

MARIANA BELLE GRANJA RODRIGUES

**Utilização da ferramenta Seis Sigma e metodologia DMAIC na redução do
índice de gás na linha de usinagem do cliente**

São Paulo
(2015)

MARIANA BELLE GRANJA RODRIGUES

**Utilização da ferramenta Seis Sigma e metodologia DMAIC na redução do
índice de gás na linha de usinagem do cliente**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista em
Gestão e Engenharia da Qualidade –
MBA/USP

São Paulo
(2015)

MARIANA BELLE GRANJA RODRIGUES

Utilização da ferramenta Seis Sigma e metodologia DMAIC na redução do índice de gás na linha de usinagem do cliente

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista em
Gestão e Engenharia da Qualidade –
MBA/USP

Área de Concentração:
Engenharia da Qualidade

Orientador:
Prof. Dr. Adherbal Caminada Netto

São Paulo
(2015)

RESUMO

O presente trabalho tem como principal objetivo abordar a utilização da filosofia Seis Sigma e metodologia DMAIC na redução do índice do defeito gás na linha de usinagem do cliente, como estudo de caso vivenciado por uma multinacional do ramo metalúrgico dedicada ao processo de fundição, tendo como carro chefe a produção de blocos e cabeçotes de motor. Durante o ano de 2014, a incidência do defeito gás encontrava-se em níveis considerados altos causando diversos problemas de qualidade envolvendo altos custos de inspeção e retrabalho para a organização, além de prejudicar o relacionamento político e comercial entre a organização e o cliente. Através das ferramentas Seis Sigma e metodologia DMAIC foi possível estabelecer métricas para definir e mapear o defeito corretamente, estudar o processo identificando as principais variáveis que contribuem para sua ocorrência, desenvolver o planejamento completo para identificar e validar as causas fundamentais para a origem dos gases utilizando ferramentas estatísticas, propor e implementar soluções para estas variáveis conhecidas como causas reais e por fim padronizar as ações implementadas, bem como criar plano preventivo assegurando o alcance a longo prazo das metas estabelecidas no projeto.

Palavras-chave: Seis Sigma. DMAIC. Engenharia da Qualidade. Processo de fundição.

ABSTRACT

This study aims to address the use of Six Sigma philosophy and DMAIC methodology in the reduction of gas occurrence in the customer machining line, as a case experienced by a multinational company from metallurgical segment dedicated to the foundry process, with its core business focused on the production of cylinder blocks and heads. During 2014, the incidence of gas was at levels considered high causing several quality issues, bringing high inspection and rework costs to the organization, and also jeopardizing the political and commercial relationship between the company and the customer. Using Six Sigma tools and DMAIC methodology it was possible to establish metrics in order to define and map the defect properly, study the process identifying the main variables that contributes to gas occurrence, develop a complete planning to identify and validate the real causes for the gas using statistical tolls, propose and implement solutions in order to eliminate the real causes and finally, standardize the implemented actions and create preventive plan ensuring the long-term reach of the target set in the project.

Keywords: Six Sigma. DMAIC. Quality Engineering. Foundry process.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Bloco de motor bruto e pintado, produzido pela Fundição em estudo.	14
Figura 2 - Exemplo de modelos inferior e superior utilizado na produção de moldes em areia verde.	16
Figura 3 - Exemplo de caixa de macho inferior utilizada na produção de macho de areia.	16
Figura 4 - Pacotes de machos de areia montados e estocados após sua estufagem.	17
Figura 5 - Modelo de linha de Moldagem horizontal, da Fundição em estudo, utilizada para produção de blocos de motor em ferro fundido.	18
Figura 6 - Produção do molde inferior em areia verde, na linha de moldagem da Fundição em estudo.	18
Figura 7 - Pacote de macho de areia sendo posicionado dentro do molde inferior.	19
Figura 8 - Atrás caixas de moldagem superior e inferior fechadas. Na frente, caixa de moldagem contendo molde inferior com o pacote de macho posicionado.	19
Figura 9 - Forno a indução utilizado para fundir e preparar a carga metálica antes do vazamento do metal líquido.	20
Figura 10 - Vazamento automático do metal líquido no molde de areia verde.	20
Figura 11 - Processo de desmoldagem de bloco de motor.	21
Figura 12 - Blocos de motor na linha de acabamento final, após retirada dos canais de alimentação, rebarba e limpeza concluída.	22
Figura 13 - Bloco de motor sendo inspecionado na linha de inspeção final.	23
Figura 14 - Blocos de motor acabados, controlados e embalados.	23
Figura 15 - Exemplos do defeito bolhas de gás encontradas em blocos de motor geradas pelo processo de fundição.	24
Figura 16 - Curva de distribuição normal ilustrando os limites de conformidade três sigma e seis sigma.	26
Figura 17 - Considerando a distribuição normal com sua média centrada nos limites Seis Sigma, pode-se dizer que apenas 2 partes por bilhão irão falhar em atingir a especificação.	26
Figura 18 - Fluxograma da aplicação do processo DMAIC mostrando suas entradas e saídas na solução de problemas.	30
Figura 19 - Ciclo DMAIC com as cinco fases e suas diversas atividades.	31

Figura 20 - Exemplo de um diagrama SIPOC	32
Figura 21 - Exemplo de Diagram de Pareto.	34
Figura 22 - Exemplo de Histograma.....	34
Figura 23 - Exemplo de mapa de processo com seus parâmetros críticos, controláveis e parâmetros de ruído.	35
Figura 24 - Exemplo de FMEA.	36
Figura 25 - Gráfico de dispersão.....	36
Figura 26 - Exemplo de carta de controle.	36
Figura 27 - Exemplo de Matriz de priorização	37
Figura 28 - Foto do defeito gás em bloco de motor.....	42
Figura 29 - Exemplo da "Planilha de Refugo e Retrabalho", documento oficial utilizado para monitoramento do índice de refugo na linha de usinagem do cliente.	43
Figura 30 - Gráfico da ocorrência mensal e média de gases na linha de usinagem do cliente durante Janeiro a Agosto de 2014.	44
Figura 31 - Pareto das principais posições com ocorrência de gases no Bloco, detectados na linha de usinagem do cliente.....	45
Figura 32 - Gráfico da ocorrência mensal e média de gás nas três principais posições, no período de Janeiro a Agosto de 2014.	46
Figura 33 - Diagrama SIPOC contendo os processos chaves para o desenvolvimento do projeto.	48
Figura 34 - Gráfico contendo o histórico de ocorrência de gases de Janeiro a Agosto de 2014 das três principais regiões com sua meta estabelecida.	49
Figura 35 - Croqui das vistas do Bloco em estudo com as três principais posições, de maior incidência de gases, destacadas.....	50
Figura 36 - Gráfico do comportamento do gás na região da face do cabeçote de Janeiro a Agosto de 2014.	51
Figura 37 - Pareto com o mapeamento das posições de ocorrência de gás na região da face do cabeçote.	51
Figura 38 - Croqui mostrando a região da face do cabeçote indicando as posições de maior incidência de gases nesta área.	52
Figura 39 - Gráfico do comportamento do gás na região do resfriador de óleo de Janeiro a Agosto de 2014.	52
Figura 40 - Pareto com o mapeamento das posições de ocorrência de gás na região do resfriador de óleo.	53

Figura 41 - Croqui mostrando a região do resfriador de óleo indicando as posições de maior incidência de gases nesta área.	53
Figura 42 - Gráfico do comportamento do gás na região da aba do cárter de Janeiro a Agosto de 2014.	54
Figura 43 - Pareto com o mapeamento das posições de ocorrência de gás na região da aba do cárter.	54
Figura 44 - Croqui mostrando a região da aba do cárter indicando as posições de maior incidência de gases nesta área.	55
Figura 45 - Meta específica baseada na média do período de Janeiro a Agosto de 2014, elaborada para a região da face do cabeçote.	56
Figura 46 - Meta específica baseada na média do período de Janeiro a Agosto de 2014, elaborada para a região do resfriador de óleo.	56
Figura 47 - Meta específica baseada na média do período de Janeiro a Agosto de 2014, elaborada para a região da aba do cárter.	57
Figura 48 - Mapa do processo de confecção de machos, moldes e vazamento de ferro, com seus respectivos controles identificados.	59
Figura 49 - Diagrama de afinidades dos processos-chaves e suas possíveis causas para a ocorrência de gases.	60
Figura 50 - Matriz de priorização contendo as 30 causas mais importantes identificadas pela equipe.	62
Figura 51 - Gráfico mostrando a ocorrência de gases na linha de usinagem do cliente de Janeiro de 2014 a Agosto de 2015.	74
Figura 52 - Gráfico mostrando o desempenho do defeito gás de Janeiro a Agosto de 2015 considerando as regiões face do cabeçote, resfriador de óleo, aba do cárter e o total na linha de usinagem do cliente.	75
Figura 53 - Matriz de Priorização completa criada pela equipe na etapa Analisar.	84
Figura 54 - Teste de Normalidade para temperatura de vazamento.	86
Figura 55 - Teste de Normalidade para tempo de vazamento.	86
Figura 56 - Teste de Normalidade para teor de carbono equivalente.	87
Figura 57 - Teste de Normalidade para teor de manganês.	87
Figura 58 - Teste de Normalidade para teor de nitrogênio.	88
Figura 59 - Teste de Normalidade para teor de combustíveis da areia verde.	89
Figura 60 - Teste de Normalidade para teor de finos da areia verde.	89
Figura 61 - Teste de Normalidade para teor de umidade da areia verde.	90

Figura 62 - Teste de Normalidade para módulo de finura da areia verde.	91
Figura 63 - Teste de Normalidade para relação compactabilidade/umidade da areia verde.	91
Figura 64 - Teste de Normalidade para compactabilidade da areia verde.	92
Figura 65 - Teste de Normalidade para resistência dos moldes superiores.....	92
Figura 66 - Teste de Normalidade para quantidade de tinta no molde.....	93
Figura 67 - Teste de hipóteses para temperatura de vazamento.	94
Figura 68 - Teste de hipóteses para tempo de vazamento.	95
Figura 69 - Teste de hipóteses para teor de carbono equivalente.	96
Figura 70 - Teste de hipóteses para teor de manganês.....	97
Figura 71 - Teste de hipóteses para teor de nitrogênio.....	98
Figura 72 - Teste de hipóteses para teor de combustíveis da areia verde.....	99
Figura 73 - Teste de hipóteses para teor de finos da areia verde.	100
Figura 74 - Teste de hipóteses para teor de umidade da areia verde.	101
Figura 75 - Teste de hipóteses para módulo de finura da areia verde.	102
Figura 76 - Teste de hipóteses para relação compactabilidade/umidade da areia verde.	103
Figura 77 - Teste de hipóteses para compactabilidade da areia verde.	104
Figura 78 - Teste de hipóteses para resistência dos moldes superiores.....	105
Figura 79 - Teste de hipóteses para quantidade de tinta no molde.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resumo da definição das metas global e específicas para cada área e o percentual de redução da ocorrência de gases correspondente.....	57
Tabela 2 - Causas priorizadas para serem verificadas, e suas respectivas descrições.....	63
Tabela 3 - Plano para coleta de dados para análise das causas priorizadas.....	64
Tabela 4 - Resumo da verificação das causas priorizadas e suas respectivas classificações.....	67
Tabela 5 - Causas fundamentais identificadas.....	70
Tabela 6 – Soluções propostas para eliminar as causas fundamentais identificadas	71
Tabela 7 - Plano de ação completo desenvolvido a partir das soluções propostas. .	72
Tabela 8 - Tabela com o resumo das metas global e específicas atingidas a partir da etapa Controlar.....	76
Tabela 9 - Resumo dos padrões e controles criados para cada ação implementada.	77
Tabela 10 - Plano de monitoramento das variáveis de processo e meta do projeto.	78
Tabela 11 - Plano preventivo para garantir a eficácia das soluções implementadas, a longo prazo.....	79

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1 O PROCESSO DE FUNDIÇÃO	14
2.1.1 Definição do processo de fundição	14
2.1.2 Etapas do processo de fundição	15
2.1.2.1 Modelação: fabricação de modelos e caixas de machos	15
2.1.2.2 Macharia	16
2.1.2.3 Moldagem	17
2.1.2.4 Fusão	19
2.1.2.5 Desmoldagem	21
2.1.2.6 Rebarbação e limpeza	21
2.1.2.7 Controle pós-fundição	22
2.1.3 Bolhas de gás	23
2.2 SEIS SIGMA	25
2.2.1 O que é Seis Sigma	25
2.2.2 Histórico	27
2.2.3 Seleção do projeto	28
2.2.4 Metodologia e ferramentas Seis Sigma	29
2.2.4.1 O método DMAIC	29
2.2.4.1.1 Etapa D: Definir	31
2.2.4.1.2 Etapa M: Medir	33
2.2.4.1.3 Etapa A: Analisar	34
2.2.4.1.4 Etapa I: Melhorar	37
2.2.4.1.5 Etapa C: Controlar	38
2.2.5 Equipe Seis Sigma	39
2.2.5.1 Líder Executivo	39
2.2.5.2 Campeões	39
2.2.5.3 Master Black Belt (Líderes do Cinturão Preto)	39

2.2.5.4 Black Belt (Cinturão Preto)	40
2.2.5.5 Green Belt (Cinturão Verde)	40
2.2.5.6 White Belt (Cinturão Branco)	40
3 ESTUDO DE CASO	41
3.1 A ORGANIZAÇÃO	41
3.2 ETAPA D: DEFINIR	41
3.2.1 Definição do Problema	41
3.2.2 Indicador de medição e confiabilidade dos dados.....	43
3.2.3 Histórico do problema	43
3.2.4 Equipe	46
3.2.5 Processos envolvidos.....	47
3.3 ETAPA M: MEDIR	49
3.3.1 Meta global.....	49
3.3.2 Método de estratificação	50
3.3.2.1 Face do cabeçote	50
3.3.2.2 Resfriador de óleo	52
3.3.2.3 Aba do Câter	53
3.3.3 Metas específicas.....	55
3.4 ETAPA A: ANALISAR	58
3.4.1 Mapa do processo e diagrama de afinidades.....	58
3.4.2 Matriz de priorização	61
3.4.3 Verificação das causas	64
3.4.3.1 Coleta dos dados.....	64
3.4.3.2 Definição das causas fundamentais	65
3.5 ETAPA I: MELHORAR.....	70
3.6 ETAPA C: CONTROLAR	73
3.6.1 Meta global e metas específicas	73
3.6.2 Padronização das alterações	76
4 CONCLUSÃO.....	80
4.1 CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES DE CADA ETAPA DO PROJETO	81
4.1.1 Etapa D – Definir	81
4.1.2 Etapa M – Medir	81

4.1.3 Etapa A – Analisar.....	81
4.1.4 Etapa M – Melhorar.....	82
4.1.5 Etapa C – Controlar.....	82
5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	83
APÊNDICE A – Matriz de Priorização Completa.....	84
APÊNDICE B – Estudo Estatístico Completo.....	85
B.1 TESTE DE NORMALIDADE.....	85
B.1.1 Temperatura de Vazamento (°C)	86
B.1.2 Tempo de Vazamento (segundos).....	86
B.1.3 Teor de Carbono Equivalente (%).....	87
B.1.4 Teor de Manganês (%)	87
B.1.5 Teor de Nitrogênio (%).....	88
B.1.6 Teor de combustíveis da areia verde (%)	89
B.1.7 Teor de finos da areia verde (%)	89
B.1.8 Teor de umidade da areia verde (%)	90
B.1.9 Módulo de finura da areia a verde (AFS)	91
B.1.10 Relação compactabilidade/umidade da areia verde	91
B.1.11 Compactabilidade da areia verde (%).....	92
B.1.12 Resistência dos moldes superiores (N/cm ²).....	92
B.1.13 Quantidade de tinta no molde (g).....	93
B.2 TESTE DE HIPÓTESES – DUAS AMOSTRAS	93
B.2.1 Temperatura de Vazamento (°C)	94
B.2.2. Tempo de Vazamento (segundos).....	95
B.2.3 Teor de Carbono Equivalente (%).....	96
B.2.4 Teor de Manganês (%)	97
B.2.5 Teor de Nitrogênio (%).....	98
B.2.6 Teor de combustíveis da areia verde (%)	99
B.2.7 Teor de finos da areia verde (%)	100
B.2.8 Teor de umidade da areia verde (%)	101
B.2.9 Módulo de finura da areia a verde (AFS)	102
B.2.10 Relação compactabilidade/umidade da areia verde	103
B.2.11 Compactabilidade da areia verde (%).....	104
B.2.12 Resistência dos moldes superiores (N/cm ²).....	105
B.2.13 Quantidade de tinta no molde (g).....	106

1 INTRODUÇÃO

No presente trabalho será abordada a redução do índice de gás na linha de usinagem do cliente, como estudo de caso na área de Engenharia da Qualidade, atualmente vivenciado por uma multinacional do ramo metalúrgico dedicada ao processo de fundição, tendo como seu carro-chefe a produção de blocos e cabeçotes de motor.

Os índices do defeito em questão encontravam-se em níveis considerados altos desde o ano de 2014. Sua detecção interna é difícil, pois grande parte das peças que possuem gases pode ser retrabalhada e não refugada internamente. Na linha de usinagem do cliente os blocos também podem ser retrabalhados e em muitos casos são refugados, dependendo da área em que os gases se encontram. O descontrole na ocorrência deste defeito ao longo do tempo na linha de usinagem do cliente trouxe diversos problemas de qualidade, envolvendo altos custos de inspeção e retrabalho para a organização. Além disso, os relacionamentos político e comercial entre a Fundição e o cliente também foram afetados quando a organização foi inserida pelo cliente em seu “Programa de Melhoria de Fornecedores”, programa no qual apenas seus fornecedores com índices baixos de qualidade são convidados a participar. Deste cenário surgiu a importante missão de reduzir a incidência do defeito gás na linha de usinagem do cliente a níveis aceitáveis e preestabelecidos.

Sendo assim, a proposta desta monografia é mostrar como a redução do índice de gás na linha de usinagem se desenvolveu utilizando a ferramenta Seis Sigma e metodologia DMAIC para atingir a meta determinada pelo cliente.

Será necessária breve descrição específica sobre o fluxo e o processo de fundição já que se trata de um problema de caráter técnico. Além disso, ferramentas estatísticas como paretos, teste de hipóteses e regressão logística binária também serão abordados e através da metodologia DMAIC será desenvolvido o planejamento completo para identificar e validar as causas

fundamentais para origem do defeito ou aquelas que mais afetam sua ocorrência e através da priorização, ações serão geridas, implementadas e padronizadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O PROCESSO DE FUNDIÇÃO

2.1.1 Definição do processo de fundição

O processo de fundição consiste em vaziar metal líquido dentro da cavidade de um molde que possui o formato e as medidas da peça que se quer produzir. Este processo metalúrgico pode ser considerado um processo inicial, obtendo peças como lingotes, tarugos e placas os quais serão conformados mecanicamente para obtenção de perfis, chapas, laminados e etc. Ou pode ser considerado processo intermediário produzindo peças semiacabadas de diferentes tamanhos, formatos e complexidade dimensional que serão posteriormente usinados (MORO, 2007).

Em particular, na organização estudada a liga metálica a ser produzida é o ferro fundido que, durante o processo de fundição, será vazado em um molde confeccionado em areia verde dando origem ao produto bloco de motor. Produto este fornecido semiacabado – ou chamado de produto bruto – para empresas do seguimento automotivo como montadoras de motores, veículos leves e pesados. O bloco de motor é fornecido bruto pela fundição e sofre processo de usinagem no cliente. A figura 1 ilustra um exemplo de bloco de motor bruto produzido pela Fundição em estudo.

Figura 1 - Bloco de motor bruto e pintado, produzido pela Fundição em estudo.



Fonte: Próprio Autor (2015)

2.1.2 Etapas do processo de fundição

Os processos de fundição são diversos, e uma maneira de classificá-los é a partir do tipo de molde utilizado. Na produção de blocos de motor em ferro fundido aplica-se o processo de fundição em areia verde explanado nas etapas a seguir.

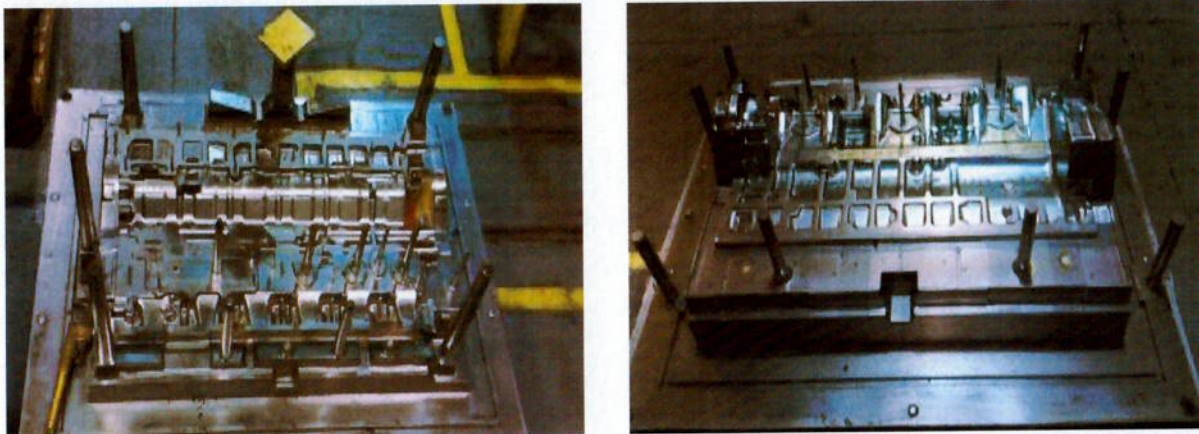
2.1.2.1 Modelação: fabricação de modelos e caixas de machos

A modelação é o setor responsável pela fabricação dos modelos e das caixas de machos, ferramentais utilizados na confecção dos moldes e dos machos de areia, respectivamente. O projeto para confecção destes ferramentais é baseado no modelamento matemático da peça do cliente e deve prever a contração do metal e o sobremetal para posterior usinagem (SOARES, 2000).

Tanto os modelos como as caixas de machos são produzidas em aço altamente ligado e sua vida útil é medida de acordo com o número de moldes produzidos e sopros de machos respectivamente, sendo necessário que sejam trocadas periodicamente (SOARES, 2000).

Em geral o modelo possui o negativo do molde a ser produzido conforme mostrado na figura 2 e as caixas de machos a figura correspondente ao macho da peça em questão, de acordo com a figura 3. Ambas as ferramentas sofrem severo desgaste durante sua vida produtiva e necessitam de manutenção a cada produção realizada para que sua qualidade e durabilidade se mantenham (SOARES, 2000).

Figura 2 - Exemplo de modelos inferior e superior utilizado na produção de moldes em areia verde.



Fonte: Próprio Autor (2015)

Figura 3 - Exemplo de caixa de macho inferior utilizada na produção de macho de areia.



Fonte: Próprio Autor (2015)

2.1.2.2 Macharia

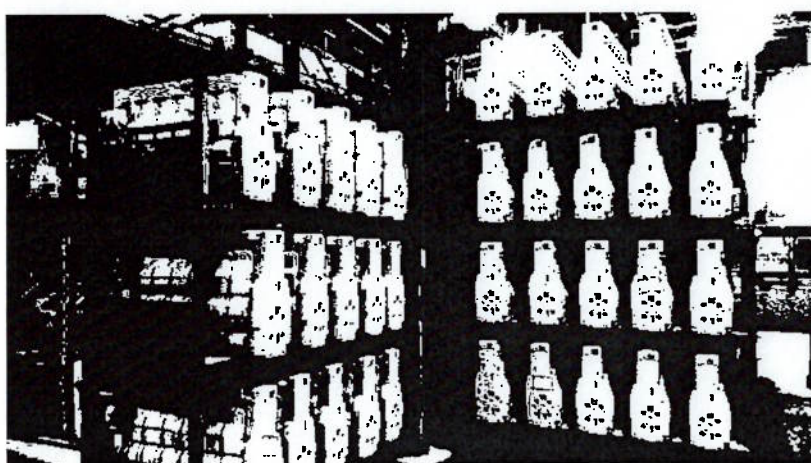
É na área da Macharia que ocorre a confecção dos machos de areia correspondentes a peça a ser produzida. O macho consiste na parte interna do produto, ou seja, tem a finalidade de formar os vazios, furos e reentrâncias do bloco de motor (MORO, 2007).

