

Redução do Tempo de Calibração no Laboratório Elétrico & Radiofrequência

Marco A. Ferra

Curso de Especialização em Lean Six Sigma Black Belt (5.ª edição)

Laboratório de Metrologia, DL, ISQ – Oeiras, Portugal

11 de setembro de 2025 (versão revista para não inclusão de informação sensível)

Índice:

1	Resumo	1
2	Introdução	1
3	DMAIC	1
3.1	Define	1
3.2	Measure	2
3.3	Analyse	4
3.4	Improve	8
3.5	Control	9
4	Resultados	9
5	Conclusões	10
6	Referências	10

1 Resumo

O Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ), fundado em 1965, é uma associação privada sem fins lucrativos que, aos dias de hoje, fornece serviços de inspeção, ensaio, formação e consultoria técnica. Inserido na Direção de Laboratórios (DL), o Laboratório de Metrologia é constituído por três departamentos e vários laboratórios com diferentes competências técnicas, sendo o objetivo primário deste projeto reduzir o tempo de calibração dos equipamentos no Laboratório Elétrico & Radiofrequência.

Este projeto foi uma iniciativa pessoal do seu anterior Responsável Técnico (RT) – o líder do projeto e autor deste artigo científico – de oferecer um conjunto de ferramentas científicas e uma estratégia de negócio com base nos princípios da *Lean Six Sigma* aos técnicos do laboratório, ao seu RT e à organização. O projeto teve a duração aproximada de 6 meses. No final, foi conseguida uma redução em 44% no tempo de calibração para um tipo específico de equipamentos que se concluiu serem críticos para o aumento do desempenho do laboratório.

Palavras-chave: DMAIC, VOC, CTQ, SPC, ANOVA, Diagrama Causa-Efeito, Pareto, 5-porquês, SOP

2 Introdução

O tempo de imobilização dos equipamentos é um dos critérios mais importantes para o cliente na altura em que este escolhe um laboratório como fornecedor de calibrações. Existem evidências obtidas através do Sistema da Qualidade, do *Voice of Customer* e de reuniões periódicas com clientes de contrato e outros clientes-chave, que o atraso ou o não cumprimento dos prazos acordados é o principal fator de desagrado e o principal motivo das reclamações.

Quanto menor for este tempo, menos contactos (telefonemas ou e-mails) de clientes serão recebidos a questionar quando os equipamentos poderão ser recolhidos e menos reclamações formais ou informais existirão. Diminuir o tempo de serviço também possibilita maior rentabilidade devido ao cliente valorizar em termos qualitativos, e estar disposto a pagar, por tempos de imobilização menores.

Como o tempo de execução de serviço é um fator crítico em todas as atividades da DL e também das restantes Direções do ISQ, este projeto, se replicado e devidamente adaptado, poderá vir a ser uma excelente oportunidade para uma melhoria transversal no desempenho global da organização.

3 DMAIC

3.1 Define

Estabelece-se que o objetivo primário do projeto é o de reduzir o número de dias seguidos de permanência dos equipamentos entregues para calibração no Laboratório Elétrico & Radiofrequência, na sede do ISQ em Oeiras (Tagus-Park, Portugal), em pelo menos 30% até 30 de junho de 2017.

Espera-se que o principal benefício se faça sentir nos dois maiores grupos de clientes do laboratório, o primeiro sendo o maior cliente face ao Volume de Negócios – denominado Cliente A, e o segundo o cliente de retalho (conjunto de clientes sem contratos formalizados). O impacto financeiro será calculado tendo por base a estimativa de acréscimo de equipamentos enviados por estes dois grupos de clientes multiplicado pelo valor médio de calibração de cada unidade,

ou caso não exista previsão de acréscimo, pela redução do tempo de imobilização e respetivos ganhos operacionais e financeiros.

S	I	P	O	C
Fornecedores	Entradas	Processo	Saídas	Clientes
<ul style="list-style-type: none"> Equipamentos do cliente (que são trazidos e levados através do comboio logístico interno diário) 	<ul style="list-style-type: none"> Procedimentos técnicos internos Especificações técnicas do equipamento Requisitos específicos do cliente Padrões, equipamentos de referência e acessórios 	<ul style="list-style-type: none"> Calibração do equipamento – ver em «Analyse» o Mapa do Processo para mais detalhe 	<ul style="list-style-type: none"> Certificado de Calibração (este contém os resultados pelos quais o cliente contrata o serviço). CTQ1 – Tempo de permanência dos equipamentos CTQ2 – Taxa de equipamentos que saíram fisicamente do laboratório sem o C.C. estar emitido 	<ul style="list-style-type: none"> Equipamentos do cliente (que são trazidos e levados através do comboio logístico interno diário)

Quadro 3.1 Diagrama SIPOC – Visão geral do funcionamento do laboratório – O âmbito do projeto irá incidir na caixa do processo, detalhado nas fases «Measure» e «Analyse».

Relativamente ao projeto identificam-se dois riscos principais:

1. Indisponibilidade dos membros da equipa em atenderem a todas as reuniões do projeto devido a este dia poder colidir com visitas comerciais a clientes ou com serviços de calibração no exterior.
2. Dependendo dos resultados das fases «Analyse» e «Improve», poderão existir casos onde as implementações podem colidir com o funcionamento e interesses funcionais de outros laboratórios (e por consequência de outros Responsáveis de Depto.) ou de processos transversais (pe. Receção e Expedição).

Para o efeito estabelecem-se duas *CTQ*:

1. *CTQ1* – Variável Contínua – Tempo decorrido, em dias, entre o momento em que o equipamento entra fisicamente na sala do laboratório e o momento em que sai (do laboratório). Considera-se como defeito os serviços que demoraram mais tempo do que aquele que foi acordado com o cliente. Notar que na fase «Measure» (pág. 2), aquando o estabelecimento da Baseline e da análise da capacidade do processo, esta *CTQ1* será transformada em número de calibrações diárias (na fase «Measure» explicar-se-á o motivo).
2. *CTQ2* – Variável discreta atributiva nominal – Saída binária (sim ou não) relativa a se o equipamento saiu fisicamente do laboratório com (sim) ou sem (não) o Certificado de Calibração (C.C.) emitido. Considera-se defeito todos os serviços cujos equipamentos foram fisicamente entregues sem que o Certificado de Calibração esteja disponível para o cliente.

