologia

## PDCA

Deming / Kaizen

### QUANDO USAR

Problemas simples de melhoria incremental. Ciclo rápido. Kaizen de linha.

### FASES

Plan · Do · Check · Act

### ESTATÍSTICA

Básicas (Pareto, Ishikawa)

### DURAÇÃO

Dias / Semanas

### DADOS

Qualitativo / Semi-quantitativo

### COMPLEXIDADE

Baixa

## DMAIC

Six Sigma / LSS

### QUANDO USAR

Processo EXISTENTE com problema crônico. Variação alta. Defeitos recorrentes.

### FASES

Define · Measure · Analyze · Improve · Control

### ESTATÍSTICA

Avançadas (Testes hipótese, DOE, MSA, CEP)

### DURAÇÃO

3 – 6 meses

### DADOS

Quantitativo (dados históricos e novos)

### COMPLEXIDADE

Alta

## DMADV

DFSS — Design for Six Sigma

### QUANDO USAR

Processo NOVO ou completamente redesenhado. Produto novo. Nenhum histórico.

### FASES

Define · Measure · Analyze · Design · Verify

### ESTATÍSTICA

Preditivas (QFD, Simulação, Robust Design)

### DURAÇÃO

6 – 18 meses

### DADOS

Preditivo (VOC, benchmarking, simulação)

### COMPLEXIDADE

Muito Alta

# APLICAÇÃO NO SETOR AUTOMOTIVO — IATF 16949 & Core Tools AIAG

## APQP

Advanced Product Quality Planning  
Planejamento preventivo — fases do produto

## PPAP

Production Part Approval Process  
Aprovação de novos componentes Tier 1

## FMEA

AIAG-VDA 2019 — Action Priority  
AP Alto=Imediato · Médio=Planejar ·  
Baixo=Monitorar

## MSA

Measurement System Analysis  
Obrigatório para CC e SC — Gage R&R

## SPC/CEP

Controle Estatístico de Processo  
Cartas de controle —  $Cpk \geq 1,67$  para CC

## 8D Report

Resposta estruturada a clientes Tier 1  
D1 a D8 — Ação imediata < 24h (QRQC)

### CLÁUSULAS IATF 16949 RELACIONADAS AO DMAIC

- ▶ 9.1 — Monitoramento e Medição
- ▶ 10.2 — Não Conformidade e Ação Corretiva
- ▶ 10.3 — Melhoria Contínua
- ▶ 8.5.6 — Controle de Mudanças

# CHECKLIST DO BLACK BELT — Tollgate Review por Fase

## D — DEFINE

- ✓ Project Charter aprovado pelo Champion/Sponsor
- ✓ Problem Statement quantificado com baseline
- ✓ SIPOC mapeado e validado com a equipe
- ✓ VOC coletada e árvore CTQ construída
- ✓ Business Case com COPQ documentado

## M — MEASURE

- ✓ Plano de coleta de dados definido
- ✓ MSA (Gage R&R) executado — R&R < 30%
- ✓ Baseline Sigma calculado com DPMO
- ✓ Cpk atual documentado (pré-melhoria)
- ✓ Cartas de controle CEP aplicadas

## A — ANALYZE

- ✓ Ishikawa e Pareto elaborados
- ✓ 5 Porquês aplicado nas top 3 causas
- ✓ Testes estatísticos realizados ( $p < 0,05$ )
- ✓ DOE executado se necessário
- ✓ Causas-raiz validadas e priorizadas

## I — IMPROVE

- ✓ Soluções priorizadas (Impacto × Esforço)
- ✓ FMEA da solução realizado
- ✓ Piloto executado com critérios de sucesso
- ✓ Sigma Level pós-melhoria calculado
- ✓ ROI e Payback confirmados pelo Finance

## C — CONTROL

- ✓ Plano de Controle aprovado e ativo
- ✓ Cartas CEP pós-melhoria implementadas
- ✓ Reaction Plan documentado
- ✓ POP / OPL / WI atualizados
- ✓ Revisão 30/60/90 dias agendada

# CONCLUSÃO E PRÓXIMOS PASSOS

*O DMAIC é a espinha dorsal do Six Sigma — não é opcional, é mandatório para projetos de melhoria robustos.*

## ✗ ERROS CRÍTICOS A EVITAR

1. Pular fases por pressão de cronograma
2. Implementar soluções SEM validar causa-raiz
3. Não realizar MSA — trabalhar com dados não confiáveis
4. Fechar projeto SEM Plano de Controle estruturado
5. Definir meta sem baseline (impossível medir ganho)
6. Tollgate Reviews sem aprovação formal do Sponsor

## ✓ PRÓXIMOS PASSOS

- 1 Selecionar projeto**  
Use Pareto de COPQ para priorizar
- 2 Montar a equipe**  
BB + GBs + Champion + SMEs
- 3 Elaborar o Charter**  
Meta SMART + Business Case
- 4 Executar o DMAIC**  
Fase a fase com tollgate reviews
- 5 Fechar com Controle**  
Plano de Controle + sustentabilidade
- 6 Replicar os ganhos**  
Horizontal deployment em outras linhas