Os machos são produzidos através de uma mistura de areia com resina de cura a frio, soprada diretamente na caixa de macho, em um processo denominado Caixa Fria. Possuem boa estabilidade dimensional e qualidade

superficial, pois são pintados após sua confecção e montagem por tinta refratária. A figura 4 mostra pacotes de macho de bloco de motor confeccionados, montados e com a tinta já seca após estufagem (SOARES, 2000).

Devem ser cuidadosamente estocados para que não sejam danificados durante o transporte a moldagem, onde serão colocados dentro dos moldes antes que eles se fecham para receber o metal líquido (MORO, 2007).

Figura 4 - Pacotes de machos de areia montados e estocados após sua estufagem.



Fonte: Próprio Autor (2015)

2.1.2.3 Moldagem

A linha de moldagem (figura 5) é responsável pela produção dos moldes em areia verde. O molde, na fabricação de blocos de motor, corresponde à parte externa do produto, conforme visto na figura 6. São preparados compactando a mistura de areia numa caixa sobre o modelo superior ou inferior, desta maneira os moldes são produzidos dentro das caixas de moldagem. Para cada peça produzida, confeccionam-se dois moldes: o molde superior e o molde inferior (MORO, 2007).

Figura 5 - Modelo de linha de Moldagem horizontal, da Fundição em estudo, utilizada para produção de blocos de motor em ferro fundido.



Fonte: Próprio Autor (2015)

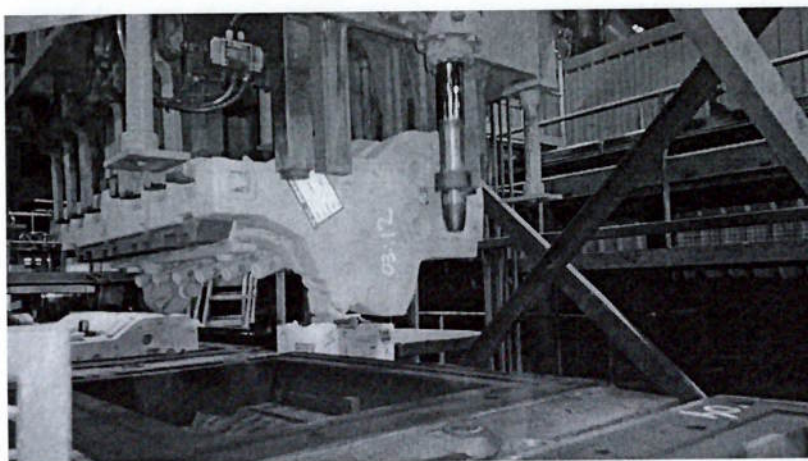
Figura 6 - Produção do molde inferior em areia verde, na linha de moldagem da Fundição em estudo.



Fonte: Próprio Autor (2015)

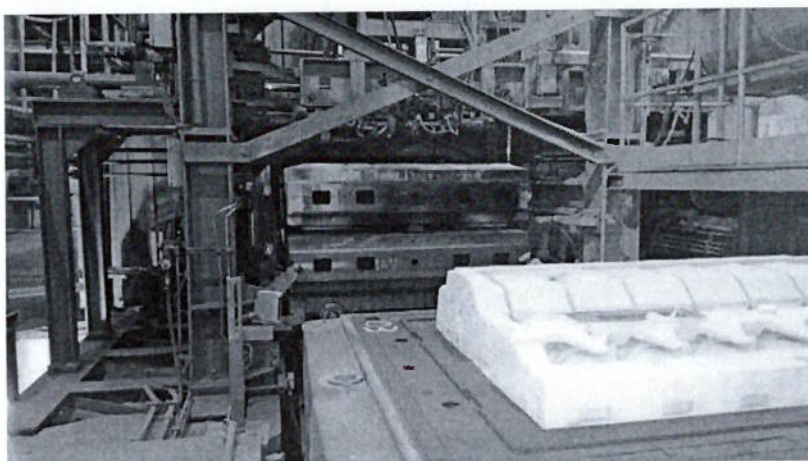
No molde superior é onde se encontra todo o sistema de alimentação e canais de descida para o metal líquido preencher as cavidades, ou seja, é por onde o metal será vazado. No molde inferior o macho será posicionado com o auxílio de dispositivos de assentamento, conforme mostrado na figura 7, e então percorrerá a linha de moldagem até que as caixas de moldagem, superior e inferior, sejam fechadas (figura 8) seguindo para o vazamento de metal líquido (MORO, 2007).

Figura 7 - Pacote de macho de areia sendo posicionado dentro do molde inferior.



Fonte: Próprio Autor (2015)

Figura 8 - Atrás caixas de moldagem superior e inferior fechadas. Na frente, caixa de moldagem contendo molde inferior com o pacote de macho posicionado.



Fonte: Próprio Autor (2015)

2.1.2.4 Fusão

A fusão é dividida em duas etapas basicamente: preparação da carga metálica e vazamento do metal líquido. Para a produção de blocos de motores pesados o material utilizado normalmente é o ferro fundido.

Na fase de preparação da carga metálica todo material necessário para a produção da liga metálica (sucata, ferro gusa, elementos de liga e etc), é adicionado ao forno fusor, como é denominado, para que sejam fundidos. Nesta etapa composição química e temperatura devem ser controladas. Na

figura 9 é possível ver os fornos a indução, utilizados na fundição para preparação da carga metálica (SOARES, 2000).

Figura 9 - Forno a indução utilizado para fundir e preparar a carga metálica antes do vazamento do metal líquido.



Fonte: Próprio Autor (2015)

Após a preparação da liga metálica, este metal é transferido, através de placas refratárias, para um forno de vazamento. Neste forno controla-se novamente a composição química e a temperatura. Caso os parâmetros citados estejam dentro das faixas especificadas o metal é liberado para ser vazado dentro molde, conforme ilustrado na figura 10. Este vazamento ocorre automaticamente, pois o tempo de vazamento deve ser cuidadosamente controlado para não causar defeitos na peça a ser concebida (MORO, 2007).

Figura 10 - Vazamento automático do metal líquido no molde de areia verde.



Fonte: Próprio Autor (2015)

2.1.2.5 Desmoldagem

Após a solidificação do metal dentro do molde ocorre a desmoldagem da peça já concebida, ou seja, a peça é retirada de dentro do molde com o auxílio de um manipulador, conforme figura 11. É possível notar que quando a peça é retirada de dentro do molde está suja, com muita areia e com seu sistema de alimentação e canais presos ao produto (MORO, 2007).

Figura 11 - Processo de desmoldagem de bloco de motor.



Fonte: Próprio Autor (2015)

2.1.2.6 Rebarbação e limpeza

Nesta etapa final os canais e todo o sistema de alimentação das peças são retirados, bem como a rebarba que fica na peça bruta. Além disso, os blocos passam também pela limpeza com granalha de aço através de um processo chamado jateamento, com o objetivo de remover toda a areia incrustada internamente e externamente no produto (MORO, 2007).

A figura 12 apresenta blocos de motor após rebarbação e limpeza, na linha de acabamento final da Fundição em estudo.

Figura 12 - Blocos de motor na linha de acabamento final, após retirada dos canais de alimentação, rebarba e limpeza concluída.



Fonte: Próprio Autor (2015)

2.1.2.7 Controle pós-fundição

Finalmente, nesta fase as peças entram na linha de inspeção final, completamente rebarbadas e sem areia incrustada, para detecção de defeitos de fundição e acabamento, conforme ilustrado na figura 13. Após a etapa de inspeção seguem para o controle de propriedades mecânica, metalúrgicas e dimensionais. A figura 14 mostra os blocos acabados, controlados e embalados, prontos para serem enviados ao cliente (MORO, 2007).

Figura 13 - Bloco de motor sendo inspecionado na linha de inspeção final.



Fonte: Próprio Autor (2015)

Figura 14 - Blocos de motor acabados, controlados e embalados.



Fonte: Próprio Autor (2015)

2.1.3 Bolhas de gás

Basicamente o defeito gás consiste em bolhas aprisionadas dentro da peça, ou seja, gases gerados durante o processo de fundição que não conseguiram sair da peça durante a sua solidificação.

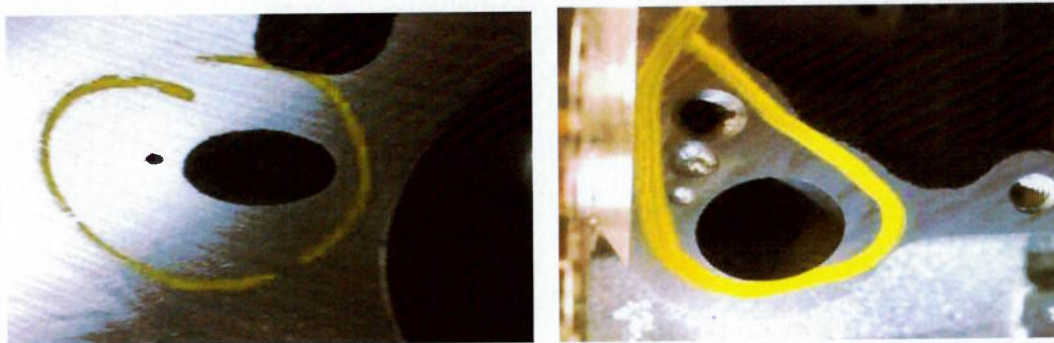
De acordo com Garcia (2007), quando um metal ou uma liga contendo gases (oxigênio, nitrogênio ou hidrogênio) em solução solidifica, o

gás é rejeitado na interface sólido/líquido. Se estes gases se encontram em condições de supersaturação no sistema, consequentemente sua quantidade em solução será reduzida a fim de manter o equilíbrio. Além desta causa, Garcia (2007) também aponta outras causas para formação de bolhas, como:

- Aprisionamento de ar formado pela turbulência do metal líquido durante o vazamento no molde;
- Geração de gás através da reação metal líquido/molde;
- Reações químicas que ocorrem no metal líquido durante a solidificação gerando gases;

A figura 15 ilustra exemplos de bolhas de gás encontradas em peças produzidas através do processo de fundição em areia verde.

Figura 15 - Exemplos do defeito bolhas de gás encontradas em blocos de motor geradas pelo processo de fundição.



Fonte: Próprio Autor (2015)

2.2 SEIS SIGMA

2.2.1 O que é Seis Sigma

Em Werkema (2004, p.15) o Seis Sigma é abordado como:

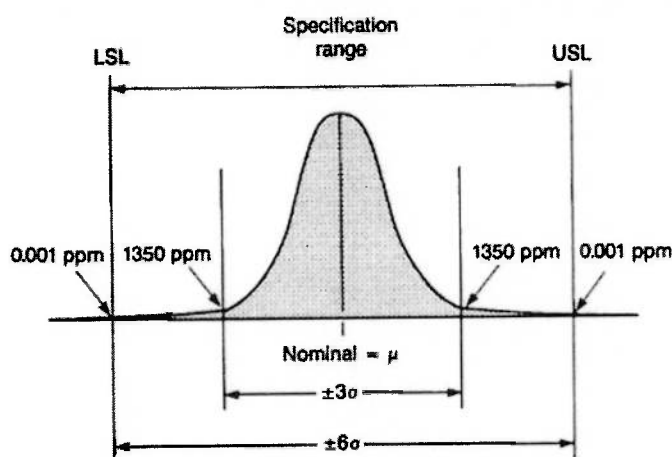
“uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar drasticamente a lucratividade das empresas por meio da melhoria da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação de clientes e consumidores”.

Pode ser entendido também, como uma filosofia que se concentra no cliente e no produto, tendo como objetivo o alcance da excelência na competitividade pela melhoria contínua dos processos (ROTONDARO, 2014).

Observando de uma óptica estatística, o sigma (σ) é uma letra grega utilizada para representar o desvio padrão de uma distribuição. Este parâmetro quantifica a quantidade de variabilidade existente em um processo, resposta ou característica. Se o valor de sigma é alto, então a variabilidade da característica estudada é alta. Se o valor de sigma é baixo, essa mesma característica é considerada uniforme (PEREZ-WILSON, 2000).

Portanto, quando é falado em Seis Sigma, significa que o objetivo é obter um processo capaz o suficiente para que a frequência de ocorrência de falhas ou peças defeituosas produzidas esteja dentro de uma taxa de 3,4 falhas por milhão ou 99,99966% de perfeição, conforme mostrado na figura 16 (ROTONDARO, 2014).

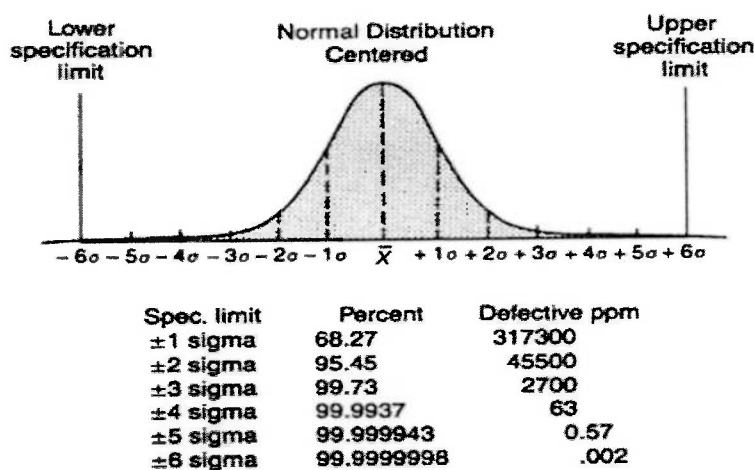
Figura 16 - Curva de distribuição normal ilustrando os limites de conformidade três sigma e seis sigma.



Fonte: FORREST (2003, p. 13)

A figura 17 faz um comparativo entre a quantidade de peças fora da especificação em partes por milhão (ppm) considerando o comportamento das amostras como uma distribuição normal com sua média centrada entre os limites inferior e superior de especificação.

Figura 17 - Considerando a distribuição normal com sua média centrada nos limites Seis Sigma, pode-se dizer que apenas 2 partes por bilhão irão falhar em atingir a especificação.



Fonte: FORREST (2003, p. 13)

O Seis Sigma não deve ser considerado pela organização apenas um programa de qualidade a ser desenvolvido somente pelo departamento de Qualidade. Mas sim como uma metodologia que pode e deve ser aplicada em todas as áreas da organização (FORREST, 2003).

Segundo Perez-Wilson (2000) o Seis Sigma de uma forma geral pode significar muitas coisas e pode ser utilizado de diversas maneiras pelas organizações:

- Benchmark – É utilizado como parâmetro para comparar nível de qualidade de produtos, operações e processos.
- Meta – O objetivo do Seis Sigma é chegar muito próximo a zero defeito (3,4 partes ou peças defeituosas por milhão).
- Medida – É usado para medir o nível de qualidade do processo. Quanto maior o número de sigmas dentro das especificações, maior o nível de qualidade.
- Filosofia – Emprega a filosofia da melhoria contínua do processo e redução da sua variabilidade buscando sempre o zero defeito.
- Estatística – É uma estatística calculada para avaliar o desempenho da característica em relação a sua especificação.
- Estratégia – Se baseia na relação entre projeto, fabricação, qualidade final e entrega de um produto e a satisfação do cliente.
- Visão – O Seis sigma visa levar a empresa a ser a melhor em seu ramo.

2.2.2 Histórico

O Seis Sigma nasceu na Motorola em 15 de Janeiro de 1987, quando seu Diretor Executivo Bob Galvin lançou um programa de qualidade chamado “Programa de Qualidade Seis Sigmas”, com objetivo de alcançar a satisfação total de seus clientes através de melhores produtos e serviços a um custo mais baixo, tendo como meta zero defeito. Esta meta deveria ser alcançada através de melhoria contínua do processo, isto é, os produtos e processos deveriam ser projetados para serem Seis Sigma, com reduzida variabilidade, melhoria de qualidade, maior produtividade e eficiência na operação do processo e confecção do produto (PEREZ-WILSON, 2000).

Em 1988, depois que a Motorola recebeu o Prêmio Nacional de Qualidade Malcolm Baldrige, o Seis Sigma passou a ser considerado o principal fator responsável pelo sucesso alcançado pela organização que

obteve ganhos próximos a 2,2 bilhões de dólares com o programa no final da década de 80 (WERKEMA, 2004).

Com o sucesso da Motorola, outras empresas também passaram a utilizar o Seis Sigma:

- A AlliedSignal desde a implementação do programa em 1994 até Maio de 1998 obteve ganhos de 1,2 bilhões de dólares e em 1998, um crescimento de 12% (ROTONDARO, 2014).
- A General Eletric que iniciou a implementação do Seis Sigma no ano de 1996 investindo em torno de 200 milhões de dólares em treinamentos e em 1997 mais 250 milhões de dólares, obteve neste mesmo ano de 1997 um retorno de 300 milhões de dólares. E assim foi ao longo dos anos chegando, a um ganho de 1,5 bilhões de dólares em 1999 (WERKEMA, 2004).
- Somente em uma planta da Asea Brown Boveri (ABB) tem sido gerada uma economia anual de 770 mil dólares com o Seis Sigma, de acordo com Rotondaro (2014). E Segundo Werkema (2004), houve uma diminuição de 87 milhões de dólares no custo de material comprado quando o Programa Seis Sigma foi estendido aos seus fornecedores.

2.2.3 Seleção do projeto

A seleção do projeto consiste em uma das etapas mais importantes de um projeto Seis Sigma. Projetos bem selecionados garantem resultados significativos contribuindo para o sucesso da organização. Já projetos mal definidos contribuem diretamente para a ausência ou atraso de resultados (WERKEMA, 2004).

Para Rotondaro (2014, p. 24):

“É fundamental que haja uma relação clara com o requisito especificado do cliente e que o projeto seja economicamente vantajoso”.

No geral, um bom projeto Seis Sigma deve apresentar algumas características como o alinhamento com as metas estratégicas da empresa, contribuir para o aumento da satisfação do cliente, ter um prazo de conclusão viável para ser atendido, impacto considerável na performance da organização, empregar métricas apropriadas para uma quantificação precisa dos resultados e apoio da alta administração e gestão da organização (WERKEMA, 2004).

2.2.4 Metodologia e ferramentas Seis Sigma

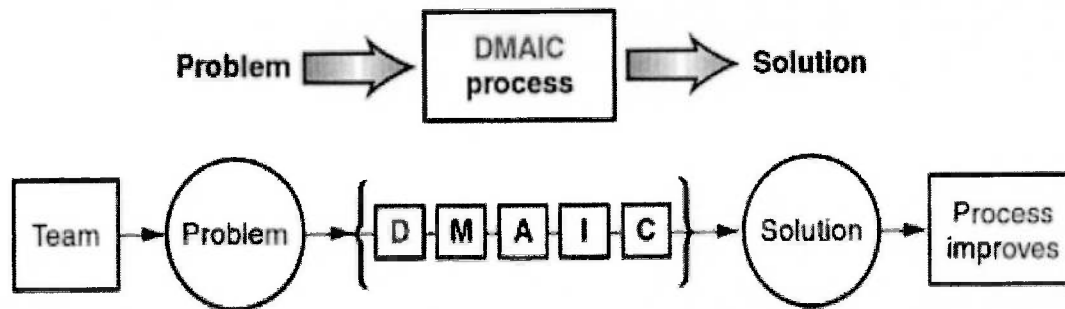
A metodologia Seis Sigma está focada na identificação e definição do problema, levantamento e estratificação dos dados disponíveis com objetivo de conhecer a situação atual do processo, definir as causas potenciais dos problemas e analisá-las, desenvolvimento do plano de ações robusto com melhorias no processo, manutenção e controle destas ações para manter o processo sob controle (ROTONDARO, 2014).

Para auxiliar no desenvolvimento dos projetos o método DMAIC é utilizado.

2.2.4.1 O método DMAIC

Segundo Shankar (2009), a metodologia seis sigma usada para melhorias de processo, consiste em cinco fases principais: Definir-Medir-Analisar-Melhorar-Controlar. O método DMAIC, como é conhecido, utiliza ferramentas e técnicas estruturadas para solucionar problemas identificados pela organização, de forma sustentável. A figura 18 ilustra de forma resumida o fluxo da metodologia seis sigmas tendo como processo ou ferramenta principal o método DMAIC.

Figura 18 - Fluxograma da aplicação do processo DMAIC mostrando suas entradas e saídas na solução de problemas.



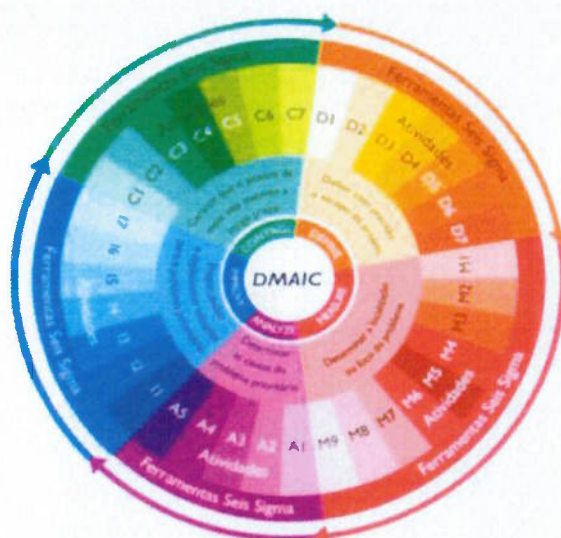
Fonte: SHANKAR (2009, p. 18)

O DMAIC é constituído por cinco fases principais (SCATOLIN, 2005):

- Definir (D): estabelecer dados preliminares do projeto.
- Medir (M): determinar a situação atual do processo.
- Análise (A): definir, analisar e priorizar as causas potenciais.
- Melhorar (I): propor e implementar ações para eliminar as causas.
- Controle (C): garantir o controle do processo a longo prazo.

Integrado ao método DMAIC são aplicadas diversas ferramentas estatísticas com o objetivo de auxiliar a busca e a manutenção do resultado. A figura 19 mostra o ciclo DMAIC completo na forma de um ciclo contínuo em cada uma de suas fases.

Figura 19 - Ciclo DMAIC com as cinco fases e suas diversas atividades.



Fonte: WERKEMA (2004, p. 26)

2.2.4.1.1 Etapa D: Definir

Nesta primeira fase do DMAIC, devem ser definidos claramente o escopo, métricas, metas, tempo e impacto financeiro do projeto (SCATOLIN, 2005).

Werkema (2004) propõe que nesta etapa sejam respondidas as seguintes questões:

- Qual é o problema que será tratado no projeto?
- Qual a meta estabelecida?
- Quais são os clientes afetados pelo problema?
- Quais os processos que estão associados ao problema?
- Qual é o impacto financeiro do projeto?