Para além do líder do projeto, estabeleceu-se como equipa de projeto todos os Técnicos de Laboratório (cinco), o Responsável Técnico (RT), o Responsável de Departamento (RD) e o Diretor da Direção de Laboratórios (*Champion*), e, embora o tempo de envolvimento seja diferente para cada membro de equipa, estima-se para o projeto uma alocação média de 2 horas por semana por membro. Para o líder do projeto estabeleceu-se uma alocação de 20 horas semanais.

3.2 Measure

Para se estabelecer a Baseline relativa às *CTQ*, e com base na sequência de estados do sistema informático que gere a atividade do Laboratório de Metrologia, definiram-se os seguintes quatro circuitos:

1. Circuito 1 – Serviços no laboratório cujo ciclo entrada-saída foi o desejado (i.e. C.C. emitido antes de equipamento ser entregue).
2. Circuito 2 – Serviços no laboratório cujos C.C. foram emitidos após o equipamento ser entregue.
3. Circuito 3 – Serviços no Cliente (calibrações externas).
4. Circuito 4 – Serviços de Subcontratação.

Sendo que no âmbito das *CTQ1* e *CTQ2* serão apenas considerados os serviços que percorreram os circuitos 1 e 2 (a expectativa do autor é que os restantes circuitos sejam potenciadores de próximos projetos *LSS*).

Embora a *CTQ1* tenha sido definida inicialmente na fase «Define» com sendo o número de dias entre o momento em que o equipamento entra fisicamente na sala do laboratório e o momento em que sai (*CTQ* definida diretamente pelo fator que o cliente mais valoriza), não foi possível aproximar esta *CTQ* com uma probabilidade de significância suficiente (valor-p > 0,05) a nenhuma distribuição de probabilidade mais comum e, consequentemente, não foi possível garantir que o processo, analisado deste ponto de vista (dias de permanência) se encontrava sob controlo estatístico. O exercício foi relativamente exaustivo; tentou-se isolar famílias de equipamentos, por clientes, por técnico que efetuou a calibração, mas sem sucesso.

Mesmo considerando remover os *outliers* pelo método da amplitude interquartil, estes representavam cerca de 5% do total da amostra (N = 968, # *outliers* = 46), pelo que seriam consequência de causas comuns e não de causas especiais, e não seriam, portanto, *outliers*, não devendo ser removidos.

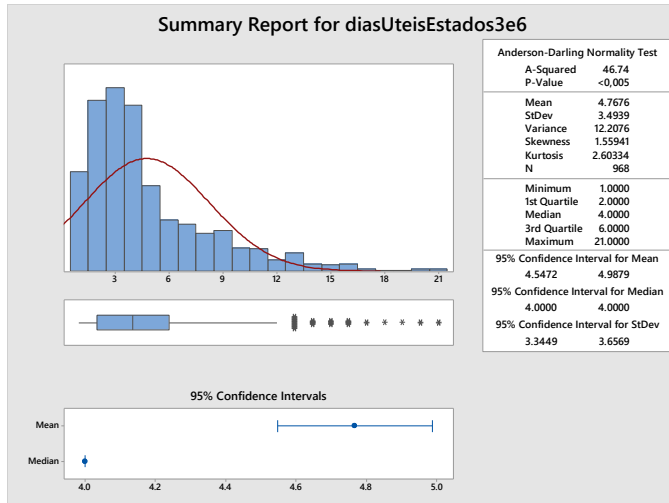


Figura 3.1 Relatório Sumário – Verifica-se pelo teste de ajustamento realizado à *CTQ1* que se rejeita a hipótese de esta poder ser aproximada a uma distribuição normal (valor- $p < 0,05$).

De modo a obter informação estatisticamente significativa, tendo por base o desempenho histórico do laboratório e os requisitos do cliente, transformou-se este número de dias de permanência do equipamento em número de calibrações que deveriam ser efetuadas diariamente (no sistema informático do departamento equivale ao número de transições para o estado #6).

Em termos operacionais, o tempo associado à *CTQ1* irá inevitavelmente diminuir se o número de equipamentos que são calibrados diariamente aumentar. Para se conhecer o ritmo imposto pelo cliente, e mantendo as premissas das *CTQ* estabelecidas na fase «Define», calculou-se o número de equipamentos que foram calibrados em média por dia em 2016 e estabeleceu-se uma nova *CTQ1*:

1. Y: *CTQ1*: Discreto contável – Número de calibrações efetuadas diariamente (dias úteis) no laboratório (*CTQ* nova).
2. Y: *CTQ2*: Discreto atributivo nominal – «Sim» ou «Não» – Se o equipamento sai fisicamente do laboratório com ou sem o C.C. (*CTQ* manteve-se).

O sistema de medição, neste projeto em particular, encontra-se intrinsecamente validado devido ao sistema informático que existe no departamento e que controla o fluxo físico / documental dos equipamentos, pelo que não existiu necessidade de realizar estudos de teste-reteste ou GR&R.

# Calibrações (Circuito 1 e 2) em 2016:	3526
Número de dias úteis em 2016:	261
Calibrações internas diárias em média (μ_0):	14

Quadro 3.2 Sumário do desempenho do laboratório em 2016.

Para se estabelecer a Baseline contabilizou-se a quantidade de equipamentos que foram calibrados diariamente durante o primeiro trimestre de 2017 (de ora em diante denominado 2017Q1), e com base no desempenho em 2016 definiu-se como limite mínimo de especificação 14 equipamentos calibrados diariamente (LSL = 14, USL = ∞) e N = 65 (i.e., em 65 dias diferentes).

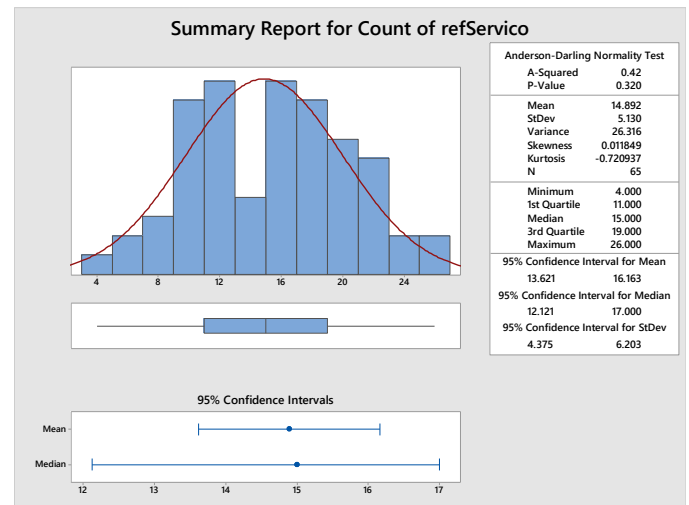


Figura 3.2 Relatório Sumário – Pelo teste de ajustamento verifica-se que o desempenho relativo ao número de calibrações efetuadas diariamente em 2017Q1 aproxima-se a uma distribuição normal (valor- $p = 0,320$).