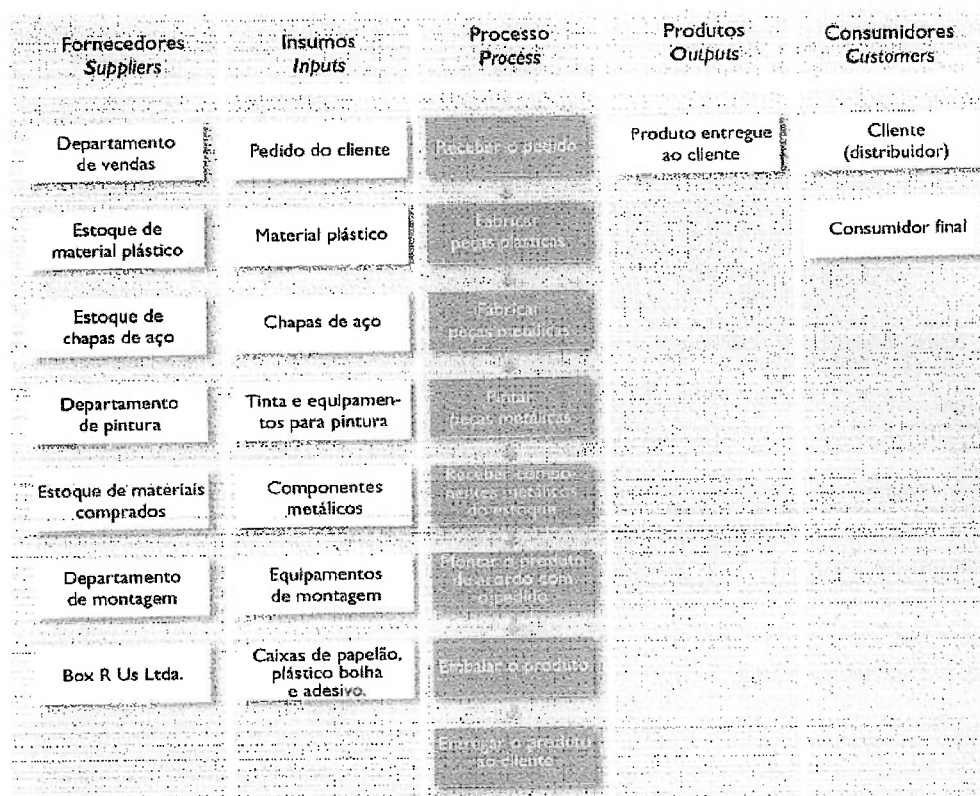
Na fase definir é importante que o problema seja minuciosamente apresentado – definição do problema, onde ocorreu, quando ocorreu, qual o problema observado, impacto econômico e financeiro. Indicadores históricos ajudam o entendimento da equipe responsável pelo desenvolvimento do projeto e facilitam estabelecer a meta. Nesta etapa é interessante criar um cronograma preliminar para as atividades que serão desenvolvidas ao longo do projeto (WERKEMA, 2004).

Algumas ferramentas são introduzidas nesta fase para auxiliar na coleta e organização dos dados. Em Rotondaro (2014) alguns exemplos citados dessas ferramentas são:

- Dados internos da empresa e do cliente (objetivos, metas, dados financeiros e etc.);
- Análise custo-benefício;
- Conhecer e priorizar os processos críticos envolvidos;
- Fluxo macro do processo.

Segundo Werkema (2004), os processos críticos devem ser priorizados através do diagrama SIPOC apresentado na figura 20 p. 83, que define de forma genérica todos os processos envolvidos no projeto facilitando a visualização e padronização do escopo do trabalho. O termo SIPOC deriva das iniciais de cinco elementos presentes no diagrama, em inglês: fornecedores (Supplier), insumos (Inputs), processo (Process), produtos (Outputs) e consumidores (Customers).

Figura 20 - Exemplo de um diagrama SIPOC



Fonte: WERKEMA (2004, p. 83)

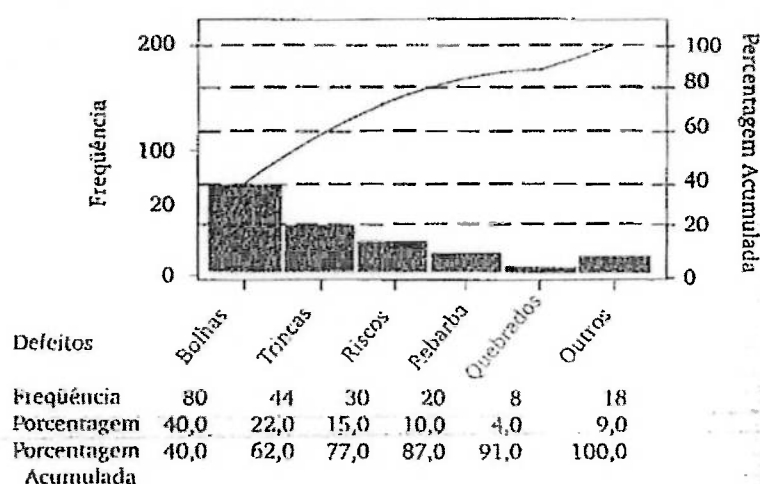
2.2.4.1.2 Etapa M: Medir

Nesta etapa do ciclo DMAIC o processo em estudo deve ser desenhado e suas variáveis principais medidas, a fim de refinar e focalizar o problema. Na fase medir, portanto o principal objetivo é entender quais resultados devem ser medidos para obtenção de dados que ajudem a entender o problema e quais são os principais focos indicados pela análise dos dados gerados. Para que se obtenha sucesso nesta fase é importante que (WERKEMA, 2004):

- A equipe decida entre coletar novos dados ou usar os dados já existentes na empresa.
- Seja identificada a forma de estratificação para o problema.
- A equipe deve planejar a coleta dos dados e testar o sistema de medição escolhido.
- Coletar os dados
- Analisar as várias partes do problema identificando os principais problemas.
- Estudar as variações dos principais problemas.
- Estabelecer meta para cada um dos principais problemas.

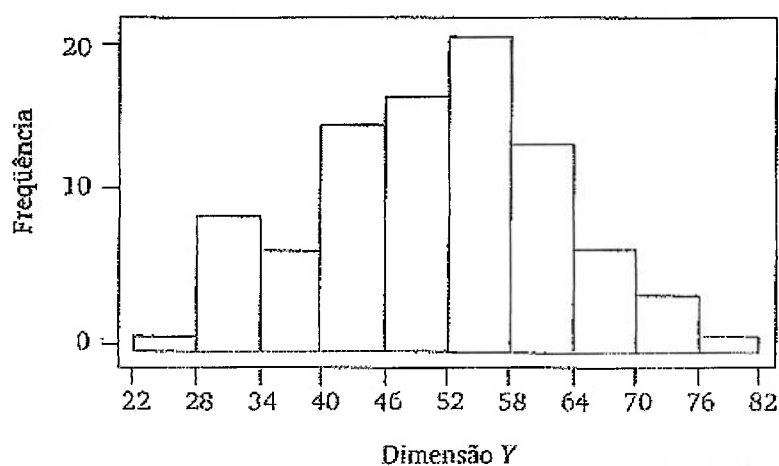
Nesta fase as variáveis-chaves de entrada e saída de processo devem ser identificadas pela equipe e ferramentas estatísticas para auxiliar na coleta, organização e análise dos dados são utilizadas, como estratificação, diagrama de pareto (figura 21), histogramas (figura 22), bloxplot, índice de capacidade, carta de controle e etc (MATOS, 2003).

Figura 21 - Exemplo de Diagram de Pareto.



Fonte: ROTONDARO (2014, p. 136)

Figura 22 - Exemplo de Histograma.



Fonte: ROTONDARO (2014, p. 146)

2.2.4.1.3 Etapa A: Analisar

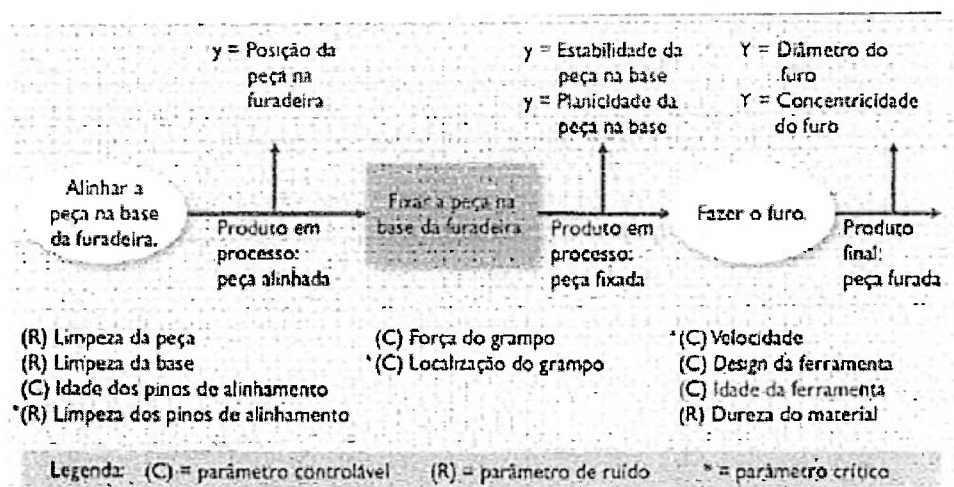
Na terceira etapa do método DMAIC é realizada a análise dos dados estratificados utilizando ferramentas da qualidade e ferramentas estatísticas (ROTONDARO, 2014).

Nesta fase serão determinadas as causas potenciais do problema estudado, ou seja, as variáveis de processo que influenciam significativamente identificando também as variáveis de ruído (MATOS, 2003).

De acordo com Werkema (2004), para identificar as causas fundamentais é necessário realizar dois tipos de análises:

- Primeiramente deve ser analisado o processo gerador do problema para que haja um melhor entendimento do fluxo. Ferramentas como fluxograma, mapa de processo e de produto e FMEA são amplamente utilizadas nesta análise. Nas figuras 23 e 24 são mostrados exemplos de mapa de processo e FMEA, respectivamente.
- No próximo passo, os dados coletados na fase Medir, referentes ao problema e ao seu processo gerador, devem ser analisados. Nesta análise o objetivo maior é descobrir quais variáveis mais influenciam no problema para que as possíveis causas possam ser identificadas. As ferramentas mais utilizadas nesta análise são avaliação de sistemas de medição e inspeção, histograma, boxplot, estratificação, diagrama de dispersão (figura 25) e cartas de controle (figura 26).

Figura 23 - Exemplo de mapa de processo com seus parâmetros críticos, controláveis e parâmetros de ruído.



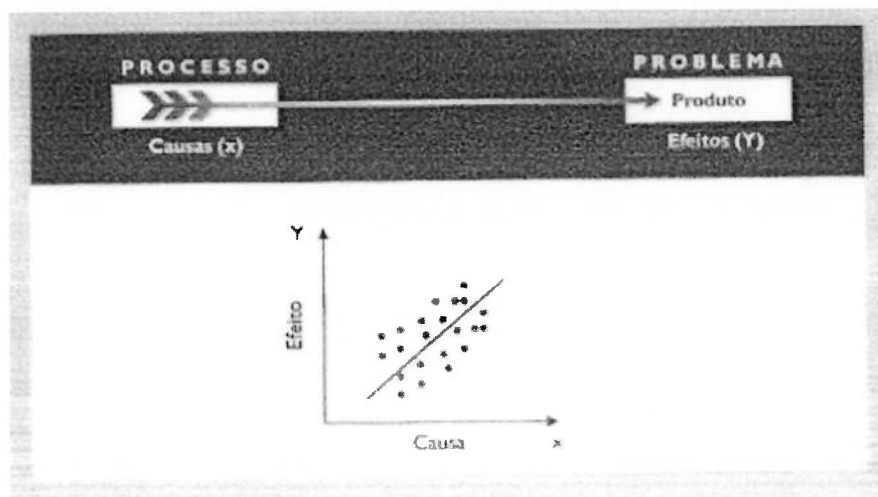
Fonte: WERKEMA (2004, p. 188)

Figura 24 - Exemplo de FMEA.

FMEA						☐ Produto ☒ Processo		Data da elaboração:		Data da próxima revisão:	
Item	Nome do componente/ equipamento	Função	Falhas possíveis			Controles atuais	Índices				
			Modos	Efeito(s)	Causas		G	O	D	R	
1	Reator	Garantir a reação de conversão	Reação incompleta	Obstrução da tubulação por viscosidade elevada do produto	pH inadequado	Inexistentes	10	4	6	240	

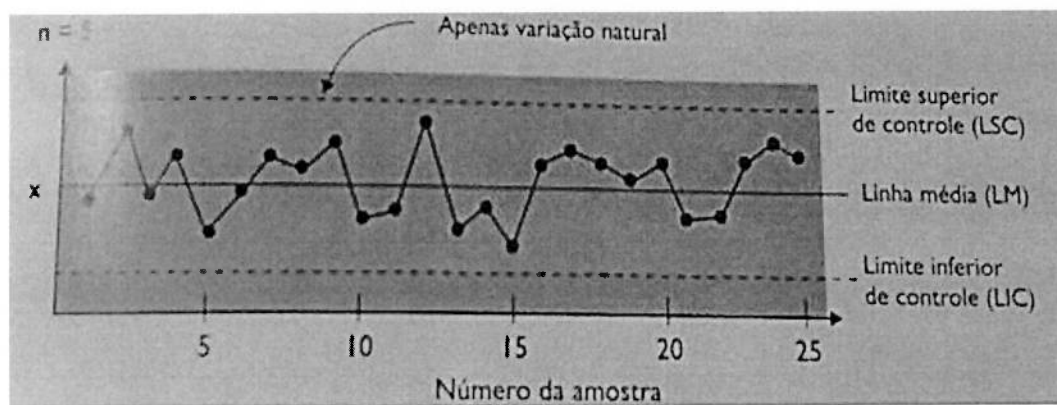
Fonte: WERKEMA (2004, p. 191)

Figura 25 - Gráfico de dispersão.



Fonte: WERKEMA (2004, p. 192)

Figura 26 - Exemplo de carta de controle.



Fonte: WERKEMA (2004, p. 177)

Após o término das análises, a equipe deve criar uma lista de causas potenciais para o problema e organizá-las utilizando ferramentas como Diagrama de Causa e Efeito, Diagrama de Afinidades ou Diagrama de Relações. Muito provavelmente o número de causas potenciais identificadas será grande e, portanto, é necessário priorizá-las através de uma Matriz de Priorização, conforme ilustrado na figura 27 (WERKEMA, 2004)

Figura 27 - Exemplo de Matriz de priorização

		Problema prioritário			Total
		Atraso no tempo entre a chegada do material ao porto e o desembarço, decorrente da variação natural do processo de importação de polímeros por transporte marítimo.	Atraso no tempo entre a emissão do pedido e o embarque, decorrente da variação natural do processo de importação de polímeros por transporte marítimo.	Falta de ordem de fabricação de reagentes.	
Passo (5 a 11)		9	8	10	
Causa potencial	Tempo elevado de preparação da carga pelos fornecedores.	0	5	0	40
	Mudanças frequentes no roteiro de viagem feitas pelos fornecedores, sem comunicar a empresa.	5	5	0	85
	Deficiências do software utilizado na programação da produção.	1	0	5	59
	Falta de treinamento das pessoas que trabalham em áreas administrativas da empresa.	3	0	3	57
	Falhas nos registros de controle de estoques de matérias-primas usadas na fabricação de reagentes.	0	0	5	50
Legenda: 5 - Correlação forte 3 - Correlação moderada 1 - Correlação fraca 0 - Correlação ausente					

Fonte: WERKEMA (2004, p. 104)

As causas fundamentais do problema estudado devem estar identificadas e bem quantificadas ao final da fase Analisar, servindo de base para estabelecer soluções na próxima etapa do DMAIC (WERKEMA, 2004).

2.2.4.1.4 Etapa I: Melhorar

Nesta fase inicialmente a equipe deve gerar ideias de soluções para eliminar as causas fundamentais priorizadas na etapa anterior. As soluções potenciais devem também ser priorizadas através da Matriz de Priorização. Uma vez priorizadas as ações, é importante que a equipe avalie os riscos que estas soluções podem gerar, utilizando ferramentas como FMEA, e testá-las em pequena escala. Somente após os testes, ajustes e melhorias necessárias para as soluções é que será elaborado um plano de

implementação das ações em larga escala, com prazo e responsável definidos. (WERKEMA, 2004).

Portanto, é nesta fase que as soluções e melhorias se materializam efetivamente no processo, onde os dados estatísticos são transformados em dados de processo (ROTONDARO, 2014).

2.2.4.1.5 Etapa C: Controlar

Na quinta etapa do DMAIC são implementados e validados mecanismos de monitoramento contínuo do desempenho de cada processo, com o objetivo de garantir a sustentação das melhorias em longo prazo (ROTONDARO, 2014).

Em Werkema (2004), as fases e ferramentas que compõem a etapa Controlar são descritas:

- Na primeira é necessário avaliar se a meta estabelecida pelo projeto foi alcançada em larga escala, após a implementação das melhorias. As ferramentas mais usadas para esta avaliação são Diagrama de Pareto, Carta de Controles, Histogramas e Índice de Capacidade.
- Se o resultado da avaliação anterior for positivo, então é preciso padronizar as alterações implementadas no processo, estabelecendo procedimentos operacionais padrão e transmiti-los a todos os envolvidos.
- Por fim, é necessário definir e implementar um plano para monitoramento da performance do processo e do alcance da meta. Ferramentas como Plano de Coleta de Dados, Folha de Verificação, Amostragem, Carta de Controle, Histograma, Índice de Capacidade e Auditorias de Processo e Produto são utilizadas para garantir este monitoramento.

No final do projeto é importante que todas as atividades sejam sumarizadas, discutidas e apresentadas aos gestores envolvidos no projeto. Esta atividade final consiste, portanto em sintetizar o que foi aprendido e fazer recomendações para projetos futuros (WERKEMA, 2004).

2.2.5 Equipe Seis Sigma

Segundo Rotondaro (2014, p. 28):

“A constituição da equipe Seis Sigma é um elemento fundamental no sucesso do programa, pois ele é desenvolvido essencialmente por pessoas”.

Os termos dos integrantes da equipe Seis Sigma foram desenvolvidos pela Motorola e procuram destacar as qualidades de um especialista no sistema (ROTONDARO, 2014).

2.2.5.1 Líder Executivo

Normalmente é formado pela alta gerência e é o responsável pela implantação do Seis Sigma na organização e deve estar comprometido com a estratégia de melhoria para garantir o sucesso do programa. É o líder executivo quem deve incentivar, conduzir e supervisionar as iniciativas Seis Sigma dentro da empresa e selecionar os diretores e gerentes que desempenharão o papel de campeões (ROTONDARO, 2014).

2.2.5.2 Campeões

Diretores ou gerentes responsáveis por apoiar os projetos e desempenharem o papel de facilitadores caso apareçam barreiras durante o desenvolvimento do projeto (WERKEMA, 2004).

Eles compreendem as teorias, princípios e práticas do Seis Sigma, portanto organizam e guiam o início, desdobramento e implementação dos projetos dentro da organização, além de definirem os responsáveis por disseminar os conhecimentos sobre o Seis Sigma (ROTONDARO, 2014).

2.2.5.3 Master Black Belt (Líderes do Cinturão Preto)

Basicamente são os profissionais que auxiliam os Líderes Executivos e Campeões e também são os mentores dos Black Belts e Green

Belts. São eles os responsáveis por identificar os projetos de melhorias (WERKEMA, 2004).

São profissionais dedicados para o Seis Sigma, recebem treinamentos intensivos, sabem aplicar estatísticas para a solução de problemas e possuem boas habilidades de comunicação e ensino (ROTONDARO, 2014).

2.2.5.4 Black Belt (Cinturão Preto)

São considerados elementos-chaves do sistema, pois lideram as equipes na condução de projetos. Eles trabalham sob a orientação dos Master Black Belts. Em resumo o Black Belts deve saber aplicar ferramentas e conhecimentos sobre Seis Sigma em projetos específicos, são periodicamente treinados em técnicas estatísticas e de solução de problemas e treinam e orientam os Green Belts. São responsáveis por caracterizar e otimizar os principais processos que influenciam o negócio, identificam e executam projetos para redução de defeitos nos processos e ajudam na solução de problemas dando foco e priorizando os processos (ROTONDARO, 2014).

2.2.5.5 Green Belt (Cinturão Verde)

São os profissionais que participam das equipes lideradas pelos Black Belts ou lideram pequenos projetos de melhorias em suas áreas de atuação (WERKEMA, 2004).

No geral seu treinamento é mais simplificado do que os dos Black Belts e executam o Seis Sigma como parte de suas tarefas de rotina (ROTONDARO, 2014).

2.2.5.6 White Belt (Cinturão Branco)

São profissionais focados mais em níveis operacionais, que são treinados na filosofia Seis Sigma com o objetivo de dar suporte para os Green Belts e Black Belts na implementação do projeto (WERKEMA, 2004).

3 ESTUDO DE CASO

3.1 A ORGANIZAÇÃO

A Fundição em estudo é uma multinacional do ramo metalúrgico fundada no ano de 1938 em Joinville, Santa Catarina. Possui capacidade de produção de 850 mil toneladas anuais de peças em ferro fundido nas plantas localizadas no Brasil e no México. Além de suas plantas produtivas a organização também dispõe de escritórios comerciais e de atendimento aos clientes, estabelecidos em São Paulo, nos EUA e na Alemanha. A corporação emprega por volta de doze mil colaboradores e exporta metade de sua produção, para os cinco continentes.

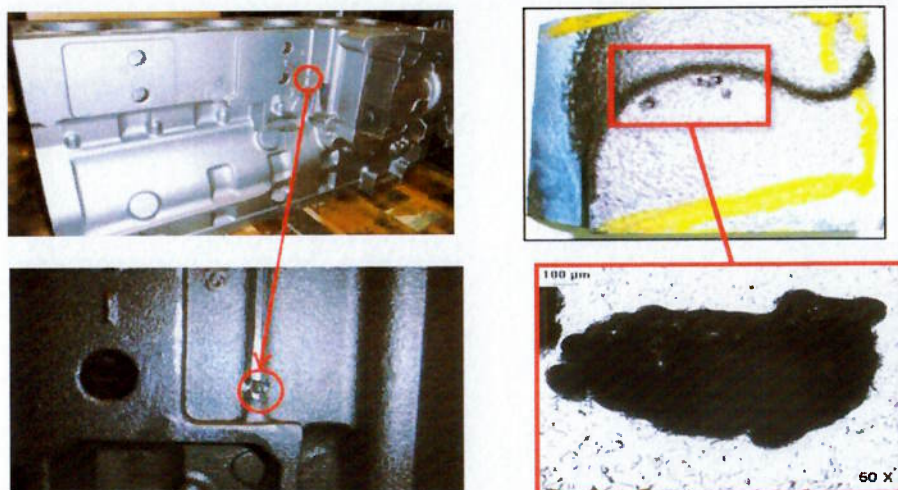
A maior parte da produção da Fundição constitui componentes desenvolvidos para o setor automotivo, com itens produzidos para os setores de caminhões, ônibus, máquinas agrícolas e de construções, carros de passeios, motores industriais entre outros. Seu carro chefe é a produção de cabeçotes e blocos de motor, porém também produz peças para sistemas de freio, transmissão, direção, eixo, suspensão, além de conexões de ferro maleável, granelhas de aço e perfis contínuos de ferro atendendo a setores variados da indústria (SITE SOBRE A ORGANIZAÇÃO).

3.2 ETAPA D: DEFINIR

3.2.1 Definição do Problema

O estudo de caso foi aplicado para um tipo de Bloco de motor específico, fornecido como produto bruto para um cliente especializado em montagem de motores e fornecimento deste componente ao mercado automotivo. A figura 28 mostra uma foto do bloco e do defeito de fundição estudado.

Figura 28 - Foto do defeito gás em bloco de motor.



Fonte: Próprio Autor (2015)

Trata-se de aprisionamento de gases concentrados principalmente em regiões que compreendem o molde superior por ser um defeito de baixa densidade. Este defeito é gerado, de modo geral, por bolhas de gases produzidas pelos machos, moldes e metal líquido durante o processo de vazamento na fusão.

Segundo o histórico da Fundição, o gás é um defeito crônico e intrínseco ao processo de fundição, ou seja, são defeitos aceitáveis em baixos níveis de ocorrência. Porém, desde o começo do ano de 2014 os índices deste defeito se encontravam em níveis consideravelmente altos para o Bloco em estudo, prejudicando a qualidade do produto e seu desempenho na linha de usinagem do Cliente.

Sua detecção interna é difícil, pois 90% das peças que possuem gases podem ser retrabalhadas com solda a quente não gerando refugo para Fundição. Além disso, grande parte destes gases somente é detectada após a usinagem do produto, uma vez que este processo retira material da superfície revelando assim o defeito. Para a linha de usinagem do cliente, quando o gás aparece gera alto custo de retrabalho e, dependendo de sua localização, a peça deve ser refugada, pois pode afetar a vedação do bloco causando vazamento no motor quando montado.

3.2.2 Indicador de medição e confiabilidade dos dados

O indicador escolhido para medir os resultados foi o índice percentual de ocorrência do defeito gás na linha de usinagem, conforme representado pela fórmula ilustrada abaixo.

$$\%Gás = \frac{\text{Total Refugado} + \text{Total Retrabalhado}}{\text{Total Usinado}} \times 100 \quad (1)$$

Este índice oficialmente é dado em valores percentuais e corresponde à relação entre a quantidade de peças que apresentou gás na linha de usinagem do cliente, considerando refugo e retrabalho, e o total de peças que foram usinadas pelo Cliente no período em estudo.

Este indicador é calculado através de dados retirados das chamadas "Planilhas de Refugo e Retrabalho", enviadas semanalmente, que são documentos oficiais para monitoramento da qualidade no cliente. A figura 29 abaixo ilustra um exemplo do documento citado.

Figura 29 - Exemplo da "Planilha de Refugo e Retrabalho", documento oficial utilizado para monitoramento do índice de refugo na linha de usinagem do cliente.

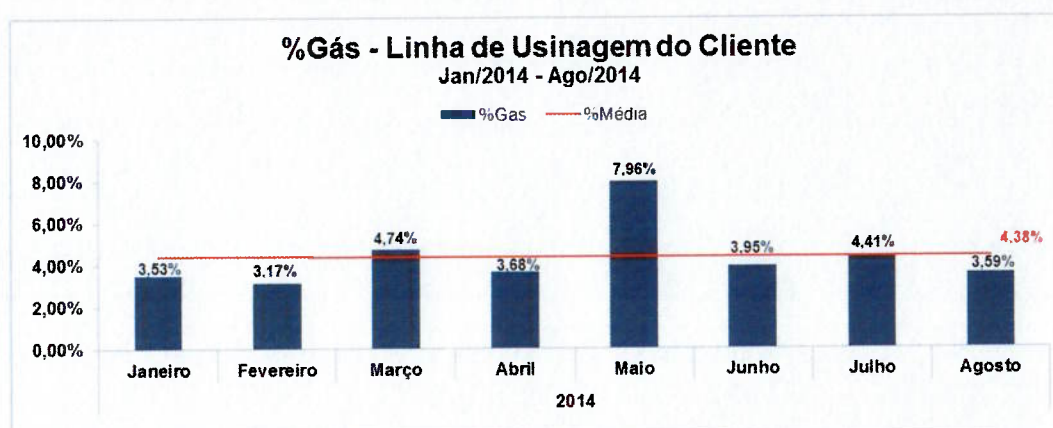
Fonte: Próprio Autor (2015)

3.2.3 Histórico do problema

Para o presente trabalho foi levantado e avaliado o histórico de incidência de gases no Bloco de motor, na linha de usinagem do cliente nos

períodos compreendidos entre Janeiro a Agosto de 2014. A figura 30 mostra o histórico do período citado e a média da ocorrência do defeito em estudo. Neste período, o defeito estava variando entre 3,17% a 7,96% e sua média de Janeiro a Agosto de 2014 foi de 4,38%. Isto significa que em média, de todos os Blocos processados pelo cliente durante o mês, 4,38% apresentavam o defeito gás em alguma posição.

Figura 30 - Gráfico da ocorrência mensal e média de gases na linha de usinagem do cliente durante Janeiro a Agosto de 2014.



Fonte: Próprio Autor (2015)

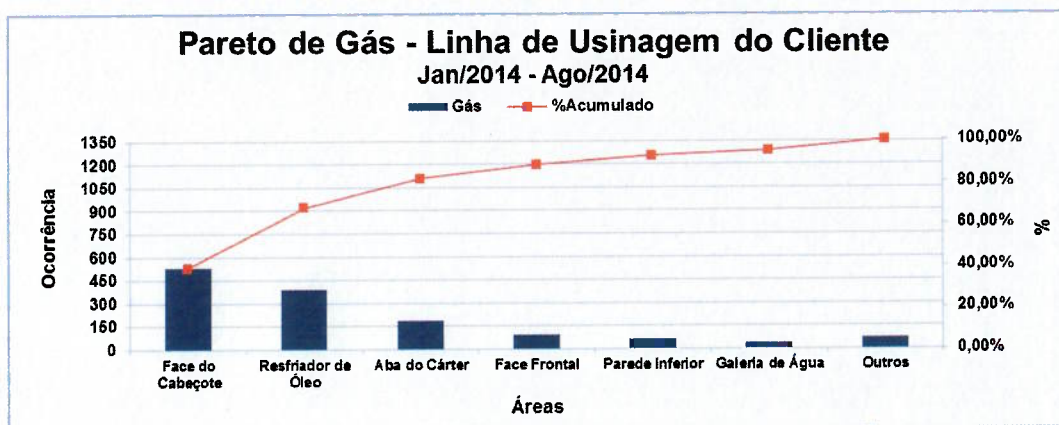
Estes defeitos normalmente aparecem após o processo de usinagem, na inspeção final do Cliente. As peças com gases muitas das vezes podem ser retrabalhadas dependendo da região e tamanho do defeito e, portanto, após esta operação seguem para o processo de montagem do motor. Em outros casos não há possibilidade de retrabalho gerando assim o refugo dos blocos com o defeito.

Em ambas as situações, seja retrabalho ou refugo, o alto índice do problema causava perda de produtividade e perturbação na linha de produção do Cliente, sem mencionar o alto custo de retrabalho e refugo de peças que estava sendo despendido pela Fundição. Com o passar do tempo a situação de qualidade ficou insustentável e cada vez mais o cliente pressionava para que a meta preestabelecida por contrato comercial (0,81% de ocorrência de defeitos) voltasse a ser atingida.

Era sabido que para alcançar a meta de qualidade, seria necessária a redução drástica dos gases, por se tratar do defeito de maior

participação no índice de qualidade externa do Bloco em estudo. Como o defeito aparecia em diversas posições no produto foi então criado um pareto para entender as posições com maior incidência do defeito, como é mostrado no gráfico da figura 31.

Figura 31 - Pareto das principais posições com ocorrência de gases no Bloco, detectados na linha de usinagem do cliente.

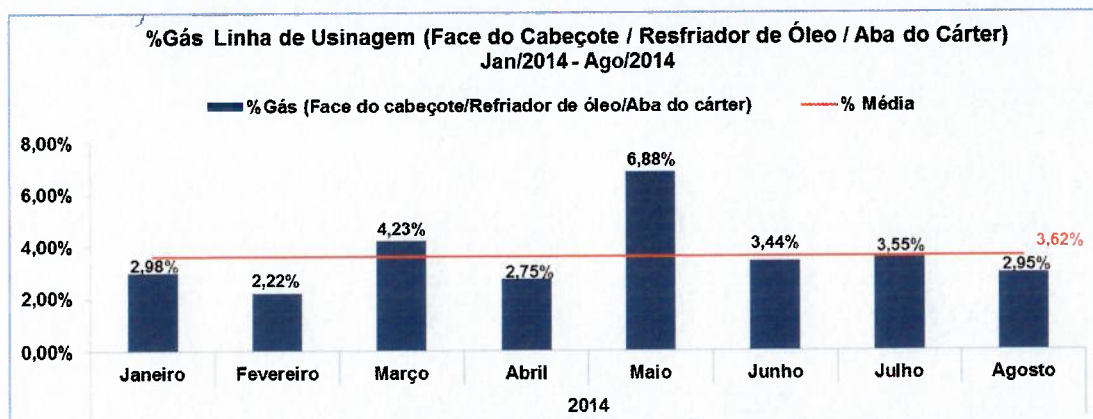


Fonte: Próprio Autor (2015).

Considerando o pareto construído foi possível identificar as três posições na peça com maior ocorrência de gás: face do cabeçote, resfriador de óleo e aba do cárter (estas regiões serão melhores ilustradas na etapa Medir). As três posições juntas representavam 81,71% da incidência de gases no Bloco em estudo.

O projeto focou na redução dos defeitos nas três principais regiões mapeadas no pareto acima, uma vez que são as regiões mais críticas de ocorrência do defeito. A figura 32 mostra o histórico do gás de Janeiro a Agosto de 2014 e sua média considerando a três principais regiões: face do cabeçote, resfriador de óleo e aba do cárter.

Figura 32 - Gráfico da ocorrência mensal e média de gás nas três principais posições, no período de Janeiro a Agosto de 2014.



Fonte: Próprio Autor (2015)

A média de incidência de gás nas três regiões durante o período estudado foi de 3,62%.

3.2.4 Equipe

A equipe escolhida para trabalhar neste projeto foi formada de modo multidisciplinar, ou seja, pessoas de diversas áreas participaram das diferentes fases da metodologia empregada. As áreas que mais colaboraram e agregaram ao projeto foram:

- Engenharia de Produtos
- Engenharia da Qualidade
- Engenharia Metalúrgica/Processos
- Área de Macharia
- Área de Moldagem
- Área de Fusão
- Área de Qualificação das peças
- Controle de Processos

O projeto foi coordenado basicamente por componentes de quatro categorias dos Cinturões (Belts), que foram suportados pelas outras áreas citadas acima:

- Líder Executivo: Diretoria da área de Engenharia.
- Campeões (Champions): Gerência de Engenharia.
- Líder do cinturão Preto (Master Black Belt): Coordenação de Engenharia.
- Cinturão Preto (Black Belt): Engenharia Metalúrgica/Processo.

3.2.5 Processos envolvidos

Os principais processos envolvidos ou os chamados de processos críticos no fluxo da Fundição foram mapeados e priorizados com o auxílio do diagrama SIPOC, representado na figura 33, facilitando a visualização e padronização dos processos envolvidos no projeto.

Através da utilização do diagrama SIPOC foram identificados cinco processos críticos: confecção do macho, processo de moldagem, vazamento do metal líquido, processo de desmoldagem e retorno da areia para o sistema. A ideia neste primeiro momento foi apenas mapear, identificar e priorizar estes processos, com o objetivo de estudá-los mais a frente, nas próximas etapas do projeto.

Figura 33 - Diagrama SIPOC contendo os processos chaves para o desenvolvimento do projeto.

Fornecedores (Suppliers)	Entradas (Inputs)	Processo/Sub-processo (Process)	Saídas (Outputs)	Clientes (Clients)
<i>Inserir as áreas que fornecem entradas (inputs) para o processo/sub-processo.</i>	<i>Inserir as entradas (inputs) para o processo/sub-processo.</i>	<i>Inserir o seu processo/sub-processo.</i>	<i>Inserir as saídas (outputs) do processo/sub-processo.</i>	<i>Inserir os clientes do processo/sub-processo.</i>
-	Mistura de areia com resina e catalisador	Confeccionar o macho	Macho	Moldagem
Preparação areia + Desmoldagem (Areia de Retorno)	Areia preparada (Matéria-prima + Areia Retorno)	Moldar	Molde	Fusão
Fusão	Metal ajustado	Vazar	Molde vazado	Desmoldagem
-		Desmoldar	Piça bruta com Areia	Acabamento Moldagem
Desmoldagem	Areia do molde vazado	Retornar areia para o sistema	Areia de retorno	Moldagem

Fonte: Próprio Autor (2015)

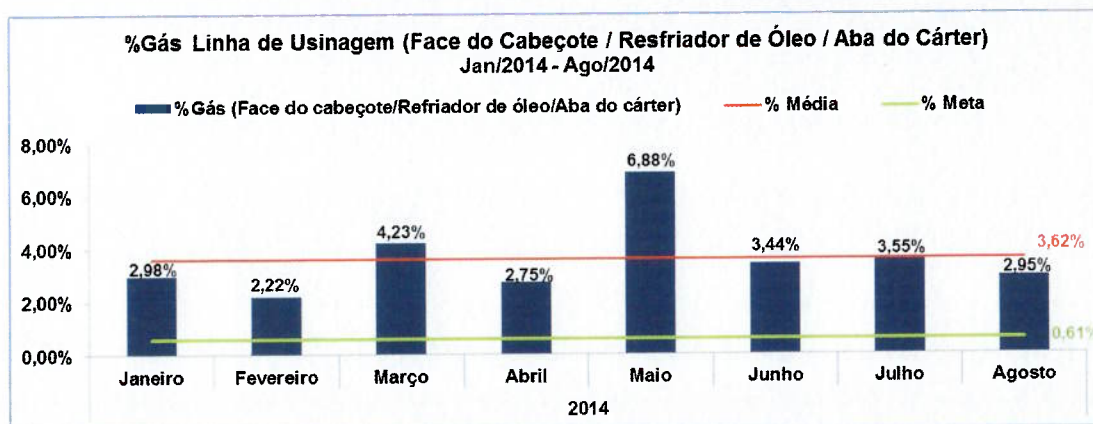
3.3 ETAPA M: MEDIR

Nesta etapa do projeto definiu-se a meta global para o defeito gás, o método de estratificação para mapear a ocorrência e posição exata do defeito considerando as três principais regiões de maior incidência e suas metas específicas.

3.3.1 Meta global

Para que fosse possível atingir a meta de qualidade do Cliente, preestabelecida por contrato comercial, de 0,81% de peças defeituosas, estabeleceu-se uma meta global para o defeito gás, considerando neste caso as três principais regiões de maior incidência do defeito que são face do cabeçote, resfriador de óleo e aba do cárter. O cálculo para definir a meta global se deu através da redução da média na incidência de gás nas três áreas, conforme visto no gráfico da figura 34.

Figura 34 - Gráfico contendo o histórico de ocorrência de gases de Janeiro a Agosto de 2014 das três principais regiões com sua meta estabelecida.



Fonte: Próprio Autor (2015)

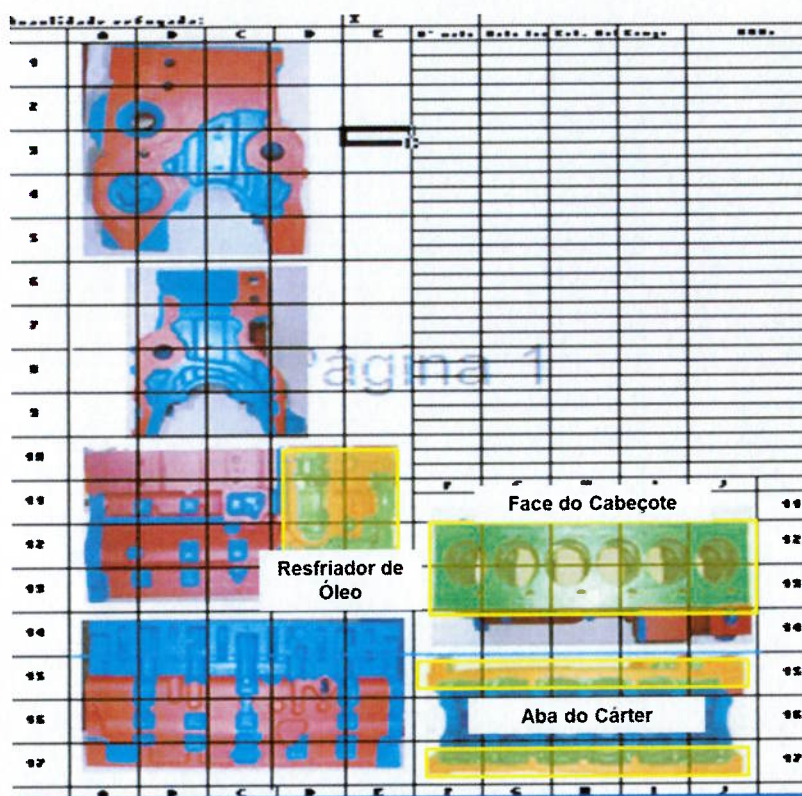
Desta maneira a meta global para média de ocorrência do defeito foi estabelecida em 0,61%, gerando uma redução de pelo menos 83,15% no índice do defeito.

3.3.2 Método de estratificação

O histórico de ocorrência e posição exata do defeito foi estratificado para cada uma das três principais regiões mapeadas na fase “Definir” (figura 31), conhecidas como face do cabeçote, resfriador de óleo e aba do cárter.

Para que fosse possível identificar em cada área a posição do defeito utilizou-se um croqui criado internamente, em que todas as posições do bloco são indicadas por uma letra no sentido vertical e um número na horizontal. Na figura 35 é possível visualizar o croqui referente ao Bloco em estudo com as três principais áreas de incidência do defeito destacadas.

Figura 35 - Croqui das vistas do Bloco em estudo com as três principais posições, de maior incidência de gases, destacadas.



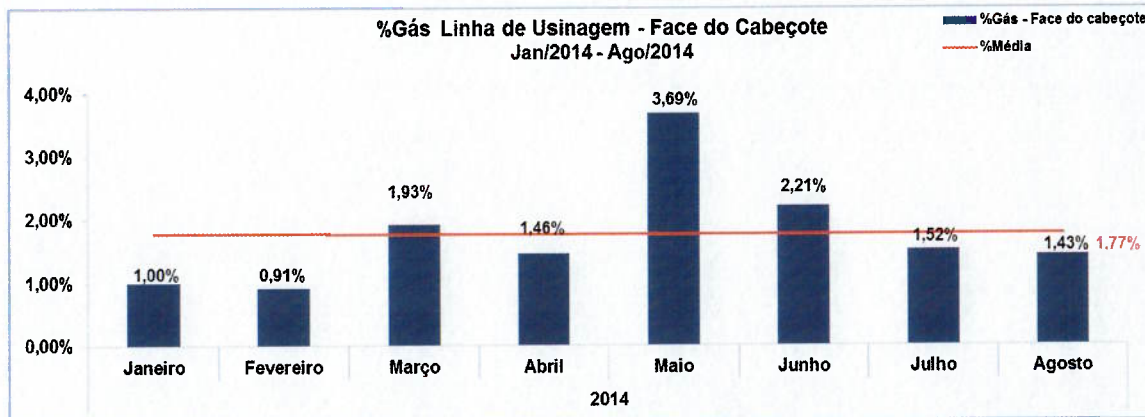
Fonte: Próprio Autor (2015)

3.3.2.1 Face do cabeçote

Abaixo está a figura 36 mostrando o comportamento do gás de Janeiro a Agosto de 2014 para a região da face do cabeçote, e em seguida, o

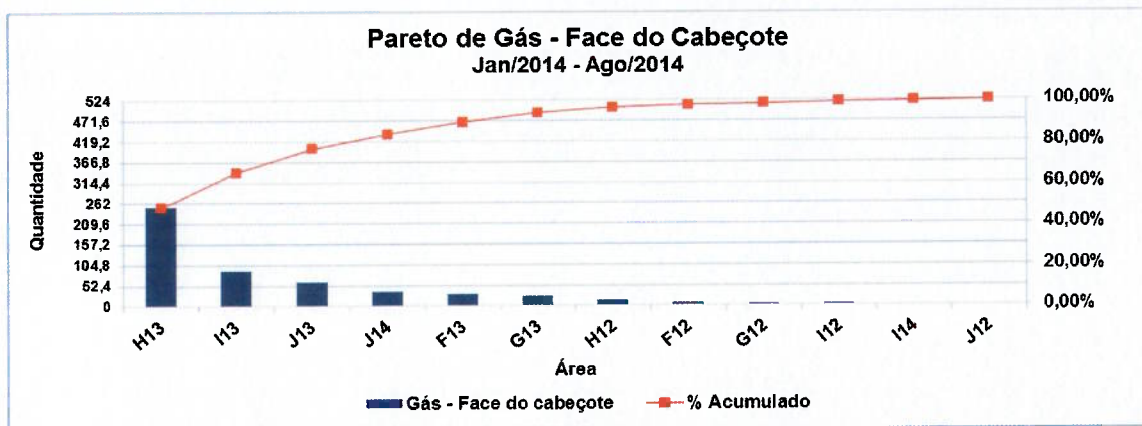
pareto, ilustrado na figura 37, mapeando as principais posições em que o defeito ocorre nesta região de acordo com o croqui apresentado na figura 35.

Figura 36 - Gráfico do comportamento do gás na região da face do cabeçote de Janeiro a Agosto de 2014.



Fonte: Próprio Autor (2015)

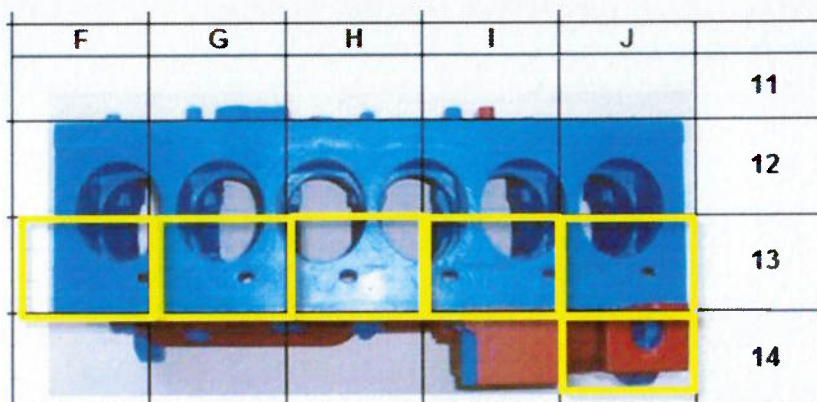
Figura 37 - Pareto com o mapeamento das posições de ocorrência de gás na região da face do cabeçote.



Fonte: Próprio Autor (2015)

De acordo com a figura 36 a ocorrência de gases na face do cabeçote varia entre 0,91% a 3,69% mantendo uma média no período analisado de 1,77%. Avaliando o pareto construído na figura 37 foi possível mapear as principais posições, de acordo com o croqui, de ocorrência de gases na região da face do cabeçote. Estas posições (H13, I13, J13, J14 e etc) foram identificadas no croqui ilustrado na figura 38 para melhor visualização.

Figura 38 - Croqui mostrando a região da face do cabeçote indicando as posições de maior incidência de gases nesta área.