Ademais verifica-se pelas cartas de controlo na **Figura 3.3** que o processo se encontra sob controlo estatístico.

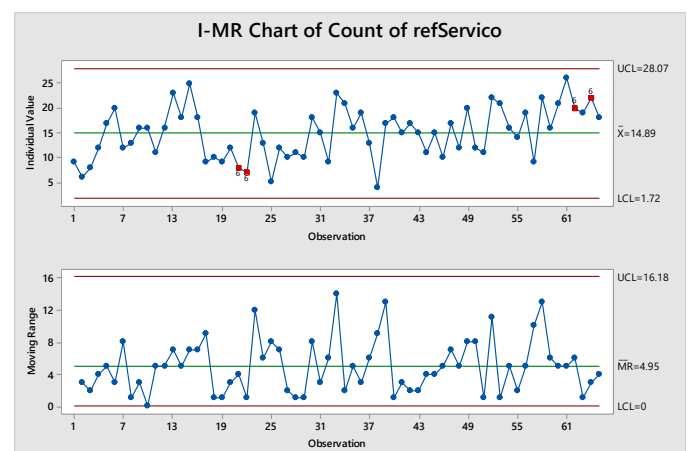


Figura 3.3 Carta de Controlo I-MR – observações diárias com média móvel de 2 dias – existem 4 pontos (obs. #21, #22, #62 e #64)

que não passaram no teste por serem 4 de 5 pontos que estão afastados mais de 1σ relativamente à média.

Relativamente à capacidade do processo e tendo por base $LSL = 14$, verifica-se que este apresenta um nível sigma de 0,17 (taxa de defeitos observados de 43,1%).

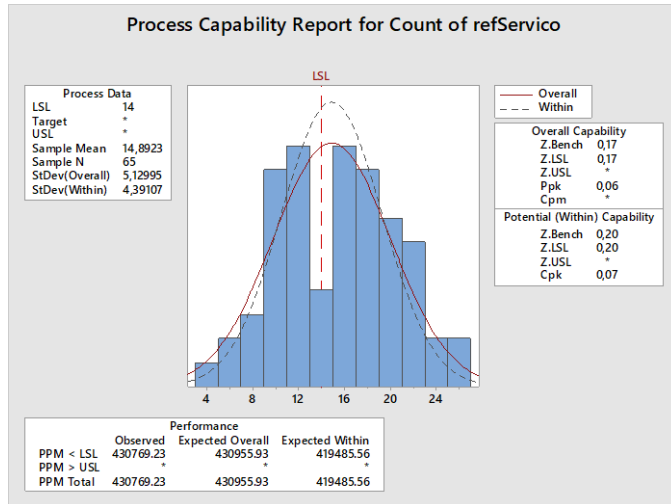


Figura 3.4 Capacidade do Processo – Baseline da *CTQ1* com nível sigma de 0,17 (taxa de defeitos de 43,1%).

Para a *CTQ2*, sendo esta uma variável discreta atributiva nominal, calculou-se o nível sigma com base nas mesmas premissas da *CTQ1*, i.e., para cada dia útil de 2017Q1 mediu-se a quantidade de serviços totais e a quantidade destes cujos equipamentos saíram sem o C.C. (considerada uma oportunidade para cada defeito), conforme a **Figura 3.5**.

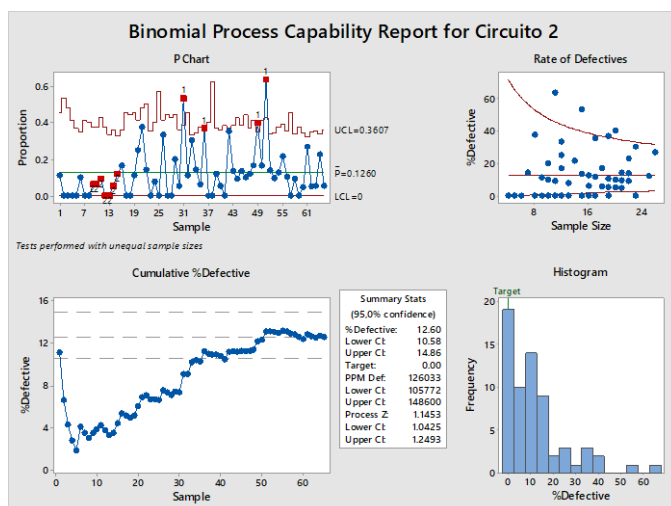


Figura 3.5 Capacidade do Processo – Baseline da *CTQ2* com nível sigma de 1,15 (taxa de defeitos de 12,6%).

Verifica-se que o número de amostras foi o suficiente – observar a estabilidade alcançada no gráfico «Cumulative %Defective» – e que o nível sigma da *CTQ2* é de 1,15 (12,6%

de defeitos), mas considera-se provável que o processo não esteja estável visto existirem 11 observações (17% do total) que se encontram fora de controlo estatístico. No *software* estatístico usado foram ativados todos os testes para a deteção de causas especiais.

Complementando a informação obtida anteriormente, e aproveitando o momento da fase «Measure», foi realizado o exercício – segundo o conhecimento do autor, pela primeira vez – de calcular o OEE de um dos padrões mais utilizados no laboratório, os calibradores multiproduto da série 55XXA da FLUKE.

A1.	Tempo total:	480	min.
A2.	Tempo paragens planeadas:	90	min.
A3.	Tempo disponível:	390	min.
A4.	Disponibilidade:	81	%
B1.	Total de serviços:	2,8	un.
B2.	Tempo médio de ciclo:	35	min.
B3.	Rendimento:	25	%
C1.	Serviços com defeitos (revisões):	0,083	un.
C2.	Qualidade:	97	%
Overall Equipment Effectiveness (OEE)		20	%

Quadro 3.3 Estimativa do OEE para os calibradores multiproduto da série 55XXA da FLUKE presentes no laboratório.