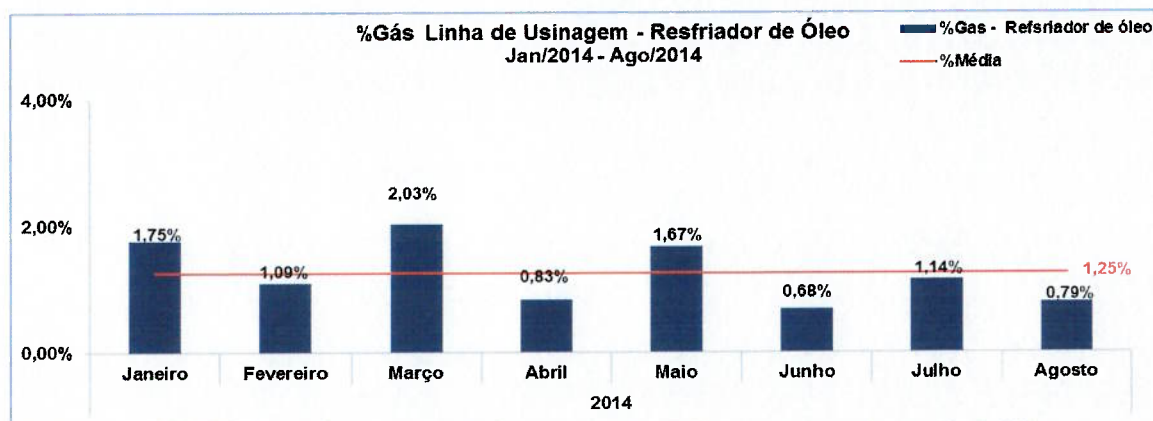


Fonte: Próprio Autor (2015)

3.3.2.2 Resfriador de óleo

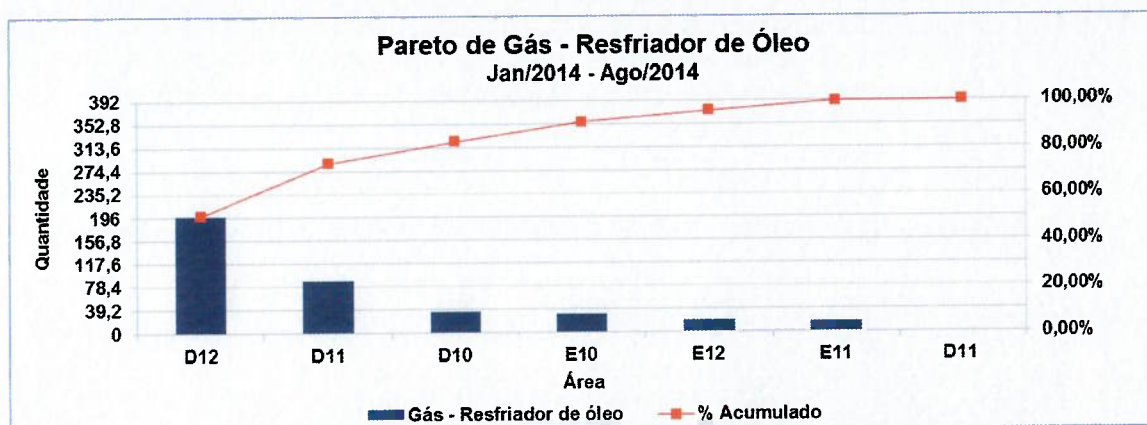
A figura 39 exibe a ocorrência do defeito de Janeiro a Agosto de 2014 para a região do resfriador de óleo e a figura 40 apresenta o pareto com as principais posições de ocorrência do gás nesta área.

Figura 39 - Gráfico do comportamento do gás na região do resfriador de óleo de Janeiro a Agosto de 2014.



Fonte: Próprio Autor (2015)

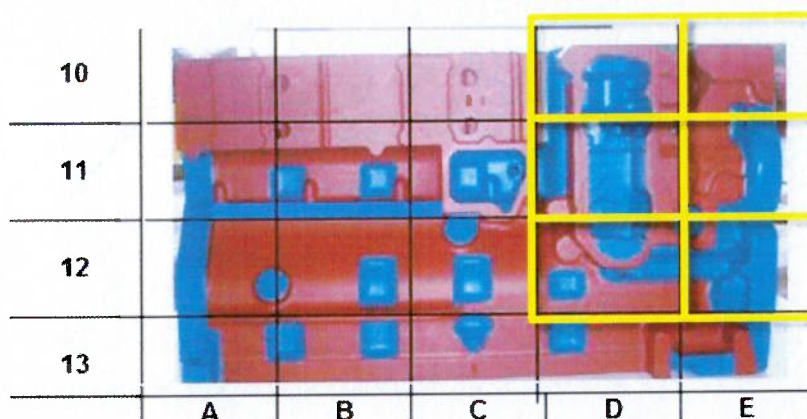
Figura 40 - Pareto com o mapeamento das posições de ocorrência de gás na região do resfriador de óleo.



Fonte: Próprio Autor (2015)

A figura 39 indica que a variação da incidência do defeito no resfriador de óleo, analisado durante o período, estava variando entre 0,68% e 2,03% com média de 1,25% e, através do pareto criado na figura 40 foi possível identificar as principais posições de ocorrência de gases na região do resfriador de óleo (D12, D11, D10, E10, E12, E11 e D11). A figura 41 ilustra as posições mapeadas pelo pareto.

Figura 41 - Croqui mostrando a região do resfriador de óleo indicando as posições de maior incidência de gases nesta área.

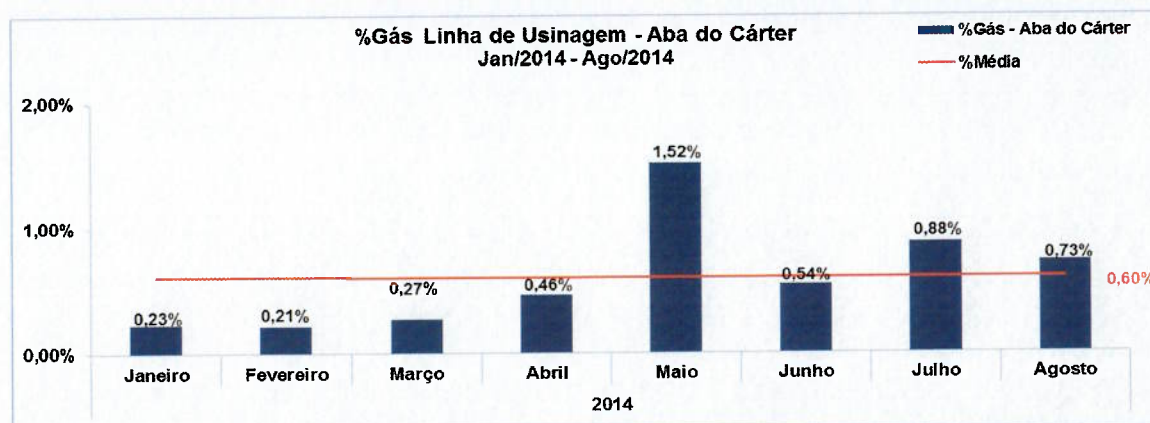


Fonte: Próprio Autor (2015)

3.3.2.3 Aba do Cáter

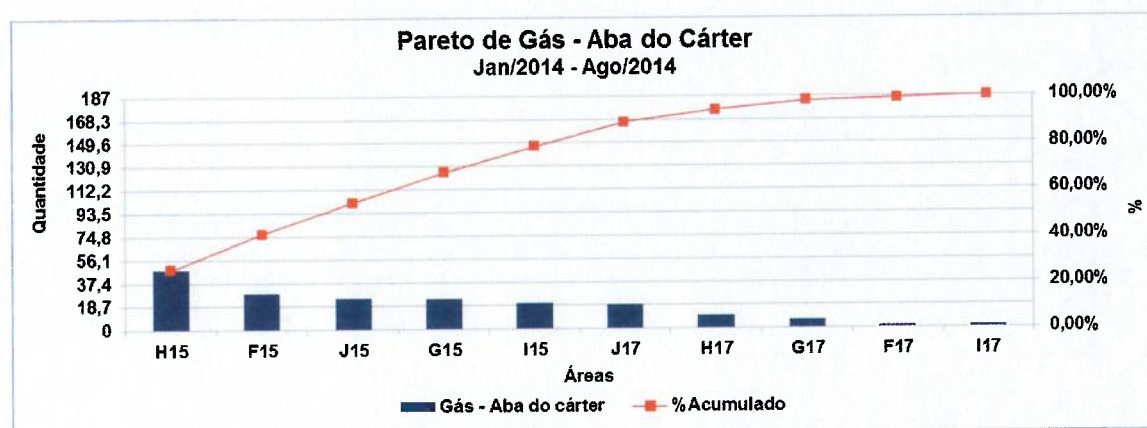
A ocorrência do defeito gás de Janeiro a Agosto de 2014, na aba do cárter, está demonstrada na figura 42 e o pareto, representado pela figura 43, estratificando as posições de maior incidência do defeito na região.

Figura 42 - Gráfico do comportamento do gás na região da aba do cárter de Janeiro a Agosto de 2014.



Fonte: Próprio Autor (2015)

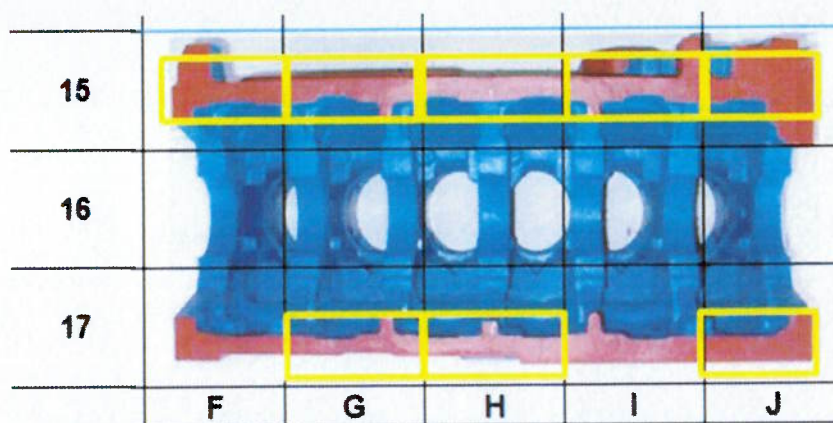
Figura 43 - Pareto com o mapeamento das posições de ocorrência de gás na região da aba do cárter.



Fonte: Próprio Autor (2015)

A variação do defeito demonstrada na figura 42 é de 0,21% a 1,52% mantendo uma média no período de 0,60%. No pareto criado pela figura 43 foi possível mapear as principais posições de maior ocorrência de gás na região da aba do cárter (H15, F15, J15, J17, H17, G17, F17 e I17). Estas posições estão ilustradas na figura 44.

Figura 44 - Croqui mostrando a região da aba do cárter indicando as posições de maior incidência de gases nesta área.



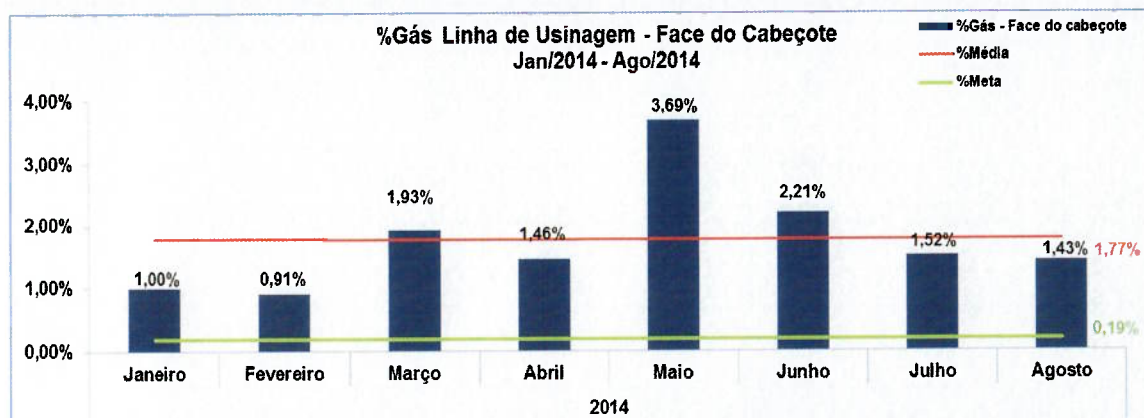
Fonte: Próprio Autor (2015)

As áreas em que o gás ocorre em maior quantidade são todas regiões superiores, ou seja, são as últimas posições a serem preenchidas com o metal líquido, e por se tratar de um defeito de baixa densidade, a parte superior da peça é o caminho mais fácil para o escape de gás durante o processo de vazamento, porém quando o gás não consegue ser liberado de dentro do molde fica aprisionado dentro da peça gerando assim o defeito.

3.3.3 Metas específicas

Para cada região analisada foram estabelecidas metas específicas de redução para incidência do defeito gás, com objetivo de atingir a meta global. As metas foram definidas através de análise levando em conta o histórico do defeito nesta região, a complexidade do perfil da área analisada e o alcance da meta global de 0,61%, para a média de ocorrência do defeito, estabelecida na etapa Definir. As figuras 45, 46 e 47 mostram em forma de gráficos as metas elaboradas para cada uma das três regiões priorizadas.

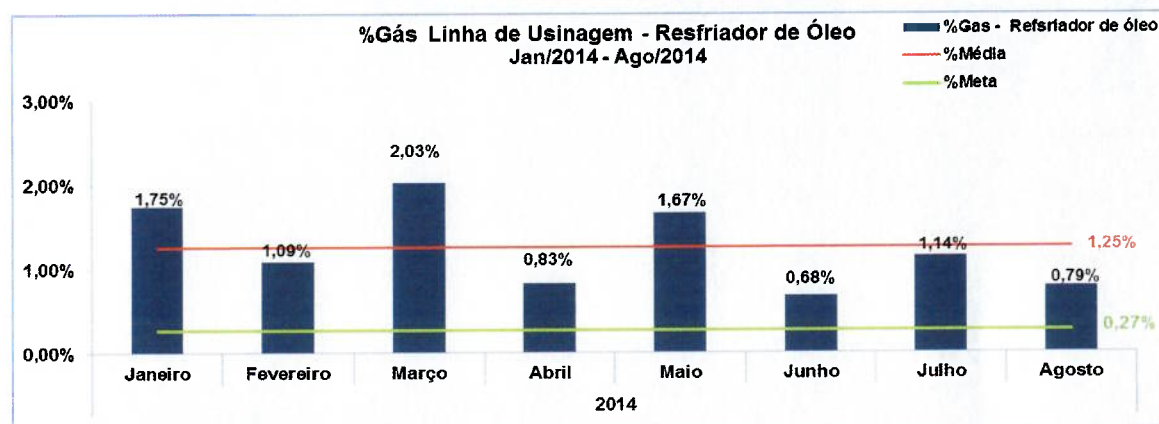
Figura 45 - Meta específica baseada na média do período de Janeiro a Agosto de 2014, elaborada para a região da face do cabeçote.



Fonte: Próprio Autor (2015)

A meta definida para a região da face do cabeçote foi reduzir a média de 1,77% para 0,19% representando uma diminuição de pelo menos 89,27%.

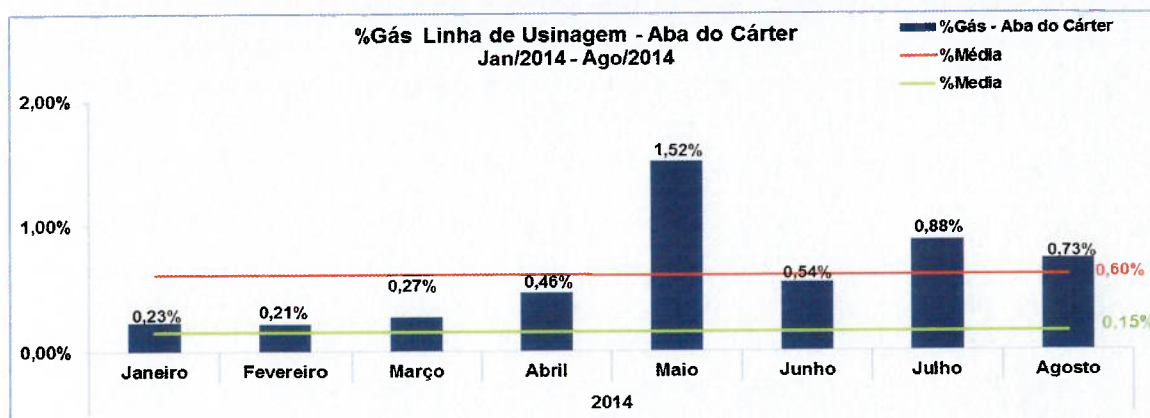
Figura 46 - Meta específica baseada na média do período de Janeiro a Agosto de 2014, elaborada para a região do resfriador de óleo.



Fonte: Próprio Autor (2015)

Para a área do resfriador de óleo foi estipulado uma diminuição na média de 1,25% para 0,27%, ou seja, redução de 78,4% na incidência do defeito.

Figura 47 - Meta específica baseada na média do período de Janeiro a Agosto de 2014, elaborada para a região da aba do cárter.



Fonte: Próprio Autor (2015)

Ao considerar a região da aba do cárter definiu-se uma redução na média de 0,60% para 0,15% o que significou uma queda de pelo menos 75% no índice de gases nesta região.

Considerando a soma das metas específicas para média de ocorrência do defeito em cada região tem-se o valor de 0,61% de incidência do gás para as três regiões mais críticas, atingindo assim a meta global estabelecida. Na tabela 1 abaixo encontra-se um resumo das metas global e específicas definidas para o projeto.

Tabela 1- Resumo da definição das metas global e específicas para cada área e o percentual de redução da ocorrência de gases correspondente.

Metas	% Média Gas (Jan/2014 a Ago/2014)	%Meta	%Redução
Meta Global	3,62%	0,61%	83,15%
Meta Face do Cabeçote	1,77%	0,19%	89,27%
Meta Resfriador de Óleo	1,25%	0,27%	78,40%
Meta Aba do Cárter	0,60%	0,15%	75,00%

Fonte: Próprio Autor (2015)

Calculando a média ponderada de redução das três metas específicas comprovou-se a redução global 83,15% atingindo assim a meta de redução proposta para o projeto.

É importante ressaltar que apesar das etapas Definir e Medir terem sido focadas nas três regiões de maior ocorrência do defeito gás, as

ações implementadas ao longo do projeto também devem ter por objetivo diminuir o defeito em todas as outras posições envolvidas, a fim de aperfeiçoar a qualidade do produto, focando em melhoria contínua do processo.

3.4 ETAPA A: ANALISAR

O principal objetivo da fase Analisar é o estudo aprofundado das etapas do processo em análise levando em consideração suas variáveis para identificação das principais causas raízes do problema em estudo.

3.4.1 Mapa do processo e diagrama de afinidades

O processo gerador do problema pode ser iniciado desde a preparação das areias de macharia e de moldagem e segue até a preparação do metal líquido e seu vazamento. A figura 48 abaixo ilustra o mapeamento dos processos envolvidos na geração do defeito de gás.

Através do mapeamento de processo foi possível a elaboração de um diagrama de afinidades, que tem como objetivo relacionar as variáveis e possíveis causas com seus respectivos processos de origem. Este diagrama encontra-se na figura 49. Com esta análise foi possível enumerar diversas causas potenciais para a ocorrência do defeito em estudo.

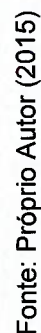
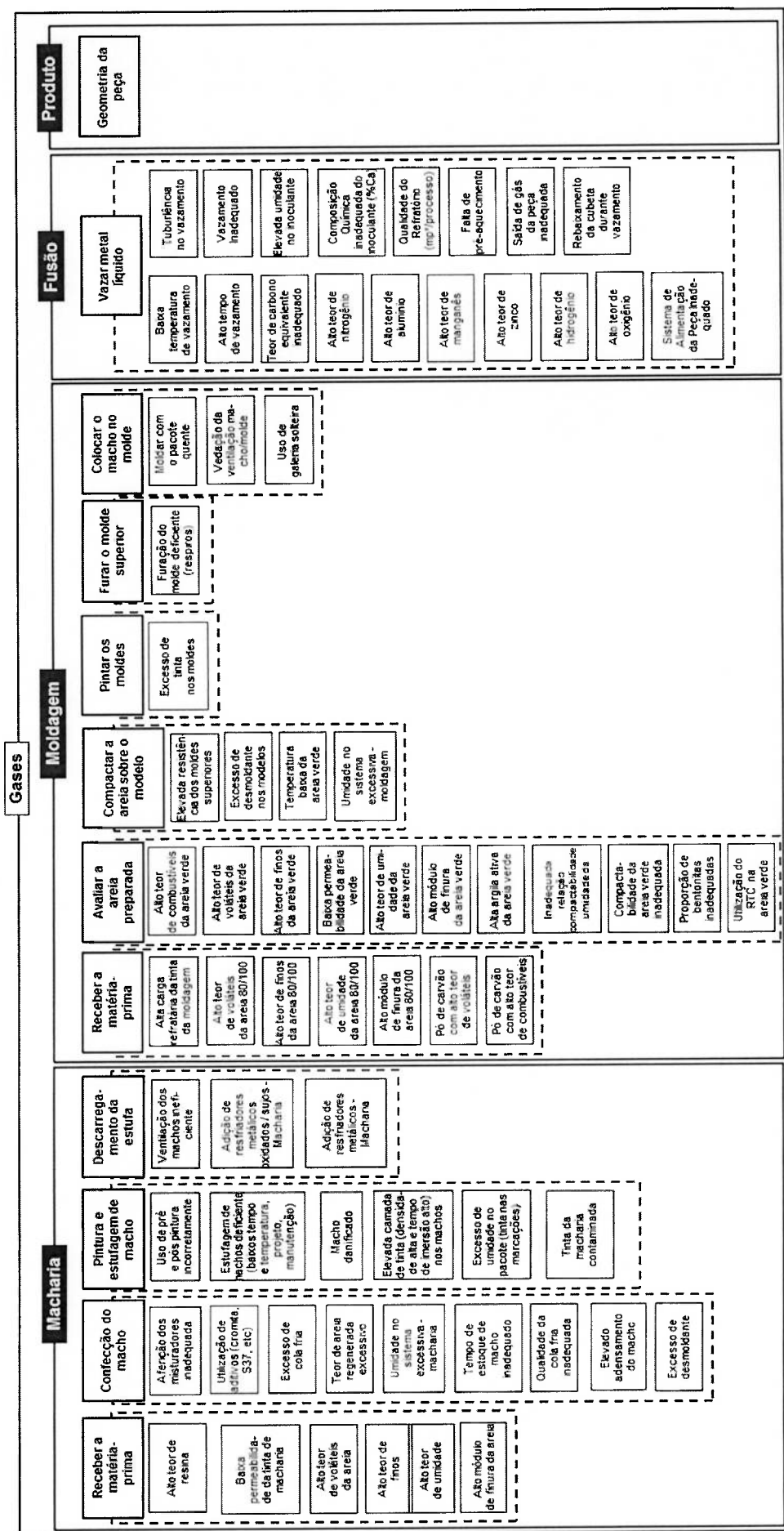


Figura 49 - Diagrama de afinidades dos processos-chaves e suas possíveis causas para a ocorrência de gases.



Fonte: Próprio Autor (2015)

3.4.2 Matriz de priorização

Finalizada a análise do diagrama de afinidades, foi realizado o “brainstorming” ou “tempestade de ideias” junto à equipe formada por colaboradores de diversas áreas. Após estas duas etapas, foram então identificadas 73 causas potenciais para a ocorrência do defeito de gases.

Devido a grande quantidade de causas potenciais mapeadas se fez necessário a utilização de uma matriz de priorização das causas enumeradas. Esta matriz possui cinco categorias para pontuação das causas:

- Impacto sobre o defeito: o quanto a causa em questão tem impacto sobre o defeito de gases.
- Dificil detecção: o quanto é difícil a visualização/detecção da causa.
- Tendência: potencial de piora da causa.
- Facilidade de solução: facilidade de eliminar a causa.
- Probabilidade de ocorrência: probabilidade da causa em questão ocorrer.

Cada categoria acima possui um peso que indica o seu grau de importância e severidade:

- Impacto sobre o defeito: peso 10.
- Dificil detecção: peso 7.
- Tendência: peso 6.
- Facilidade de solução: peso 8.
- Probabilidade de ocorrência: peso 5.

As causas potenciais foram priorizadas através de notas dadas, pelo time multifuncional, a cada grupo explicado acima. Estas notas indicam o quanto a causa em análise influencia em maior ou menor peso na ocorrência do defeito de acordo com cada uma das categorias. As notas para pontuação são 5, 3, 1 e 0 indicando respectivamente forte, médio, fraco ou ausente, a influência da causa analisada sobre a categoria em questão.

As causas potenciais foram classificadas através da matriz de priorização onde foram priorizadas 30 causas com notas maiores ou iguais a 1,70%. Ou seja, foram selecionadas as causas mais significativas de acordo com a priorização através da matriz.

A matriz de priorização completa, elaborada e pontuada pelo time multifuncional encontra-se no apêndice A. A figura 50 mostra a matriz de priorização com as 30 causas priorizadas pela equipe.