Observa-se que o OEE destes padrões se situa nos 20%, indicando, pelo menos numa análise preliminar, que existe larga margem para o aumento da eficiência e rentabilidade da infraestrutura tecnológica que se encontra atualmente instalada.

Relativamente aos membros da equipa, e fazendo um ponto de situação comparativamente ao início do projeto, salienta-se que os Técnicos de Laboratório, o Responsável Técnico e o Líder de Projeto são os que se encontram, neste momento, mais envolvidos.

3.3 Analyse

Relativamente à *CTQ1*, e com base nos resultados obtidos na fase «Measure», desenhou-se com a equipa o Mapa do Processo (i.e., o detalhe da caixa «Processo» do SIPOC), conforme a **Figura 3.6**.

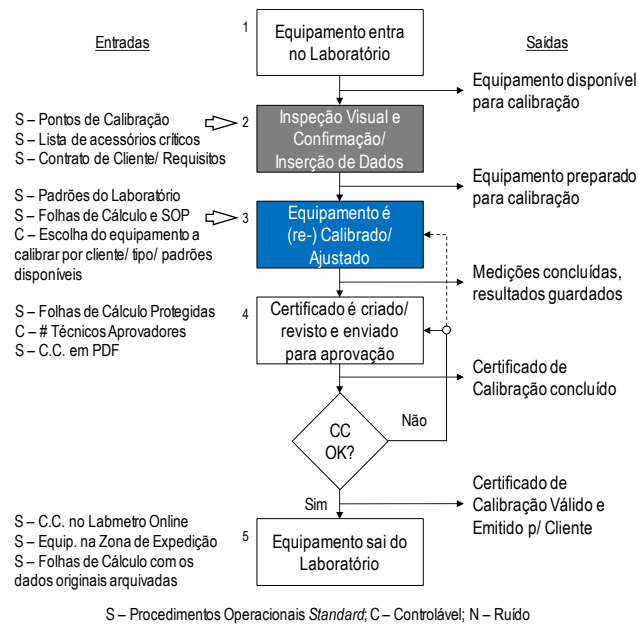


Figura 3.6 Mapa do Processo – Detalhe interno da caixa «Processo» do Diagrama SIPOC apresentado na fase «Define».

Durante as reuniões com a equipa chegou-se à conclusão que as caixas #2 (fundo cinza) e #3 (fundo azul) do processo seriam aquelas onde se fosse possível perder menos tempo, se traduziriam num aumento do desempenho do laboratório. Em particular, se na altura em que o equipamento entrasse no laboratório já todos os dados estivessem corretamente inseridos no sistema informático, essa verificação da informação já não seria necessária – contudo essa verificação a montante do processo não se encontrava na esfera de decisão do laboratório e não foi possível alterá-la. O foco da equipa passou, prontamente, para a caixa #3 do processo – o intervalo de tempo entre o início e o fim da calibração.

Entre reuniões de equipa, e na expectativa de encontrar antecipadamente a causa-raiz, o líder do projeto tentou validar estatisticamente fatores como «Cliente» e «Tipo de Equipamento», variáveis mencionadas informalmente como importantes durante o decorrer da atividade operacional, procurando encontrar diferenças estatisticamente significativas tanto na dispersão como no valor médio dos tempos de imobilização. Para o estudo, e para os serviços realizados em 2017Q1, estabeleceram-se os seguintes 6 grupos de clientes:

Cliente	Un.
Cliente A	144
Cliente B	60
Cliente C	55
Cliente D	45

Cliente E	44
Restantes Clientes	620

Quadro 3.4 Serviços efetuados em 2017Q1 agrupados pelos cinco clientes com maior quantidade. Universo: 968 serviços.

Estabeleceu-se no plano de recolha de dados que para cada população seriam obtidas amostras aleatórias de 30 serviços cada ($N = 30$ por cada cliente) e, antes de realizar o teste One-Way ANOVA para verificar se as médias seriam significativamente diferentes, realizou-se um teste de hipóteses (TH) para verificar se se poderia assumir como verdadeiro que as variâncias entre as populações seriam iguais.

- $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$
- $H_1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2$, pelo menos para um par (i, j)

Como o comportamento de cada uma das populações não se aproximou a uma distribuição normal e estas exibiam elevadas assimetrias – não apresentado, mas verificado graficamente no decorrer da análise – realizou-se o TH pelo método de Levene (com $\alpha = 0,05$ para evitar que o erro tipo I fosse demasiado elevado), obtendo-se um valor- $p = 0,000$.

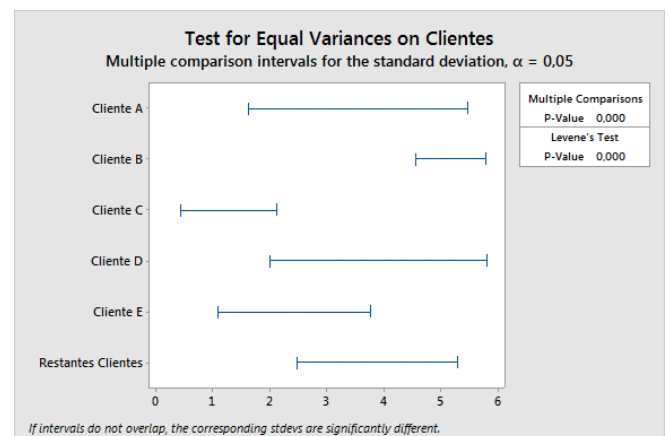


Figura 3.7 Gráfico Resumo – Resultado do TH para variâncias iguais relativamente ao tempo de calibração para os cinco clientes com maior quantidade de serviços (valor- $p = 0,000$).

Observou-se que se rejeita H_0 e, portanto, existe pelo menos um cliente cuja variância nos tempos de calibração é diferente dos restantes.

Dando continuidade ao estudo, e de modo a comprovar estatisticamente se as médias dos tempos de calibração seriam significativamente diferentes, realizou-se um teste One-Way ANOVA pelo método de Games-Howell que permitiu realizar o TH sem o pressuposto de homoscedasticidade (H_0 rejeitada no teste anterior). São

apresentadas nas próximas duas figuras a análise dos resíduos e respetivo gráfico resumo.