Figura 50 - Matriz de priorização contendo as 30 causas mais importantes identificadas pela equipe.

MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO		Impacto sobre o defeito gases	Difícil detecção?	Tendência	Facilidade de solução	Probabilidade de ocorrência	NOTA	CORRELAÇÃO
							5	FORTE
PRIORIZAÇÃO DAS CAUSAS POTENCIAIS DO DEFEITO GASES							3	MÉDIO
							1	FRACO
							0	AUSENTE
							7029	
PESO		10	7	6	8	5	TOTAL	%
Nº	CAUSA	NOTA						
1	Alto teor de resina	5	3	5	1	3	124	1,76%
15	Elevado adensamento dos machos	5	5	1	5	3	146	2,08%
20	Excesso de umidade no pacote (tinta nas marcações)	5	5	3	3	3	142	2,02%
22	Adição de resfriadores metálicos oxidados / sujos - Macharia	5	3	1	5	3	132	1,88%
23	Adição de resfriadores metálicos - Macharia	5	3	1	5	3	132	1,88%
31	Alto teor de combustíveis da areia verde	5	3	1	5	1	122	1,74%
32	Alto teor de voláteis da areia verde	5	3	1	5	1	122	1,74%
33	Alto teor de finos da areia verde	5	3	3	3	3	128	1,82%
35	Alto teor de umidade da areia verde	5	3	3	3	3	128	1,82%
36	Alto módulo de finura da areia verde	5	3	1	5	1	122	1,74%
38	Relação compactabilidade/umidade da areia verde inadequada	5	3	3	3	3	128	1,82%
39	Compactabilidade da areia verde inadequada	5	3	3	3	3	128	1,82%
40	Proporção de bentonita inadequada (Del Lago e CBB) da areia verde	3	5	3	3	3	122	1,74%
41	Utilização do Rotocontrol na areia verde	5	3	3	3	3	128	1,82%
42	Elevada resistência dos moldes superiores	5	3	1	5	1	122	1,74%
46	Excesso de tinta nos moldes	3	5	3	3	3	122	1,74%
47	Furação do molde deficiente (respiros)	5	5	5	1	5	148	2,11%
50	Baixa temperatura de vazamento	5	3	3	5	5	154	2,19%
51	Alto tempo de vazamento	5	1	5	3	5	136	1,93%
52	Teor de carbono equivalente inadequado	5	3	5	1	3	124	1,76%
53	Alto teor de nitrogênio	5	3	5	1	3	124	1,76%
55	Alto teor de manganês	5	3	5	1	5	134	1,91%
59	Sistema de Alimentação da Peça Inadequado	5	3	1	3	5	126	1,79%
61	Vazamento Inadequado (lavar molde)	5	3	5	3	5	150	2,13%
65	Falta de pré-aquecimento panela	5	5	5	1	5	148	2,11%
66	Saída de gás da peça inadequada	5	3	1	3	5	126	1,79%
68	Alto teor de finos da areia da regenerada	5	3	1	5	3	132	1,88%
70	Alto módulo de finura da areia da regenerada	5	3	1	5	1	122	1,74%
72	Rebaixamento da cubeta durante vazamento	5	3	5	3	5	150	2,13%
73	Uso de galeria solteira	5	3	3	3	5	138	1,96%

Fonte: Próprio Autor (2015)

Devido a grande quantidade de causas priorizadas através da matriz, fez-se necessário novamente uma análise de cada uma das causas listadas e junto com os especialistas de cada área, foi realizado um novo processo de priorização, no qual das 30 causas apontadas pela matriz o time

selecionou 22 causas para serem validadas que seguem listadas e descritas na tabela 2.

Tabela 2 - Causas priorizadas para serem verificadas, e suas respectivas descrições.

CAUSAS PRIORIZADAS	DESCRIÇÃO
Saída de gás da peça inadequada	Se não houver saída de gás suficiente e adequadamente disposta, o gás ficará confinado na <u>peça</u> .
Rebaixamento da cubeta durante vazamento	O fato da cubeta rebaixar faz com que entre mais ar no molde, de modo a facilitar a ocorrência do defeito em estudo. O ideal é trabalhar sempre com a cubeta vazia.
Baixa temperatura de vazamento	Quanto menor a temperatura de vazamento menor será o tempo para que ocorra a solidificação. Portanto, haverá menos tempo para o gás sair da <u>peça</u> . A formação da casca sólida ocorrerá mais rapidamente.
Alto tempo de vazamento	Elevados tempos de vazamento provocarão temperatura de vazamento final mais baixa e, conseqüentemente, formação da casca sólida mais cedo.
Teor de Carbono equivalente baixo	Com teores de carbono equivalente mais baixos a temperatura de solidificação passa a ser mais alta, ou seja, há menos tempo para o gás <u>conseguir sair da peça</u> . Além disso, a casca sólida se forma mais cedo.
Alto teor de Manganês	Se houver mais Manganês do que o necessário para neutralizar o efeito do enxofre, este manganês tenderá a formar <u>gases</u> .
Alto teor de Nitrogênio	Nitrogênio possui forte tendência a forma gás N ₂ .
Excesso de umidade no pacote	No momento do vazamento a umidade confinada no pacote de macho será evaporada, <u>gerando gases</u> .
Alto teor de resina	O excesso de resina provocará no momento do vazamento evaporação de material volátil <u>gerando gases</u> .
Adição de resfriadores metálicos oxidados / sujos - Macharia	Ao usar insumos sujos é possível que ocorra o desprendimento de materiais voláteis. Já se insumos oxidados forem utilizados, a probabilidade de gerar mais gás O ₂ no banho é maior, de modo a aumentar a tendência de ocorrência de gases.
Adição de resfriadores metálicos - Macharia	A adição de resfriadores metálicos pode gerar gases devido a condensação ou má junção entre o metal e o resfriador
Alto teor de combustíveis da areia verde	Os combustíveis são a evolução do material orgânico da areia quando exposto a altas temperaturas propiciando a evolução de gases dentro do molde.
Alto teor de finos da areia verde	O excesso de finos na areia verde causa <u>redução na permeabilidade</u> .
Alto teor de umidade da areia verde	O excesso de umidade aumenta a tendência de <u>evolução de gases</u> .
Alto módulo de finura da areia verde	Quanto mais fina a areia, menor o espaço entre seus grãos, o que <u>promove redução da permeabilidade</u> .
Relação compactabilidade/umidade da areia verde inadequada	Esta relação mostra o quanto de água deve ser adicionada para atingir determinada compactabilidade e, portanto, não deve apresentar grandes oscilações. Quando a relação está baixa e tem relação com o defeito em estudo significa que o teor de umidade está alto para atingir a <u>compactabilidade desejada</u> .
Compactabilidade da areia verde inadequada	Baixa compactabilidade resulta em um menor espaço entre os grãos de areia tendo menor quantidade de água para atingir a mesma compactação de modo que o RCV (resistência a compressão a verde) fique maior e a permeabilidade menor. Alta compactabilidade implica em maior umidade na areia preparada o que aumenta a tendência de evolução de gases.
Utilização do Rotocontrol na areia verde	Trata-se de um processo diferente que deve ser levantado para verificar a possível ocorrência de gases, visto que a adição de água passa a ser controlada em função da compactabilidade.
Elevada resistência dos moldes superiores	Altas resistências implicam na aproximação dos grãos de areia, fazendo com que <u>não haja espaço para a saída de gases</u> .
Excesso de tinta nos moldes	O excesso de tinta nos moldes provoca excesso de umidade, que por sua vez aumenta a evolução de <u>gases dentro do molde</u> .
Furação do molde deficiente (respiros)	Se tivermos esta condição, o gás não será capaz de sair do molde pelos respiros e ficando na <u>peça</u> .
Uso de galeria solteira	O processo de pintura da galeria solteira é feito individual e manualmente, diferente do pacote de macho que trata-se de uma pintura automatizada.

Fonte: Próprio Autor (2015)

3.4.3 Verificação das causas

3.4.3.1 Coleta dos dados

Para que todas as causas pudessem ser validadas e estudadas foi necessário montar um plano de acompanhamento das variáveis através de lotes monitorados com o objetivo de coletar dados suficientes para uma análise e estudo mais aprofundado, utilizando na maior parte dos casos ferramentas estatísticas. Na tabela 3 encontra-se o plano de coleta dos dados para estudo das variáveis priorizadas.

Tabela 3 - Plano para coleta de dados para análise das causas priorizadas.

CAUSAS PRIORIZADAS	ÁREA	RESPONSÁVEIS	DATA	O QUE MONITORAR
Saída de gás da peça inadequada	Engenharia de Produto	Engenharia de Processos Metalurgistas	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Verificar a possibilidade de melhorar as saídas de gases do resfriador de óleo, galeria e ponto que apresenta esguicho de metal.
Rebaixamento da cubeta durante vazamento	Engenharia de Produto	Engenharia de Processos Metalurgistas	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Checar se durante o processo de vazamento ocorre o rebaixamento da cubeta.
Baixa temperatura de vazamento	Fusão	Engenharia de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Aumentar a frequência de medição da temperatura para avaliar e variação durante o vazamento.
Alto tempo de vazamento	Fusão	Engenharia de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Aumentar a frequência de medição do tempo de vazamento para avaliar e variação durante o processo.
Teor de carbono equivalente baixo	Fusão	Engenharia de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Aumentar a frequência de medição da composição química para avaliar a variação do processo.
Alto teor de Manganês	Fusão	Engenharia de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Aumentar a frequência de medição da composição química para avaliar a variação do processo.
Alto teor de Nitrogênio	Fusão	Engenharia de Processos	27 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Aumentar a frequência de medição da composição química para avaliar a variação do processo.
Excesso de umidade no pacote	Macharia	Engenharia de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Checar através da abertura de pacotes a possível presença de umidade em regiões críticas.
Alto teor de resina	Macharia	Engenharia de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Aumentar a frequência de verificação do teor de resina para avaliar a variação do processo.
Adição de resfriadores metálicos oxidados / sujos -macharia	Macharia	Controle de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 17/Ago/2014. Lote produzido com resfriadores oxidados para verificar a ocorrência de gases.
Adição de resfriadores metálicos - Macharia	Macharia	Controle de Processos	26 setembro, 2014	Lote acompanhado 22/Set/2014 * Lote 1 - produzido com adição de resfriador. * Lote 2 - produzido com a posição resfriador deslocada da face do cabeçote. * Lote 3 - produzido com adição de cromita na galeria de água eliminando a adição do resfriador.
Alto teor de combustíveis da areia verde	Moldagem	Engenharia de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Aumentar a frequência de medição das propriedade da areia verde para verificar a variação do processo.
Alto teor de finos da areia verde	Moldagem	Engenharia de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Aumentar a frequência de medição das propriedade da areia verde para verificar a variação do processo.
Alto teor de umidade da areia verde	Moldagem	Engenharia de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Aumentar a frequência de medição das propriedade da areia verde para verificar a variação do processo.
Alto módulo de finura da areia verde	Moldagem	Engenharia de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Aumentar a frequência de medição das propriedade da areia verde para verificar a variação do processo.
Relação compactabilidade/umidade da areia verde inadequada	Moldagem	Engenharia de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Aumentar a frequência de medição das propriedade da areia verde para verificar a variação do processo.
Compactabilidade da areia verde inadequada	Moldagem	Engenharia de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Aumentar a frequência de medição das propriedade da areia verde para verificar a variação do processo.
Utilização do Rotocontrol na areia verde	Moldagem	Engenharia de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Não utilizar equipamento na produção do dia 16/Set e utilizar o equipamento para o lote produzido no dia 17/Set. Comparar as duas condições.
Elevada resistência dos moldes superiores	Moldagem	Engenharia de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Aumentar frequência de medição de resistência do molde superior para avaliar a variação do processo.
Excesso de tinta nos moldes	Moldagem	Engenharia de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Checar em 100% da produção se ocorre excesso de tinta nos moldes.
Furação do molde deficiente (respiros)	Moldagem	Engenharia de Processos Metalurgistas	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Acompanhar as condições de furação dos moldes durante a produção do lote.
Uso de galeria solteira	Moldagem	Engenharia de Processos	26 setembro, 2014	Lotes acompanhados 16/Set/2014 e 17/Set/2014. Comparar peças produzidas com galeria solteira e peças produzidas sem galeria solteira.

Fonte: Próprio Autor (2015)

3.4.3.2 Definição das causas fundamentais

Os resultados dos dados coletados pertencentes às causas priorizadas acima foram analisados e verificados conforme o plano de coleta de dados apresentado na tabela 3. Após finalizado o estudo de cada variável foi possível identificar as causas reais.

Para as variáveis que poderiam ser analisadas estatisticamente, foi utilizada a ferramenta de teste de hipóteses. Antes de iniciar a utilização desta ferramenta estatística citada, foi necessário realizar teste de normalidade para conferir se a distribuição dos dados coletados seguia comportamento normal. Os testes de normalidade e de hipóteses foram realizados com o auxílio do programa estatístico MINITAB. Para a surpresa do time, muitas das variáveis em estudo não seguiam este tipo de distribuição. Analisando os dados coletados e suas dispersões no gráfico de normalidade, constataram-se duas causas relevantes para este acontecimento:

- Valores de dados ruins: são os valores de dados coletados e registrados pelos operadores e, quando estão em desacordo com os limites especificados pela engenharia, o operador corrige esta variável durante o processo, mede novamente e então registra o valor dentro da especificação (no limite superior ou inferior).
- Resolução do equipamento de medição: normalmente ocorre para as variáveis que requerem muitas casas decimais (por exemplo: elementos químicos). Os equipamentos utilizados para a medição destas variáveis muitas vezes não possuem resolução ou precisão suficientes, gerando no momento da medição um arredondamento do valor da variável, afetando, portanto a normalidade de seu comportamento durante o teste.

Mesmo com o teste de normalidade dando um resultado de comportamento não normal para as variáveis, o time decidiu dar continuidade ao estudo estatístico. Porém, ao invés de utilizar estas ferramentas quantitativamente foi necessária uma análise mais aprofundada de seus resultados embasando-a com conhecimento metalúrgico para confirmar sua

importância qualitativa para o defeito gás. O risco de resultados estatísticos equivocados foi assumido pelo time, porém como o conhecimento técnico do grupo é vasto, se houvesse algum resultado muito discrepante seria logo detectado pela equipe.

Sendo assim, a ferramenta estatística empregada foi o teste de hipóteses com duas amostras, o qual consiste na comparação das médias – referentes aos dados coletados – das causas possíveis que geraram peças boas e peças com gás. Através do teste realizado foi possível verificar a significância da diferença destas médias. As causas que apresentaram esta diferença significativa, considerando um intervalo de confiança de 95%, foram selecionadas como causas fundamentais. Para as causas nas quais as ferramentas estatísticas foram aplicadas, encontra-se o estudo completo no apêndice B.

Para algumas causas não foi possível a aplicação de ferramenta estatística, pois o objetivo era observar as condições destas variáveis durante a coleta de dados, e não quantificá-las. Na tabela 4 foi colocado um resumo dos resultados, verificação de todas as causas priorizadas, e classificação das causas fundamentais, identificando aquelas que foram analisadas através de ferramenta estatística e aquelas que foram analisadas qualitativamente durante os lotes monitorados.

Tabela 4 - Resumo da verificação das causas priorizadas e suas respectivas classificações.

CAUSAS PRIORIZADAS	ÁREA	RESULTADOS	VERIFICAÇÃO DA CAUSA	CAUSA REAL?
Saída de gás da peça inadequada	Engenharia de Produto	Foi identificado esguicho de metal onde as saídas de gases estão posicionadas. Foi evidenciado oportunidade de melhoria para adição de mais pinos de saída de gases no resfriador de óleo.	Durante o processo de vazamento foi observado que a quantidade de saída de gases não era o suficiente para liberação dos gases presos dentro do molde.	Sim
Rebaixamento da cubeta durante vazamento	Engenharia de Produto	Houve rebaixamento da cubeta em 3,6% dos moldes durante o lote monitorado. Em apenas 1 dos 11 moldes com cubeta rebaixada ocorreu gás.	1 molde de 11 moldes vazados com cubeta rebaixada ocorreu gás.	Não
Baixa temperatura de vazamento	Fusão	Foram encontradas temperaturas variando do limite inferior ao limite superior da especificação. Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Através do teste de hipóteses foi possível concluir que a temperatura de vazamento não tem influência na ocorrência de gás, considerando a faixa de especificação trabalhada.	Não
Alto tempo de vazamento	Fusão	Foram encontrados tempo de vazamento variando entre o limite inferior e o limite superior da especificação. Também foram testados tempos de vazamento fora da especificação para complementar o estudo deste parâmetro. Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Através do teste de hipóteses foi possível concluir que o tempo de vazamento tem influência na ocorrência de gás, considerando a faixa de especificação trabalhada.	Sim
Teor de Carbono Equivalente baixo	Fusão	Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Através do teste de hipóteses foi possível concluir que o carbono equivalente não tem influência na ocorrência de gás, considerando a faixa de especificação trabalhada.	Não
Alto teor de Manganês	Fusão	Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Através do teste de hipóteses foi possível concluir que o teor de Manganês não tem influência na ocorrência de gás, considerando a faixa de especificação trabalhada.	Não
Alto teor de Nitrogênio	Fusão	Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Através do teste de hipóteses foi possível concluir que o teor de Nitrogênio não tem influência na ocorrência de gás, considerando a faixa de especificação trabalhada.	Não

CAUSAS PRIORIZADAS	ÁREA	RESULTADOS	VERIFICAÇÃO DA CAUSA	CAUSA REAL?
Excesso de umidade no pacote	Macharia	Tempo de estufagem: 65 minutos Foram abertos 7 pacotes de machos após estufagem e nenhum apresentou umidade internamente.	Não observado excesso de umidade nos pacotes de macho.	Não
Alto teor de resina	Macharia	Não foi encontrado pacote de macho com alto teor de resina. Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Não observado alto teor de resina nos pacotes de macho.	Não
Colocação de resfriadores metálicos oxidados / sujos -macharia	Macharia	Não foi encontrado gás após usinagem das peças. 5 peças avaliadas e zero defeito.	Não foi encontrado gás após usinagem das peças.	Não
Adição de resfriadores metálicos - Macharia	Macharia	* Lote 1 - produzido com adição de resfriador. * Lote 2 - produzido com a posição resfriador deslocada da face do cabeçote. * Lote 3 - produzido com adição de cromita na galeria de água eliminando a adição do resfriador.	*Lote 1 - ocorrência de gás na região onde o resfriador é adicionado, próximo a face do cabeçote. Ocorrência de gás na face do cabeçote. *Lote 2 - não houve ocorrência de gás na face do cabeçote. *Lote 3 - não houve ocorrência de gás na face do cabeçote nem na região onde o resfriador é adicionado.	Sim
Alto teor de combustíveis da areia verde	Moldagem	Encontrados teores de finos variando entre limite inferior e limite superior de especificação. Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Através do teste de hipóteses foi possível concluir que o teor de combustíveis da areia verde não tem influência na ocorrência de gás, considerando a faixa de especificação trabalhada.	Não
Alto teor de finos da areia verde	Moldagem	Encontrados teores de finos variando entre limite inferior e limite superior de especificação. Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Através do teste de hipóteses foi possível concluir que o teor de finos da areia verde não tem influência na ocorrência de gás, considerando a faixa de especificação trabalhada.	Não
Alto teor de umidade da areia verde	Moldagem	O nível de umidade da areia verde estava de acordo com a especificação. Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Através do teste de hipóteses foi possível concluir que o teor de umidade da areia verde não tem influência na ocorrência de gás, considerando a faixa de especificação trabalhada.	Não
Alto módulo de finura da areia verde	Moldagem	Foram encontrados módulo de finura no limite inferior de especificação. Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Através do teste de hipóteses foi possível concluir que o módulo de finura da areia verde não tem influência na ocorrência de gás, considerando a faixa de especificação trabalhada.	Não

CAUSAS PRIORIZADAS	ÁREA	RESULTADOS	VERIFICAÇÃO DA CAUSA	CAUSA REAL?
Relação compactabilidade/umidade da areia verde inadequada	Moldagem	Foram encontrados compactabilidade/umidade variando entre o limite inferior e a nominal da especificação. Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Através do teste de hipóteses foi possível concluir que a relação compactabilidade/umidade da areia verde tem influência na ocorrência de gás, considerando a faixa de especificação trabalhada.	Sim
Compactabilidade da areia verde inadequada	Moldagem	Foram encontrados valores de compactabilidade variando entre os níveis inferiores e superiores da especificação. Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Através do teste de hipóteses foi possível concluir que a compactabilidade da areia verde tem influência na ocorrência de gás, considerando a faixa de especificação trabalhada.	Sim
Utilização do Rotocontrol na areia verde	Moldagem	Não utilizado equipamento na produção do dia 16/Set. Utilizado equipamento na produção do dia 17/Set.	A quantidade de ocorrência de gases foram próximas em ambas as condições.	Não
Elevada resistência dos moldes superiores	Moldagem	Foram encontrados valores de resistência de molde variando entre os níveis inferiores e superiores da especificação. Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Através do teste de hipóteses foi possível concluir que a resistência do molde não tem influência na ocorrência de gás, considerando a faixa de especificação trabalhada.	Não
Excesso de tinta nos moldes	Moldagem	Quantidade de tinta de acordo com a especificação. Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Através do teste de hipóteses foi possível concluir que a quantidade de tinta utilizada para pintar o molde não tem influência na ocorrência de gás, considerando a faixa de especificação trabalhada.	Não
Furação do molde deficiente (respiros)	Moldagem	A furação do molde superior foi acompanhada em 100% do lote monitorado e estava de acordo com a instrução de trabalho. Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Foram encontrados peças com gás mesmo controlando a furação do molde superior.	Não
Uso de galeria solteira	Moldagem	Parte do lote acompanhado foi realizada utilizando o galeria solteira e parte sem utilizar. Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Não houve ocorrência de gás nas peças que utilizaram galeria solteira. Não existe correlação entre o uso de galeria solteira e a ocorrência de gases.	Não

Fonte: Próprio Autor (2015)

Após o estudo de verificação e comprovação das 22 causas potenciais, foram identificadas cinco causas reais para ocorrência do defeito gases que estão listadas na tabela 5.

Tabela 5 - Causas fundamentais identificadas.

CAUSAS PRIORIZADAS	ÁREA	RESULTADOS	VERIFICAÇÃO DA CAUSA	CAUSA REAL?
Saída de gás da peça inadequada	Engenharia de Produto	Foi identificado esguicho de metal onde as saídas de gases estão posicionadas. Foi evidenciado oportunidade de melhoria para adição de mais pinos de saída de gases no resfriador de óleo.	Durante o processo de vazamento foi observado que a quantidade de saída de gases não era o suficiente para liberação dos gases presos dentro do molde.	Sim
Alto tempo de vazamento	Fusão	Foram encontrados tempo de vazamento variando entre o limite inferior e o limite superior da especificação. Também foram testados tempos de vazamento fora da especificação para complementar o estudo deste parâmetro. Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Através do teste de hipóteses foi possível concluir que o tempo de vazamento tem influência na ocorrência de gás, considerando a faixa de especificação trabalhada.	Sim
Adição de resfriadores metálicos - Macharia	Macharia	* Lote 1 - produzido com adição de resfriador. * Lote 2 - produzido com a posição resfriador deslocada da face do cabeçote. * Lote 3 - produzido com adição de cromita na galeria de água eliminando a adição do resfriador.	*Lote 1 - ocorrência de gás na região onde o resfriador é adicionado, próximo a face do cabeçote. Ocorrência de gás na face do cabeçote. *Lote 2 - não houve ocorrência de gás na face do cabeçote. *Lote 3 - não houve ocorrência de gás na face do cabeçote nem na região onde o resfriador é adicionado.	Sim
Relação compactabilidade/umidade da areia verde inadequada	Moldagem	Foram encontrados compactabilidade/umidade variando entre o limite inferior e a nominal da especificação. Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Através do teste de hipóteses foi possível concluir que a relação compactabilidade/umidade da areia verde tem influência na ocorrência de gás, considerando a faixa de especificação trabalhada.	Sim
Compactabilidade da areia verde inadequada	Moldagem	Foram encontrados valores de compactabilidade variando entre os níveis inferiores e superiores da especificação. Os dados foram coletados no lote acompanhado.	Através do teste de hipóteses foi possível concluir que a compactabilidade da areia verde tem influência na ocorrência de gás, considerando a faixa de especificação trabalhada.	Sim

Fonte: Próprio Autor (2015)

3.5 ETAPA I: MELHORAR

Na etapa Melhorar foram desenvolvidas e propostas soluções para as causas fundamentais identificadas na fase Analisar. No início desta fase foram geradas ideias para soluções potenciais, pelo time multidisciplinar, para a eliminação das causas fundamentais. Em seguida estas ideias levantadas foram refinadas e escolhidas àquelas que fossem viáveis a implementação.