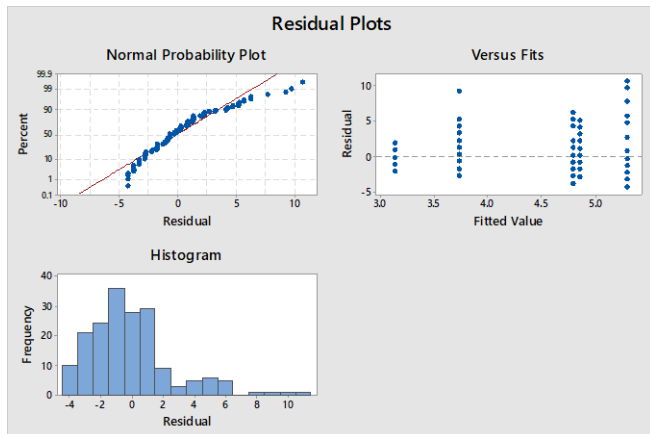


Figura 3.8 Gráficos com a análise de resíduos – Notar que a forma dos dados no «Normal Probability Plot» sugere que os resíduos seguem o comportamento de uma distribuição normal.

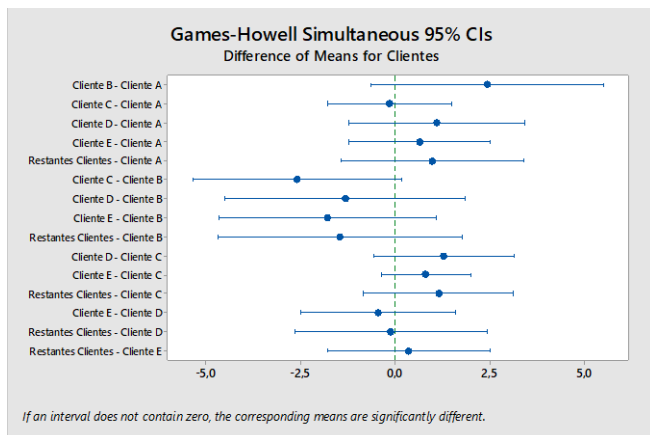


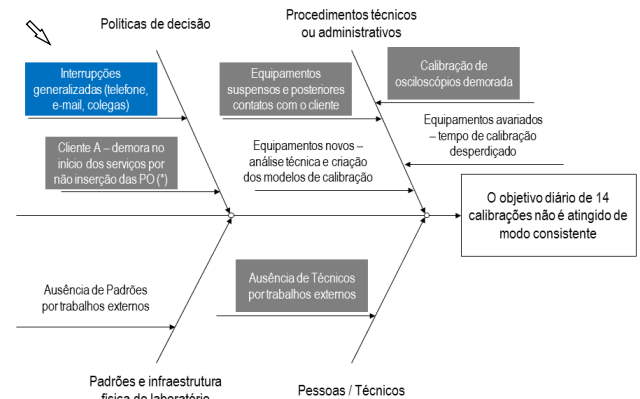
Figura 3.9 Gráfico Resumo – Resultado do TH para a diferença das médias pelo método de Games-Howell ($\alpha = 0,05$).

Observa-se pelo resumo do teste que não é possível estabelecer diferentes grupos de clientes com base no tempo médio de calibração – como resultado todos os clientes pertencem ao grupo A, não se rejeitando a hipótese nula.

O mesmo exercício foi realizado para os tipos de equipamento mais calibrados, obtendo-se resultados similares (detalhe não apresentado). Para os cinco tipos de equipamentos mais calibrados não foi possível rejeitar as respetivas hipóteses de estes terem variâncias ou médias iguais.

Num determinado momento, também se tentou modelar o comportamento operacional do laboratório por uma regressão linear de modo a encontrar uma eventual relação entre os tipos de equipamento e os respetivos tempos de imobilização, igualmente sem sucesso.

Com base nesta informação, e desmistificada a perceção de que os tipos de clientes e de equipamentos seriam variáveis críticas para o desempenho do laboratório, desenhou-se em reunião de equipa o Diagrama de Causa-Efeito que se apresenta na **Figura 3.10**, com o objetivo de encontrar a verdadeira causa-raiz.



(*) As Purchase Orders e restante documentação processual é tratada pela área administrativa – fora do controlo do laboratório.

Figura 3.10 Diagrama de Causa-Efeito das possíveis causas para o não alcançar consistente do objetivo diário. A caixa azul é a apontada pela equipa como a mais provável.

As caixas com o fundo cinza foram aquelas que a equipa identificou como sendo as mais relevantes, com as interrupções generalizadas a encontrarem-se no topo da lista. Decidiu-se, também com base no conhecimento histórico da atividade, verificar se esta seria efetivamente uma causa-raiz.

Para o efeito, estabeleceu-se um plano de recolha de dados e definiu-se operacionalmente o efeito previsto: qualquer estímulo externo, independente da fonte ou da natureza, que faça o operador parar a tarefa de calibração, é uma «interrupção». Foram recolhidas 32 amostras no dia 10 de agosto de 2017, cujos resultados se apresentam na **Figura 3.11** e **Figura 3.12**. Teria sido desejável e foi admitida a hipótese de se recolherem mais amostras, mas, infelizmente, no período disponível o laboratório não dispunha de técnicos suficientes, motivo pelo qual não foi possível aumentar a potência do teste.

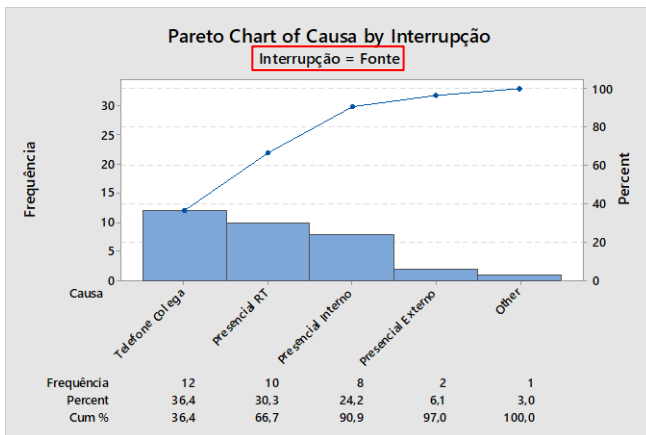


Figura 3.11 Diagrama de Pareto relativo à fonte das interrupções. Salientam-se as duas com maior ocorrência: telefonema de colega e presencialmente pelo Responsável Técnico.

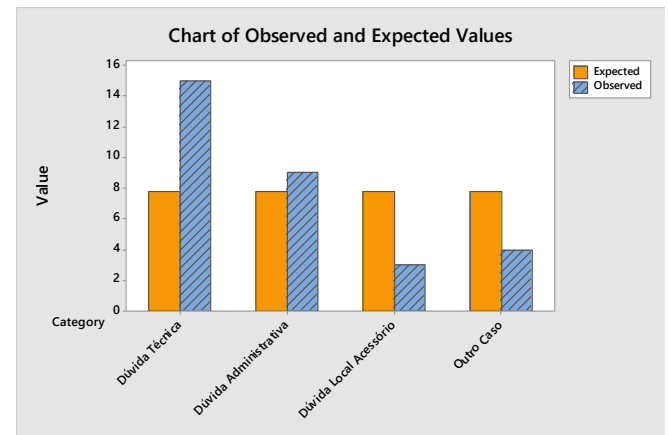


Figura 3.13 Histograma dos valores observados e esperados (teste de chi-quadrado), considerando que cada natureza diferente tem a mesma probabilidade de ocorrer.

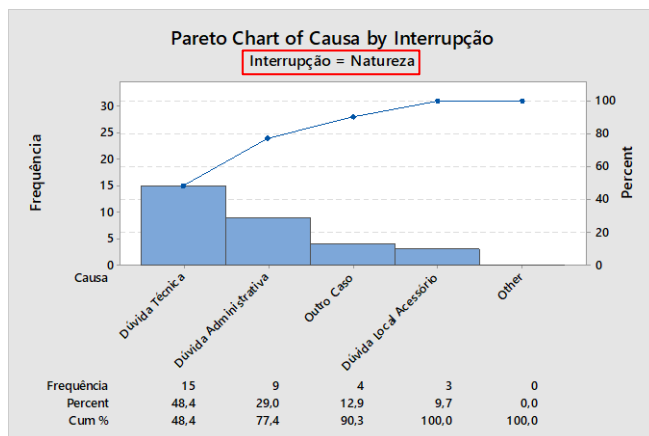


Figura 3.12 Diagrama de Pareto relativo à natureza das interrupções. Salienta-se a «Dúvida Técnica» como sendo a ocorrência predominante.

Face aos resultados obtidos, e focando a atenção para a natureza das interrupções, foi realizado um teste de ajustamento de qui-quadrado de modo a verificar que a «Dúvida Técnica» seria a causa-raiz, cujos resultados se apresentam.

Chi-Square Goodness-of-Fit Test for Observed Counts in Variable: Frequência

Using category names in Causa

Category	Observed	Test Proportion	Expected	Contribution to Chi-Sq
Dívida Técnica	15	0,25	7,75	6,78226
Dívida Administrativa	9	0,25	7,75	0,20161
Dívida Local Acessório	3	0,25	7,75	2,91129
Outro Caso	4	0,25	7,75	1,81452

N	DF	Chi-Sq	P-Value
31	3	11,7097	0,008

Quadro 3.5 Resultado analítico do TH – rejeita-se H_0 (valor- $p = 0,008$) e é confirmado estatisticamente que a «Dúvida Técnica» é a causa-raiz.

Sendo o resultado estatisticamente significativo relativamente à natureza das interrupções, e de modo a entender os motivos que levam à existência de dúvidas técnicas dentro do laboratório, realizou-se em equipa o exercício dos 5-porquês resumido na **Figura 3.14**.

Comprovado o efeito previsto relativo às interrupções pelas causas-raiz devido aos procedimentos técnicos serem demasiados teóricos e estarem afastados da prática comum, e da formação não ser adequada [1] e não ser periodicamente validada, seguiu-se para a fase «Improve».

[1] Nota: por falta de formação entende-se que não existiram ou as que foram ministradas não tiveram um impacto no desempenho do laboratório.

Problema: O processo de calibração é sucessivamente interrompido.
(a equipa realizou os 5-porquês, mas o uso do telefone também é crítico!)

1. Porquê?	Porque existem dúvidas técnicas por telefone e presencialmente entre colegas e RT.
2. Porquê?	Porque existem dúvidas relativamente às particularidades técnicas de alguns equipamentos.
3. Porquê?	Porque os procedimentos técnicos (PT) são demasiados teóricos (não apresentam as particularidades e as ações a realizar para os equipamentos mais complexos) e não existiu uma formação eficaz .
4. Porquê?	Porque os PT foram criados com vista à obtenção da acreditação (são muito teóricos e extensos) e embora uma formação inicial seja ministrada, não existe um conteúdo programático pré-estabelecido nem a respetiva verificação da eficácia da formação.
5. Porquê?	Porque os PT atuais são muito extensos e não foram criados documentos alinhados com a prática diária (eventuais SOP) – a formação seria ministrada com base nestes SOP e não apenas teoricamente como acontece com os atuais procedimentos técnicos.

Coluna vertebral dos 5-porquês. Perguntando «porquê» sucessivamente a equipa chegou a uma derivação relativa tanto aos Procedimentos Técnicos como à Formação.

SOP	4. Porquê?	Porque os PT foram criados com vista à obtenção da acreditação e não de acordo com a prática comum.
	5. Porquê?	Porque não foram atualizados com a prática comum e não se criaram SOP para o trabalho do dia-a-dia. <u>Possível solução: manter os Procedimentos Técnicos - a sua revisão implicaria notificar a entidade acreditadora (de evitar devido a custos) – e criar SOP numa folha A4 para os equipamentos mais difíceis.</u>

Formação	4. Porquê?	Porque se pensou que com experiência o trabalho técnico se tornaria simples e não seria necessário uma formação extensiva ou uma avaliação periódica.
	5. Porquê?	Porque os equipamentos eram muito similares entre si e com poucas funções. Os fabricantes tomaram os equipamentos mais complexos e a sua tipologia também foi alterada. <u>Possível solução: Criar planos de formação com base nas SOP e periodicamente avaliar tanto a qualidade e adequabilidade do SOP como da execução do trabalho.</u>

SOP – Standard Operating Procedure

Figura 3.14 Resultado dos 5-porquês – são estas as causas-raiz para as dúvidas técnicas. Observa-se que a) os procedimentos técnicos não são usados e b) existe falta de formação adequada e posterior avaliação periódica da mesma. Para ambas as causas são apresentadas as possíveis soluções que foram discutidas em reunião de equipa.