Foram propostas uma ou mais soluções para cada uma das causas reais levantadas. A tabela 6 abaixo descreve estas soluções propostas pela equipe.

Tabela 6 – Soluções propostas para eliminar as causas fundamentais identificadas

CAUSAS PRIORIZADAS	AÇÕES	SOLUÇÃO PROPOSTA
Saída de gás da peça inadequada	A1	Melhorar saída de gás na região do resfriador de óleo.
	A2	Colocar recartilhado na região do resfriador de óleo.
	A3	Implementar procedimento de pré aquecimento por maçarico na linha de partição da caixa de moldagem, antes do vazamento, com objetivo de liberar parte dos gases dentro do molde.
	A4	Aumentar a vedação localizada na aba do cárter para evitar que metal líquido escape dos canais de alimentação e chega dentro do molde por outros caminhos.
Alto tempo de vazamento	A5	Minimizar o tempo de vazamento em 3 segundos do tempo atual.
	A6	Desenvolver nova fresa para melhorar a condição de vazamento. A proposta desta nova fresa é mudar o perfil da cubeta para cônico com objetivo de diminuir a turbulência durante o vazamento.
	A7	Modificar o perfil do canal de descida de cilíndrico para quadrado com objetivo de diminuir o vortex gerado durante o vazamento.
Relação compactabilidade/umidade da areia verde inadequada	A8	Alterar especificação com o objetivo de diminuir a relação compactabilidade/umidade trabalhando entre 14 e 21, ao invés de 15 e 22.
Compactabilidade da areia verde inadequada	A9	Alterar especificação com o objetivo de aumentar a compactabilidade trabalhando 42 e 46 %, ao invés de 41 e 48 %.
Adição de resfriadores metálicos - Macharia	A10	Adicionar 50% de cromita na galeria de água com o objetivo de eliminar a colocação de resfriadores metálicos durante o processo de macharia.

Fonte: Próprio Autor (2015)

Foi então desenvolvido um plano de ação completo com todas as soluções propostas, prazo para implementação e responsáveis para cada ação. Este plano de ação encontra-se na tabela 7.

Tabela 7 - Plano de ação completo desenvolvido a partir das soluções propostas.

CÓDIGO DA AÇÃO	SOLUÇÕES A SEREM IMPLANTADAS	5W2H					QUANTO	STATUS
		O QUE (ATIVIDADE)	QUEM	QUANDO	PORQUE	ONDE	COMO	
A1	Melhorar saída de gás na região do resfriador de óleo	Instalar 13 pinos para saída de gás na região do resfriador de óleo	Engenharia Modelação	nov/14	Minimizar a chance do gás ficar confinado na peça.	Modelo superior	Instalar pinos no modelo superior	07/Nov/2014 Implementado
A2	Colocar recartilhado nas regiões mais críticas de ocorrência de gases	Instalar recartilhado na região do resfriador de óleo	Engenharia Modelação	out/14	Aumentar a área específica da região e, consequentemente a permeabilidade local.	Modelo superior	Através de aprovação do cliente	20/Out/2014 Implementado
A3	Implementar procedimento de pré aquecimento por maçarico na linha de partição da caixa de moldagem, com objetivo de liberar parte dos gases dentro do molde.	Implementar procedimento de pré aquecimento por maçarico na linha de partição da caixa de moldagem, antes do vazamento	Engenharia Fusão	jan/15	Liberar parte dos gases dentro do molde	Fusão	Pré aquecimento com maçarico antes do vazamento	16/Jan/2015 Implementado
A4	Aumentar a vedação localizada na aba do cárter para evitar que metal líquido escape dos canais de alimentação e chega dentro do molde por outros caminhos.	Aumentar a vedação na região da aba do cárter	Engenharia Modelação	out/14	Impedir que o metal líquido escape dos canais de alimentação durante o vazamento	Modelo Superior e Inferior	Correção do ferramental pela Modelação	31/Out/2014 Implementado
A5	Minimizar o tempo de vazamento em 3 segundos do tempo atual.	Minimizar o tempo de vazamento em 3 segundos do tempo atual.	Engenharia Fusão	jan/15	Fazer com que a casca sólida seja formada mais tarde.	Fusão	Alterar parâmetros do forno vazador	23/Jan/2015 Implementado
A6	Desenvolver nova fresa para melhorar a condição de vazamento. A proposta desta nova fresa é mudar o perfil da cubeta para côncavo com objetivo de diminuir a turbulência durante o vazamento.	Definir novo desenho, produzir e instalar na linha da moldagem	Engenharia Manutenção Moldagem	set/14	Minimizar a aspiração de ar e tornar o vazamento mais contínuo.	Moldagem	Projetar e instalar nova fresa	10/Set/2014 Implementado
A7	Modificar o perfil do canal de descida de cilíndrico para quadrado com objetivo de diminuir o vortex gerado durante o vazamento.	Trocar o canal cilíndrico por canal quadrado	Engenharia Modelação	ago/14	Minimizar a aspiração de ar no momento do vazamento	Modelo Superior	Trocar os canais de descida	04/Ago/2014 Implementado
A8	Alterar especificação com o objetivo de diminuir a relação compactabilidade/unidade trabalhando entre 14 e 21, ao invés de 15 e 22.	Alterar documentação necessária	Engenharia	dez/14	Alta relação significa que a areia pode estar com a compactabilidade muito elevada, ou seja, com muita água, o que favorece a formação de gases.	Moldagem	Reduzir a compactabilidade	10/Dez/2014 Implementado
A9	Alterar especificação com o objetivo de aumentar a compactabilidade trabalhando 42 e 46 %, ao invés de 41 e 48 %.	Alterar documentação necessária	Engenharia	dez/14	Para diminuir a unidade na areia preparada e, consequentemente a tendência de evolução de gases.	Moldagem	Adicionar menor quantidade de água na receita	10/Dez/2014 Implementado
A10	Adicionar 50% de cromita na galeria de água com o objetivo de eliminar a colocação de resfriadores metálicos durante o processo de macharia.	Eliminar adição do resfriador metálico	Engenharia Macharia	jan/15	Eliminar criação de gas na face do cabeçote e galeria de água	Macharia	Adicionar 50% de cromita na galeria de água	26/Jan/2015 Implementado

Fonte: Próprio Autor (2015)

Todas as ações foram implementadas finalizando a fase Melhorar em Janeiro de 2015 com a incorporação da última ação ao processo. Portanto a próxima etapa denominada de Controlar avaliou os resultados da ocorrência de gases na linha de usinagem do cliente após o término da etapa Melhorar, a partir de Março de 2015, pois foi quando peças com ações implementadas chegaram ao cliente, para efeito da validação da eficácia do projeto.

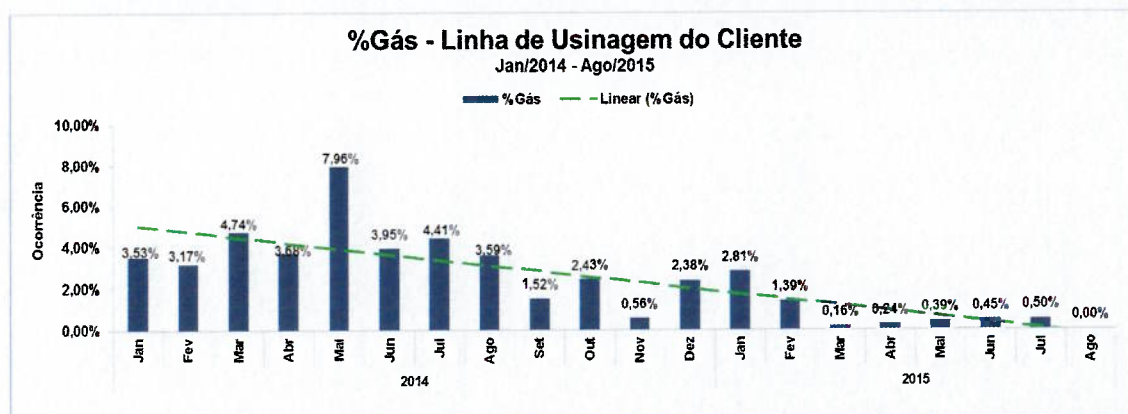
3.6 ETAPA C: CONTROLAR

A etapa Controlar iniciou-se em Março de 2015 e foi desenvolvida em duas fases importantes: avaliação da eficácia das soluções implementadas através do alcance das metas propostas e então, a padronização destas ações no processo.

3.6.1 Meta global e metas específicas

Na primeira fase da etapa Controlar foi avaliado se a meta global e as metas específicas foram alcançadas. Para esta avaliação foi realizado o acompanhamento dos resultados das ações implementadas, na linha de usinagem do cliente, através da ocorrência de gases nas peças. Desta maneira foi possível medir a eficácia do conjunto das 10 ações. A figura 51 mostra o desempenho geral do defeito gás na usinagem do cliente de Janeiro de 2014 até Agosto de 2015.

Figura 51 - Gráfico mostrando a ocorrência de gases na linha de usinagem do cliente de Janeiro de 2014 a Agosto de 2015.

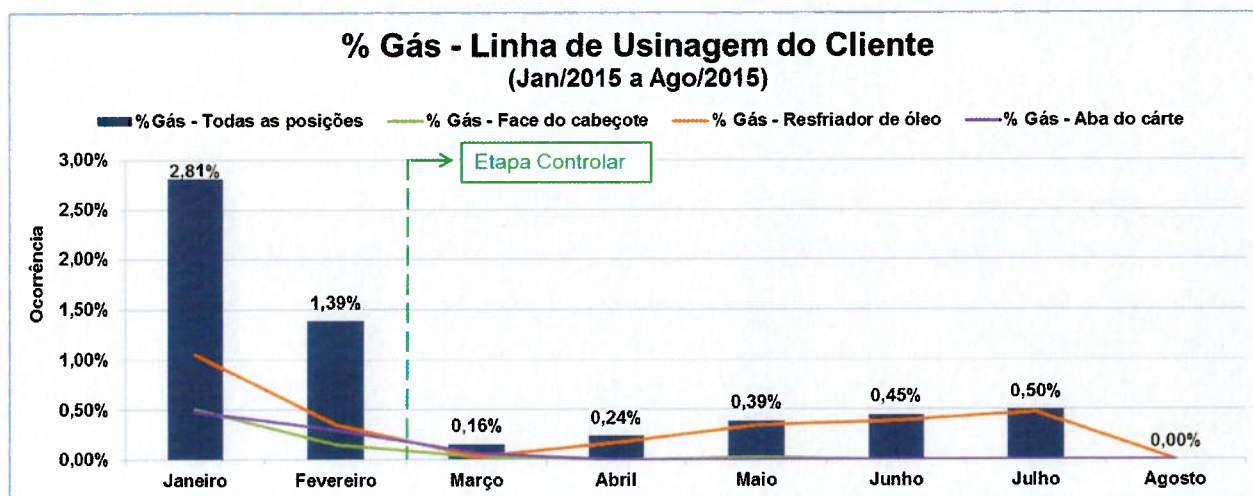


Fonte: Próprio Autor (2015)

No início do projeto a meta global foi estabelecida considerando as três principais regiões de maior incidência do defeito no período analisado de Janeiro de 2014 a Agosto de 2014. As regiões consideradas para a meta global foram face do cabeçote, resfriador de óleo e aba do cárter. De Janeiro a Agosto de 2014 a média da ocorrência de gases nestas três regiões estava em 3,62% e a meta definida era a redução desta média para 0,61% o que representaria 83,15% de diminuição do defeito.

A etapa Controlar foi executada através dos resultados a partir de Março de 2015. Portanto avaliou-se o período de Março de 2015 a Agosto de 2015 com a mesma metodologia utilizada na fase Medir. A figura 52 mostra a ocorrência do defeito gás no período de Janeiro a Agosto de 2015, considerando a incidência total e também nas três principais regiões. Porém, para efeito de avaliação da eficácia do projeto, foi considerado apenas a partir de Março de 2015.

Figura 52 - Gráfico mostrando o desempenho do defeito gás de Janeiro a Agosto de 2015 considerando as regiões face do cabeçote, resfriador de óleo, aba do cárter e o total na linha de usinagem do cliente.



Fonte: Próprio Autor (2015)

Seguindo o mesmo raciocínio utilizado para a definição das metas, tem-se os seguintes resultados para o período determinado para etapa controlar (Março de 2015 a Agosto de 2015) analisado na fase Controlar:

- Média todas as regiões: a média considerando todas as posições na ocorrência do defeito, no período, foi de 0,29%.
- Média das três principais regiões (global): a média de ocorrência do defeito considerando as regiões da face do cabeçote, resfriador de óleo e aba do cárter juntas, para o período, foi de 0,09%.
- Média face do cabeçote: a média específica para a região da face do cabeçote, para o período, foi de 0,01%, sendo que desde Junho de 2015 não há mais ocorrência de gases nesta região.
- Média resfriador de óleo: a média específica para a região do resfriador de óleo, para o período, foi de 0,24%.
- Média aba do cárter: a média específica para a região da aba do cárter, para o período, foi de 0,01%, sendo não há ocorrência de gases nesta região desde Abril de 2015.

A tabela 8 resume os resultados encontrados no período de Março a Agosto de 2015 comparando estes valores com o período de Janeiro a Agosto em 2014 utilizado na fase Medir.

Tabela 8 - Tabela com o resumo das metas global e específicas atingidas a partir da etapa Controlar.

Metas	% Média Gás (Jan/2014 a Ago/2014)	% Meta	% Meta de Redução	% Média Gás (Mar/2015 a Ago/2015)	% Redução Atingida
Meta Global	3,62%	0,61%	83,15%	0,09%	97,51%
Meta Face do Cabeçote	1,77%	0,19%	89,27%	0,01%	99,44%
Meta Resfriador de Óleo	1,25%	0,27%	78,40%	0,24%	80,80%
Meta Aba do Câter	0,60%	0,15%	75,00%	0,01%	98,33%

Fonte: Próprio Autor (2015)

De acordo com os números apresentados na tabela acima todas as metas, global e específicas, foram superadas após a implementação das soluções propostas pelo time multidisciplinar. Através dos resultados obtidos é possível afirmar que o conjunto de ações incorporadas ao processo produtivo, derivadas da fase Melhorar, foi eficaz.

3.6.2 Padronização das alterações

Após a verificação da eficácia das ações implementadas e, consequentemente, do alcance das metas global e específicas foi necessário padronizar as alterações no processo. Para esta atividade foram efetuadas revisões nos procedimentos operacionais padrões e fichas técnicas. As novas especificações foram adicionadas aos documentos pertinentes e estão resumidas na tabela 9 abaixo.

Tabela 9 - Resumo dos padrões e controles criados para cada ação implementada.

CAUSA RAIZ	CÓDIGO DA AÇÃO	SOLUÇÕES A SEREM IMPLANTADAS	PADRÕES CRIADOS	REVISÃO DO DOCUMENTO
Saída de gás da peça inadequada	A1	Melhorar saída de gás na região do resfriador de óleo	Revisar Ficha Técnica de Manutenção de Ferramentais Adicionar: Modificação no Modelo superior	Março/2015 Implementado
	A2	Colocar recartilhado nas regiões mais críticas de ocorrência de gases	Revisar Ficha Técnica de Manutenção de Ferramentais Adicionar: Modificação no Modelo superior	Março/2015 Implementado
	A3	Implementar procedimento de pré aquecimento por maçarico na linha de partição da caixa de moldagem, antes do vazamento, com objetivo de liberar parte dos gases dentro do molde.	Revisar Ficha Técnica de Fusão e Vazamento. Adicionar: Novo procedimento de pré-aquecimento na linha de divisão da caixa de moldagem antes do vazamento do metal líquido.	Março/2015 Implementado
	A4	Aumentar a vedação localizada na aba do cárter para evitar que metal líquido escape dos canais de alimentação e chegue dentro do molde por outros caminhos.	Revisar Ficha Técnica de Manutenção de Ferramentais Adicionar: Modificação no Modelo superior e inferior	Março/2015 Implementado
Alto tempo de vazamento	A5	Minimizar o tempo de vazamento em 3 segundos do tempo atual.	Revisar Ficha Técnica de Fusão e Vazamento. Adicionar: Nova especificação de tempo de vazamento.	Março/2015 Implementado
	A6	Desenvolver nova fresa para melhorar a condição de vazamento. A proposta desta nova fresa é mudar o perfil da cubeta para cônico com objetivo de diminuir a turbulência durante o vazamento.	Revisar Ficha Técnica de Moldagem. Adicionar: Posições, cotas e ciclo de vida da nova fresa.	Março/2015 Implementado
	A7	Modificar o perfil do canal de descida de cilíndrico para quadrado com objetivo de diminuir o vortex gerado durante o vazamento.	Revisar Ficha Técnica de Manutenção de Ferramentais Adicionar: Modificação no Modelo superior	Março/2015 Implementado
Relação compactabilidade/umidade da areia verde inadequada	A8	Alterar especificação com o objetivo de diminuir a relação compactabilidade/umidade trabalhando entre 14 e 21, ao invés de 15 e 22.	Revisar Instrução de Trabalho da Moldagem. Adicionar: Nova especificação para a relação compactabilidade/umidade da areia verde.	Dezembro/2014 Implementado
Compactabilidade da areia verde inadequada	A9	Alterar especificação com o objetivo de aumentar a compactabilidade trabalhando 42 e 46 %, ao invés de 41 e 48 %.	Revisar Instrução de Trabalho da Moldagem. Adicionar: Nova especificação para a compactabilidade da areia verde.	Dezembro/2014 Implementado
Adição de resfriadores metálicos - Macharia	A10	Adicionar 50% de cromita na galeria de água com o objetivo de eliminar a colocação de resfriadores metálicos durante o processo de macharia.	Revisar Ficha Técnica de Macharia. Adicionar: Produção dos pacotes de macho e confecção da galeria de água sem adição do resfriador metálico.	Janeiro/2015 Implementado

Fonte: Próprio Autor (2015)

Uma vez padronizada todas as alterações efetuadas, criou-se um plano de monitoramento interno para algumas das variáveis de processo e também para a ocorrência do defeito gases no cliente, com o objetivo de monitorar a performance do processo e o alcance da meta. A tabela 10 mostra o plano de monitoramento desenvolvido.

Tabela 10 - Plano de monitoramento das variáveis de processo e meta do projeto.

Nome do Processo	Nível do Indicador	Nome do Indicador	Unidade do Indicador	Fórmula do Indicador	Frequência de Medição do Indicador	Frequência de Reporte do Indicador	Comentários	Meta	Valor Atual do Indicador	Período de Referência do Valor Atual do Indicador
Fusão	Principal	Tempo de vazamento	segundos	Não se aplica. Trata-se de um dado coletado na fábrica	A cada 10 moldes	Diariamente	Trata-se de um controle efetuado pela produção.	22	22	mar-15
Moldagem	Principal	Relação compactabilidade/umidade	-	Não se aplica. Trata-se de um dado coletado na fábrica	3 x / turno	Diariamente	Trata-se de um controle efetuado pela produção.	17,5	17,5	mar-15
Moldagem	Principal	Compactabilidade	%	Não se aplica. Trata-se de um dado coletado na fábrica	3 x / turno	Diariamente	Trata-se de um controle efetuado pela produção.	44	43	mar-15
Meta global do projeto	Principal	%Ocorrência de gases no cliente	%	%Gas/ Peças Usinadas	Mensal	Mensal	Trata-se de um acompanhamento efetuado pela Engenharia	0,61%	0%	ago-15

Fonte: Próprio Autor (2015)

Importante ressaltar que o plano de monitoramento só foi criado para as variáveis que necessitam de acompanhamento devido a sua constante variação. Para as outras soluções apresentadas e implementadas neste projeto tratam-se de alterações em definitivo no produto ou em alguma fase do processo que não necessariamente precisam de monitoramento constante. Para todas as ações foi criado um plano preventivo contemplado na documentação revisada para garantir a eficácia das soluções no futuro que segue resumido na tabela 11.

Tabela 11 - Plano preventivo para garantir a eficácia das soluções implementadas, a longo prazo.

5W2H - PLANO PREVENTIVO									
CAUSA RAZ	CÓDIGO DA AÇÃO	SOLUÇÕES IMPLEMENTADAS	O QUE (ATIVIDADE)	QUEM	QUANDO	PORQUE	ONDE	COMO	QUANTO
Saída de gás da peça inadequada	A1	Melhorar saída de gás na região do resfriador de óleo	Verificar se os pinos estão colocados adequadamente antes de produzir	Modelação Moldagem	Antes de cada produção	Realizar check list dos modelos antes de produzir	Modelo superior	Fazer o check list sempre antes do modelo entrar na máquina	-
	A2	Colocar recartilhado nas regiões mais críticas de ocorrência de gases	Verificar se o recartilhado está colocado adequadamente antes de produzir	Modelação Moldagem	Antes de cada produção	Realizar check list dos modelos antes de produzir	Modelo superior	Fazer o check list sempre antes do modelo entrar na máquina	-
	A3	Implementar procedimento de pré aquecimento por maçarico na linha de partição da caixa de moldagem, antes do vazamento, com objetivo de liberar parte dos gases dentro do molde.	Checar funcionamento do maçarico antes de produzir	Fusão	A cada início de turno	Realizar teste no maçarico a cada início de turno	Fusão	Testar maçarico antes de iniciar o turno de produção	-
	A4	Aumentar a vedação localizada na aba do cârter para evitar que metal líquido escape dos canais de alimentação e chegue dentro do molde por outros caminhos.	Verificar condições de vedação na região do cârter antes de produzir	Modelação Moldagem	Antes de cada produção	Realizar check list dos modelos antes de produzir	Modelo superior e inferior	Fazer o check list sempre antes do modelo entrar na máquina	-
	A5	Minimizar o tempo de vazamento em 3 segundos do tempo atual.	Acompanhar a tendência dos dados, caso estejam aumentando atuar para diminuir	Fusão	A cada vazamento	Evitar vazamentos com altos tempos	Forno vazador	Alterar parâmetros do forno vazador	-
	A6	Desenvolver nova fresa para melhorar a condição de vazamento. A proposta desta nova fresa é mudar o perfil da cubeta para cônico com objetivo de diminuir a turbulência durante o vazamento.	Avallar a vida útil da fresa	Moldagem	A cada 6.000 ciclos	Garantir que a fresa estará operando adequadamente	Moldagem	Checar o painel de controle da LS	-
	A7	Modificar o perfil do canal de descida de cilíndrico para quadrado com objetivo de diminuir o vortex gerado durante o vazamento.	Verificar se o canal de descida correto está instalado antes de produzir	Modelação Moldagem	Antes de cada produção	Realizar check list dos modelos antes de produzir	Modelo superior	Fazer o check list sempre antes do modelo entrar na máquina	-
	A8	Alterar especificação com o objetivo de diminuir a relação compactabilidade/umidade trabalhando entre 14 e 21, ao invés de 15 e 22.	Avallar resultados do laboratório	Engenharia Moldagem	Diariamente	Perceber tendências e evitar trabalhar fora da especificação	Kitronn	Verificar possível tendência de aumento ou redução desta propriedade	-
	A9	Alterar especificação com o objetivo de aumentar a compactabilidade trabalhando 42 e 46 %, ao invés de 41 e 48 %.	Avallar resultados do laboratório	Engenharia Moldagem	Diariamente	Perceber tendências e evitar trabalhar fora da especificação	Kitronn	Verificar possível tendência de aumento ou redução desta propriedade	-
	A10	Adicionar 50% de cromita na galeria de água com o objetivo de eliminar a colocação de resfriadores metálicos durante o processo de macharia.	Verificar quantidade correta de cromita adicionada na galeria de água	Macharia Controle de Processos	Início de produção	Evitar utilizar menos cromita do que a "receita" podendo causar porosidades na região da galeria	Macharia	Verificar possível tendência de aumento ou redução desta propriedade	-

Fonte: Próprio Autor (2015)

4 CONCLUSÃO

O ambiente atual de negócios exige uma dedicação ainda maior em relação à qualidade dos produtos e dos serviços. Trabalhar com Seis Sigma significa trabalhar com melhoria contínua de processo, de forma estruturada e planejada com objetivo de atingir economia de custos, satisfação do cliente, fidelidade e desenvolvimento dos colaboradores. A metodologia Seis Sigma não é apenas um programa de qualidade e produtividade. Deve ser encarado como uma filosofia que demanda foco e trabalho em equipe.