3.4 Improve

Considerando que as «Dúvidas Técnicas» são o principal motivo das interrupções, determinou-se que a solução mais imediata, e que foi aceite de modo geral pela equipa, seria a criação de *Standard Operating Procedures (SOP)* para os equipamentos que suscitasse mais dúvidas na calibração – não foram consideradas outras soluções, e, portanto, não existiu necessidade de uma priorização das mesmas, dado que esta seria a que claramente traria, sem custos, maior benefício a curto-médio prazo. Relativamente ao plano de formação e respetivas ações, estas seriam definidas após o sucesso do teste-piloto e o término do projeto. Foram encontrados e registados três riscos no respetivo plano de risco (resumo):

1. Por falta de experiência o *SOP* pode ficar demasiado complexo e deixar de ser usado.
2. Os *SOP* deverão ser documentos vivos, simples e convidativos a uma melhoria contínua sob pena de se tornarem obsoletos e descredibilizados.
3. Se os *SOP* não forem usados não será possível criar um Plano de Formação adequado.

Como na fase «Define» estabeleceu-se como cliente-chave o Cliente A, inicialmente considerou-se criar um *SOP* para o frequencímetro Keysight 53131A, por este ser um dos

equipamentos mais calibrados deste cliente e onde o número de técnicos aptos a efetuar a calibração é reduzido. No entanto, em reunião de equipa e para existir um consenso alargado entre todos os membros, estabeleceu-se que um dos equipamentos mais críticos seriam os equipamentos de deteção de falhas por ultrassons (NDT), e que por esse motivo este tipo de equipamento deveria ser alvo do primeiro *SOP*. Esta decisão, ainda que não diretamente relacionada com o cliente da fase «Define» pareceu-nos correta, dentro de um consenso de vontades mais alargado, pois se for possível aumentar a capacidade de resposta dos técnicos para este tipo de equipamento, colateralmente todo o desempenho do laboratório irá aumentar.

O teste-piloto iniciou-se no dia 5 de setembro de 2017, com a primeira calibração de um equipamento de NDT a ser realizada por um técnico (novo) que esteve em formação.

Como a entrada destes equipamentos em laboratório depende dos projetos internacionais destes clientes, e não se sabe *a priori* quantos irão entrar, existiu um risco adicional não previsto de não existirem amostras suficientes que confirmassem estatisticamente o sucesso (ou insucesso) do teste-piloto. Devido a este fato, e de modo a enriquecer os resultados apresentados neste artigo científico, decidiu-se não eliminar a Baseline anteriormente apresentada – por ser

importante para verificar o desempenho global do laboratório – e calculou-se uma nova considerando apenas estes equipamentos, relativamente ao tempo de calibração.

Com essa Baseline definida, realizou-se um TH do tipo 2-sample *t* de modo a comprovar se o teste-piloto teve um impacto estatisticamente significativo relativamente ao tempo de calibração. Os resultados sum rios apresentam-se na **Figura 3.15**.

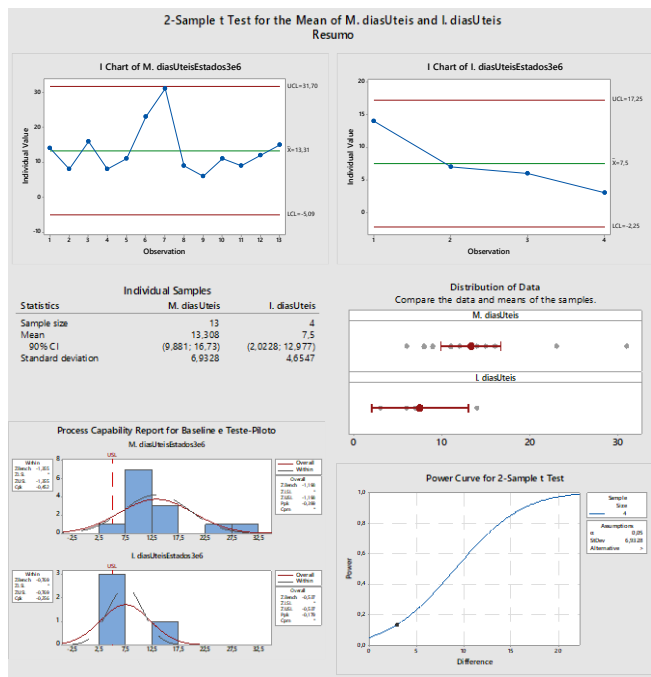


Figura 3.15 Resumo dos resultados do teste-piloto relativamente a uma Baseline que contempla apenas os equipamentos de ultrassons. Os níveis sigma, considerando USL = 5, antes e após o teste-piloto são, respetivamente, -0,452 e -0,256.

Do ponto de vista do negócio, para este tipo específico de equipamentos, considerou-se significativa uma redução em 3 dias úteis, sendo que para $\delta = 3$ a potência do TH conseguida com este número de amostras foi de 13,6%.

Relativamente ao impacto financeiro, como são calibrados atualmente cerca de 50 equipamentos de ultrassons por ano com o valor médio de 300,00 EUR cada, e como existiu uma redução no tempo de calibração em cerca de 44%, significa que o laboratório conseguirá faturar $300,00 \text{ EUR} \times 50 = 15.000 \text{ EUR}$ em quase metade do tempo, libertando simultaneamente recursos humanos e materiais para a calibração de equipamentos de outros clientes – inclusive do cliente primário do *Project Charter*.

Face aos resultados alcançados com a implementação dos *SOP* e para manter o projeto dentro dos limites temporais pré-

estabelecidos, apresentaram-se os resultados do projeto   equipa e decidiu-se avançar para a fase «Control».

3.5 Control

Depois de apresentado os resultados da fase «Improve»   equipa, definiu-se a matriz RACI e os respetivos Planos de Controlo, de modo garantir que a solução encontrada e implementada para os ultrassons seria permanente e se manteria atualizada. Na RACI também ficou estabelecido que seriam desenvolvidos *SOP* para os outros tipos de equipamentos, assim como seria criado um Plano de Formação, com o objetivo de perseguir os objetivos estabelecidos inicialmente na fase «Measure», i.e., reduzir o número de dias seguidos de permanência dos equipamentos (considerando todos) entregues para calibração no Laboratório Elétrico & Radiof req ncia.

Nesta fase foi efetuado um balanço global do projeto e salientam-se duas lições que foram objeto de reflexão:

1. Com um compromisso efetivo de toda a organização, passando pelo *Champion*, Responsáveis de Depto., RT e Técnicos de Laboratório, teria sido possível estabelecer objetivos mais ambiciosos que tivessem um maior impacto no desempenho de toda a Direção.
2. As fases do DMAIC, conforme calendarizadas no *Project Charter*, sofreram alterações durante o projeto devido a imprevistos técnicos e de decisão operacional, pelo que com uma margem de segurança temporal maior teria sido possível aprofundar e envolver com muito maior intensidade todos os membros de equipa, resultando num maior nível de disseminação e compreensão da estratégia de negócio *Lean Six Sigma*.

Para além da apresentação dos resultados em contexto de reunião de equipa, estabeleceu-se que o principal Plano de Comunicação, nomeadamente para outras equipas operacionais e de suporte na DL, teria por base este próprio artigo científico, cujo o conteúdo apresenta todo o caminho percorrido para o alcançar dos resultados, assim como as dificuldades que foram encontradas e ultrapassadas e os respetivos ganhos obtidos.

4 Resultados

O primeiro resultado foi obtido na fase «Define» (pág. 1) aquando o desenho do Diagrama SIPOC e o respetivo Mapa do Processo (pág. 5). Estes diagramas criaram visibilidade e permitiram clareza de pensamento durante o decorrer do projeto.

Na fase «Measure» foram estabelecidos 4 circuitos que permitiram obter a Baseline das *CTQ1* e *CTQ2*:

- *CTQ1* com nível sigma: 0,17 (taxa de defeitos: 43,1%)
- *CTQ2* com nível sigma: 1,15 (taxa de defeitos: 12,6%)

Ainda nesta fase efetuou-se uma análise relativa   eficiência de um dos padrões mais usados no labor rio (série FLUKE 55AAA), obtendo-se um OEE de 20%.

Durante a fase «Analyse», foram realizados vários testes de hipóteses com o objetivo de explorar os fatores que potencialmente afetariam o valor médio e a variabilidade no tempo de calibração. Excluíram-se fatores como «Cliente» ou «Tipo de Equipamento» e descobriu-se que as interrupções durante o processo de calibração por dúvidas técnicas é a causa-raiz.

Na fase «Improve» chegou-se a uma solução e a um compromisso na equipa: para reduzir as interrupções são criados *SOP* para um tipo específico de equipamento – os ultrassons. Embora estes tipos de equipamentos não estejam diretamente relacionados com o cliente primário do *Project Charter*, são aqueles que a equipa acreditou trazerem maiores ganhos no desempenho global. Por esse motivo os resultados do teste-piloto tiveram de ser comparados com uma nova Baseline que considerasse apenas este tipo de equipamentos, donde se conclui que:

- Baseline = 13,3 dias úteis, teste-piloto: 7,5 dias úteis.
- Com valor- $p = 0,048$ rejeita-se H_0 – comprova-se que através da criação de *SOP* existiu uma redução estatisticamente significativa no tempo de calibração.
- Nível sigma antes de -0,452 e após de -0,256.
- A potência do TH situou-se nos 13,6%.

Com base nos resultados obtidos na fase «Analyse», decidiu-se criar na fase «Control» uma matriz RACI e os respetivos Planos de Controlo, estabelecendo-se que, nos próximos meses, o desempenho do labor rio após teste-piloto iria ser monitorizado de perto através das cartas de controlo usadas na Baseline.

Estabeleceu-se ainda que irão ser criados novos *SOP* assim como um Plano de Formação que d  continuidade ao objetivo de reduzir as interrupções por dúvidas técnicas.

O projeto prolongou-se em um mês relativamente ao previsto no *Project Charter* – no entanto foi possível obter uma melhoria estatisticamente significativa no desempenho do labor rio, com um impacto financeiro direto.

5 Conclusões

Conclui-se que, apesar de não existir uma cultura *Lean Six Sigma* na organização e de ser generalizado o desconhecimento da metodologia DMAIC e das suas respetivas ferramentas, foi possível obter uma redução efetiva no número de dias de imobilização dos equipamentos em labor rio, passando de 13,3 para 7,5 dias para um tipo específico de equipamentos – os ultrassons – provando-se que a DMAIC é uma metodologia extremamente poderosa para se alcançar resultados reais. Este valor não está diretamente relacionado com a Baseline das *CTQ* originais, mas ainda assim demonstrou ser uma melhoria em 44% relativamente ao desempenho inicial para este tipo de equipamentos, possibilitando faturar 15.000 EUR em metade do tempo e libertando recursos humanos e técnicos para os restantes serviços.

A falta de visibilidade e entendimento da prática comum dos processos, a falta de conhecimento e discordância relativamente aos Procedimentos Técnicos, dos documentos do Sistema de Gestão e a elevada imprevisibilidade dos processos por ausência de *SOP* e respetiva formação técnica, são geradores de dúvidas, interrupções e desentendimentos. Comprova-se que estes são, em última instância, a origem do descontentamento do cliente final e das suas reclamações, comprometendo, a prazo, o desempenho interno e a competitividade do(s) labor rio(s) face   concorrência.

  expectativa do líder do projeto que este seja um de muitos projetos baseado na *Lean Six Sigma* e que a organização possa considerar adotar uma estratégia de negócio orientada para os resultados financeiros que tenham por base o método científico – acreditamos ser esse o fator determinante para um sucesso sustentável.

6 Referências

Castro, R. – *Lean Six Sigma Para Qualquer Negócio*. 2.  ed. Lisboa, Portugal: IST Press, 2012. ISBN 9789898481214

Pedrosa, A. e Gama, S. – *Introdução Computacional   Probabilidade e Estatística*. 3.  ed. Porto, Portugal: Porto Editora, 2016. ISBN 9789720060563