O principal objetivo deste estudo de caso foi mostrar a eficiência da filosofia Seis Sigma através da metodologia DMAIC, na redução do defeito gás na linha de usinagem do cliente, uma vez que devido a este problema a Fundação foi inserida no “Programa de Melhoria de Fornecedores” organizado pelo cliente. Este projeto Seis Sigma, durou em torno de um ano considerando da fase Definir até a fase Controlar e após seu terminou foi possível verificar o quanto este projeto trouxe benefícios a Organização bem como oportunidades de melhorias.

A proposta do projeto, definida na etapa Medir, era reduzir a média do defeito gás nas três principais regiões – face do cabeçote, resfriador de óleo e aba do cárter – em 83,15%, ou seja, diminuir de 3,62% (média levantada no período de Janeiro a Agosto de 2014 durante a etapa Medir) para 0,61%. Ao final do projeto, na etapa Controlar, foi constatado que a média destas três regiões, considerando seis meses de avaliação (Março a Agosto de 2015) reduziu em 97,51%, ou seja, a meta foi superada chegando em 0,09%. Em todas as três posições houve redução considerável na ocorrência de gases e este fato se estendeu a todas as outras regiões, mesmo aquelas que não eram o foco principal do trabalho.

A partir destes resultados pode-se concluir que o conjunto das soluções propostas e implementadas foi eficaz e não só reduziu o defeito pontualmente, mas em todas as posições mostrando que quando aplicadas as ferramentas de forma correta, o processo ganha maior robustez e isto se reflete diretamente na qualidade do produto.

4.1 CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES DE CADA ETAPA DO PROJETO

4.1.1 Etapa D – Definir

Nesta etapa a definição da métrica a ser utilizada no projeto foi de grande importância, uma vez que todo o trabalho seria conduzido e baseado a partir desta medição. Outro ponto chave na fase Definir foi o levantamento do histórico do defeito e das posições de maior incidência do gás. Estas informações norteou a equipe com relação ao foco de trabalho.

4.1.2 Etapa M – Medir

Na etapa Medir o método de estratificação do defeito foi a principal base para que fosse possível definir as metas global e específicas do projeto. Nesta fase foi amplamente empregada a utilização de paretos e gráficos para melhor entender a situação do problema em cada região estudada.

4.1.3 Etapa A – Analisar

Na fase analisar foi realizado um estudo aprofundado dos processos envolvidos na ocorrência de gases. Para este estudo utilizou-se ferramentas como fluxo de processo e diagrama de afinidades. Devido a grande quantidade de variáveis identificadas como possíveis causas, a equipe teve que atuar de forma mais intensiva nesta etapa para que estas causas pudessem ser priorizadas. Uma vez priorizadas, foi necessário conduzir estudos para realizar a verificação das causas.

Esta etapa de verificação das causas foi a fase mais trabalhosa e demorada para a equipe. Diversas dificuldades foram encontradas durante a realização da confirmação das causas:

- Os dados de processos já existentes não eram confiáveis, e por isso a equipe precisou coordenar lotes acompanhados para coleta de dados.
- Os dados coletados nos lotes experimentais não seguiam distribuição normal. A equipe investigou os motivos pelos quais os dados coletados

não tinham normalidade, e detectou-se falta de resolução/precisão nos equipamentos de medição utilizados para alguns casos, e para outras variáveis os dados coletados pelos operadores estão sendo registrados de forma incorreta. A equipe não tinha conhecimento destas questões antes do desenvolvimento do projeto e este fato trouxe oportunidades de melhoria para a Organização.

- O teste de hipóteses utilizado de forma qualitativa, embasado com o conhecimento metalúrgico da equipe para indicar quais causas estudadas eram reais, se mostrou bastante útil e importante para a análise das variáveis, e seus resultados também foram de encontro com o conhecimento e literatura técnica.

4.1.4 Etapa M – Melhorar

O grande tempo consumido pela etapa Analisar, foi compensado pelo pouco tempo gasto na etapa Melhorar. Ou seja, a equipe utilizou grande parte do tempo analisando o processo, conhecendo bem as variáveis, suas faixas de trabalho e sua influência na ocorrência do defeito. Quando esta fase de análise foi finalizada o time já havia entendido exatamente onde deveria atuar e quais soluções deveriam ser implementadas ao processo. Assim foi demonstrado novamente, que quando aplicada a ferramenta corretamente as soluções são apresentadas de forma quase que instintiva, uma vez que o processo e suas variáveis foram estudadas exaustivamente pelo time.

4.1.5 Etapa C – Controlar

A relevância desta etapa – além do fato de mostrar o sucesso do projeto através dos resultados obtidos – foi o desenvolvimento dos planos de monitoramento e preventivo, pois é através destes documentos que será possível garantir em longo prazo os resultados alcançados. A partir da definição destes planos, todos os documentos e instruções técnicas foram revisados e os operadores todos treinados.

5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FORREST, W. B. **Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods**. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

GARCIA, A. **Solidificação: Fundamentos e Aplicações**. 2. ed. Campinas: Unicamp, 2007.

MATOS, J. L. **Implementação de um Projeto de Melhorias em um Processo de Reação Química em Bateladas Utilizando o Método DMAIC**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 127. 2003.

MORO, N. **Processos de Fabricação: Fundição**. (Curso Técnico de Mecânica Industrial) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina. Florianópolis, p. 29. 2007.

PEREZ-WILSON, M. **Seis Sigma: Compreendendo o Conceito, as Implementações e os Desafios**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2000.

ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma: Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. 1. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2014.

SCATOLIN, A. C. **Aplicação da Metodologia Seis Sigma na Redução das Perdas de um Processo de Manufatura**. Dissertação (Mestrado profissional) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 155. 2005.

SHANKAR, R. **Process Improvement Using Six Sigma: A DMAIC Guide**. Milwaukee: ASQ, 2009.

SILVA, J. J. S. **Processos de Fabricação III: Processos de Fundição**. (Apostila) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Resende, p. 49. 2009.

SITE SOBRE A ORGANIZAÇÃO. Perfil da Organização. Disponível em: <<http://www.tupy.com.br/portuguese/empresa/perfil.php>>. Acesso em: 19 Julho 2015.

SOARES, G. A. **Fundição: Mercado, Processo e Metalurgia**. Rio de Janeiro, p. 123. 2000.

WERKEMA, M. C. C. **Criando a Cultura Seis Sigma**. 3. ed. Nova Lima: Werkema, v. I, 2004.

APÊNDICE A – Matriz de Priorização Completa

Figura 53 - Matriz de Priorização completa criada pela equipe na etapa Analisar.

MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO		Impacto sobre o defeito gases	Difícil detecção?	Tendência	Facilidade de solução	Probabilidade de ocorrência	NOTA	CORRELAÇÃO
PRIORIZAÇÃO DAS CAUSAS POTENCIAIS DO DEFEITO GASES							5	FORTE
							3	MÉDIO
							1	FRACO
							0	AUSENTE
							7029	
PESO		10	7	6	8	5	TOTAL	%
Nº	CAUSA	NOTA						
1	Alto teor de resina	5	3	5	1	3	124	1,76%
2	Baixa permeabilidade da tinta de macharia nova	3	5	1	3	1	100	1,42%
3	Alto teor de voláteis da areia da macharia nova	5	3	1	3	1	106	1,51%
4	Alto teor de finos da areia da macharia nova	5	3	1	3	1	106	1,51%
5	Alto teor de umidade da areia da macharia nova	1	3	1	3	1	66	0,94%
6	Alto módulo de finura da areia da macharia nova	5	3	1	3	1	106	1,51%
7	Aferição dos misturadores inadequada	5	1	1	1	3	86	1,22%
8	Utilização de aditivos (cromita, S37, etc)	3	5	1	1	1	84	1,20%
9	Excesso de cola fria	1	1	3	3	3	74	1,05%
10	Teor de areia regenerada inadequado	1	1	1	5	3	78	1,11%
11	Umidade no sistema excessiva - macharia	1	1	1	1	1	36	0,51%
12	Tempo de estoque de macho inadequado	3	1	3	1	1	68	0,97%
13	Qualidade da cola fria inadequada	5	1	1	5	3	118	1,68%
14	Excesso de desmoldante na macharia	1	1	3	3	3	74	1,05%
15	Elevado adensamento dos machos	5	5	1	5	3	146	2,08%
16	Uso de pré e pós pintura incorretamente	3	3	3	3	3	108	1,54%
17	Estufagem de machos deficiente (baixos tempo e temperatura, projeto, manutenção)	3	3	1	3	5	106	1,51%
18	Macho danificado	3	5	1	3	3	110	1,56%
19	Elevada camada de tinta (densidade alta e tempo de imersão alto) nos pacotes de macho	1	3	1	5	3	92	1,31%
20	Excesso de umidade no pacote (tinta nas marcações)	5	5	3	3	3	142	2,02%
21	Ventilação dos machos ineficiente	5	3	1	3	3	116	1,65%
22	Adição de resfriadores metálicos oxidados / sujos - Macharia	5	3	1	5	3	132	1,88%
23	Adição de resfriadores metálicos - Macharia	5	3	1	5	3	132	1,88%
24	Alta carga refratária da tinta de moldagem	3	5	0	1	0	73	1,04%
25	Alto teor de voláteis da areia 80/100	5	3	1	1	1	90	1,28%
26	Alto teor de finos da areia 80/100	5	3	1	3	1	106	1,51%
27	Alto teor de umidade da areia 80/100	1	3	1	1	1	50	0,71%
28	Alto módulo de finura da areia 80/100	5	3	1	3	1	106	1,51%
29	Pó de carvão com alto teor de voláteis	5	3	1	3	1	106	1,51%
30	Pó de carvão com alto teor de combustíveis	5	3	1	3	1	106	1,51%
31	Alto teor de combustíveis da areia verde	5	3	1	5	1	122	1,74%
32	Alto teor de voláteis da areia verde	5	3	1	5	1	122	1,74%
33	Alto teor de finos da areia verde	5	3	3	3	3	128	1,82%
34	Baixa permeabilidade da areia verde	5	3	1	3	1	106	1,51%
35	Alto teor de umidade da areia verde	5	3	3	3	3	128	1,82%
36	Alto módulo de finura da areia verde	5	3	1	5	1	122	1,74%
37	Alta argila ativa da areia verde	3	3	1	5	3	112	1,59%
38	Relação compactabilidade/umidade da areia verde inadequada	5	3	3	3	3	128	1,82%
39	Compactabilidade da areia verde inadequada	5	3	3	3	3	128	1,82%
40	Proporção de bentonita inadequada (Del Lago e CBB) da areia verde	3	5	3	3	3	122	1,74%
41	Utilização do Rotocontrol na areia verde	5	3	3	3	3	128	1,82%
42	Elevada resistência dos moldes superiores	5	3	1	5	1	122	1,74%
43	Excesso de desmoldante nos modelos	3	5	1	5	1	116	1,65%
44	Temperatura baixa da areia verde	1	3	1	1	1	50	0,71%
45	Umidade no sistema excessiva - moldagem	1	3	1	3	1	66	0,94%
46	Excesso de tinta nos moldes	3	5	3	3	3	122	1,74%
47	Furação do molde deficiente (respiros)	5	5	5	1	5	148	2,11%
48	Moldar com o pacote quente	3	1	1	5	1	88	1,25%
49	Vedação da ventilação macho/molde	5	3	3	1	3	112	1,59%
50	Baixa temperatura de vazamento	5	3	3	5	5	154	2,19%
51	Alto tempo de vazamento	5	1	5	3	5	136	1,93%
52	Teor de carbono equivalente inadequado	5	3	5	1	3	124	1,76%
53	Alto teor de nitrogênio	5	3	5	1	3	124	1,76%
54	Alto teor de alumínio	5	3	1	1	1	90	1,28%
55	Alto teor de manganês	5	3	5	1	5	134	1,91%
56	Alto teor de zinco	3	3	5	1	3	104	1,48%
57	Alto teor de hidrogênio	5	0	3	1	3	91	1,29%
58	Alto teor de oxigênio	5	0	3	1	3	91	1,29%
59	Sistema de Alimentação da Peça Inadequado	5	3	1	3	5	126	1,79%
60	Tubulência no vazamento	3	3	1	3	3	96	1,37%
61	Vazamento inadequado (lavar molde)	5	3	5	3	5	150	2,13%
62	Elevada umidade no inoculante	5	5	3	1	1	116	1,65%
63	Composição Química inadequada do inoculante (%Ca)	1	3	1	3	1	66	0,94%
64	Qualidade do Refratório (mp / processo)	1	1	1	1	1	36	0,51%
65	Falta de pré-aquecimento panela	5	5	5	1	5	148	2,11%
66	Saída de gás da peça inadequada	5	3	1	3	5	126	1,79%
67	Alto teor de voláteis da areia regenerada	5	3	1	3	1	106	1,51%
68	Alto teor de finos da areia da regenerada	5	3	1	5	3	132	1,88%
69	Alto teor de umidade da areia da regenerada	1	3	1	5	1	82	1,17%
70	Alto módulo de finura da areia da regenerada	5	3	1	5	1	122	1,74%
71	Tinta da macharia contaminada	1	5	3	1	3	86	1,22%
72	Rebaixamento da cubeta durante vazamento	5	3	5	3	5	150	2,13%
73	Uso de galeria solteira	5	3	3	3	5	138	1,96%

Fonte: Próprio Autor (2015)

APÊNDICE B – Estudo Estatístico Completo

O estudo estatístico foi realizado para as seguintes variáveis, através do programa MINITAB:

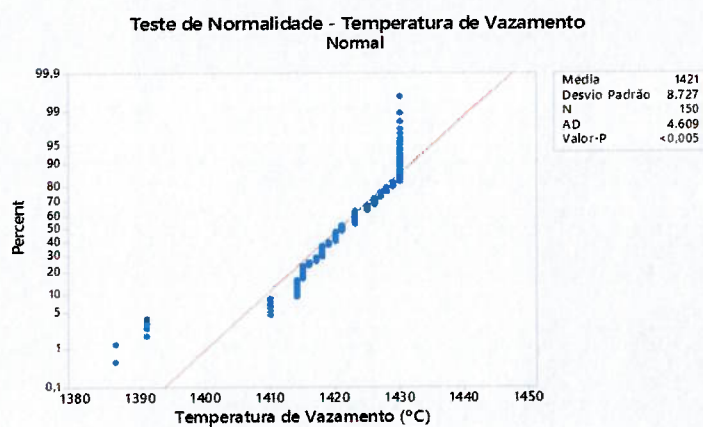
- Temperatura de Vazamento
- Tempo de Vazamento
- Teor de Carbono equivalente
- Teor de Manganês
- Teor de Nitrogênio
- Teor de combustíveis da areia verde
- Teor de finos da areia verde
- Teor de umidade da areia verde
- Módulo de finura da areia a verde
- Relação compactabilidade/umidade da areia verde
- Compactabilidade da areia verde
- Resistência dos moldes superiores
- Excesso de tinta nos moldes

B.1 TESTE DE NORMALIDADE

O teste de normalidade foi o primeiro teste a ser realizado, com objetivo de verificar se os dados coletados obedeciam à distribuição normal. Para verificar a normalidade considera-se que para os dados com valor-P maior que 0,005 a variável em estudo possui comportamento normal.

B.1.1 Temperatura de Vazamento (°C)

Figura 54 - Teste de Normalidade para temperatura de vazamento.

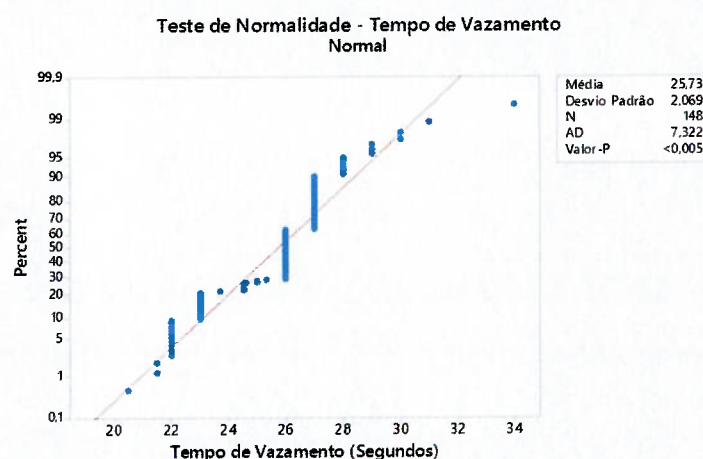


Fonte: Próprio Autor (2015)

- Os dados coletados para a temperatura de vazamento não seguem distribuição normal, pois valor-P é menor que 0,005.
- Motivo: valores de dados ruins (explanado no item 3.3.3.1).

B.1.2 Tempo de Vazamento (segundos)

Figura 55 - Teste de Normalidade para tempo de vazamento.



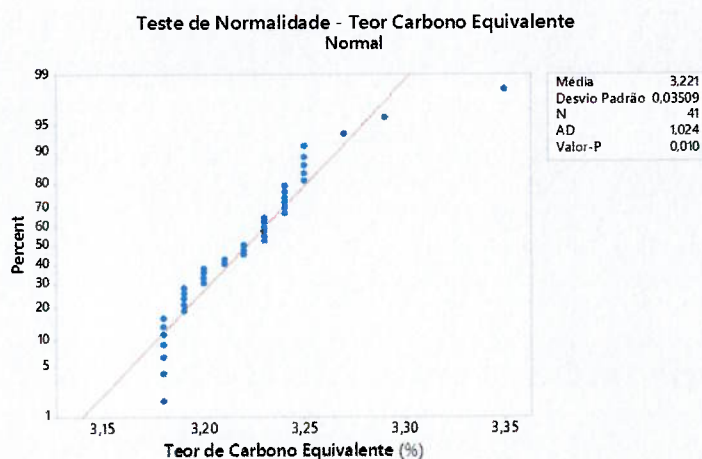
Fonte: Próprio Autor (2015)

- Os dados coletados para tempo de vazamento não seguem distribuição normal, pois valor-P é menor que 0,005.

- Motivo: resolução do equipamento inadequada (explanado no item 3.3.3.1).

B.1.3 Teor de Carbono Equivalente (%)

Figura 56 - Teste de Normalidade para teor de carbono equivalente.

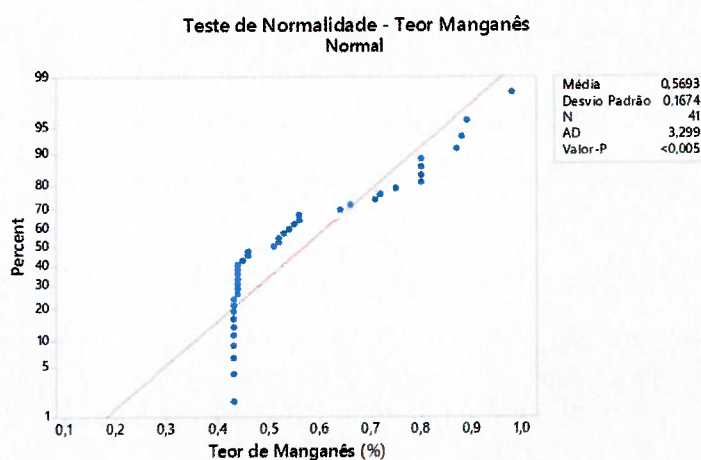


Fonte: Próprio Autor (2015)

- Os dados coletados para teor de manganês seguem distribuição normal, pois valor-P é 0,010, ou seja, maior que 0,005.

B.1.4 Teor de Manganês (%)

Figura 57 - Teste de Normalidade para teor de manganês.

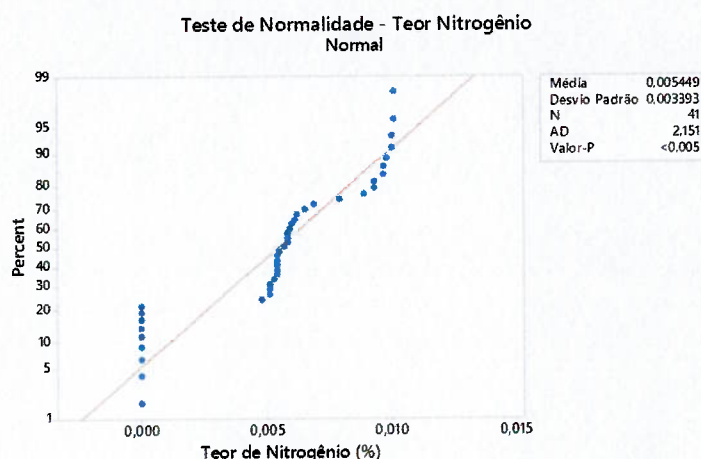


Fonte: Próprio Autor (2015)

- Os dados coletados para teor de nitrogênio não seguem distribuição normal, pois valor-P é menor que 0,005.
- Motivo: resolução do equipamento inadequada (explanado no item 3.3.3.1).

B.1.5 Teor de Nitrogênio (%)

Figura 58 - Teste de Normalidade para teor de nitrogênio.

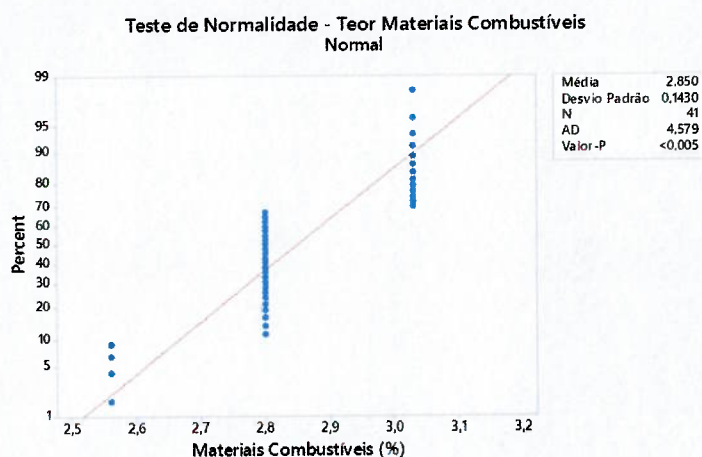


Fonte: Próprio Autor (2015)

- Os dados coletados para teor de nitrogênio não seguem distribuição normal, pois valor-P é menor que 0,005.
- Motivo: resolução do equipamento inadequada (explanado no item 3.3.3.1).

B.1.6 Teor de combustíveis da areia verde (%)

Figura 59 - Teste de Normalidade para teor de combustíveis da areia verde.

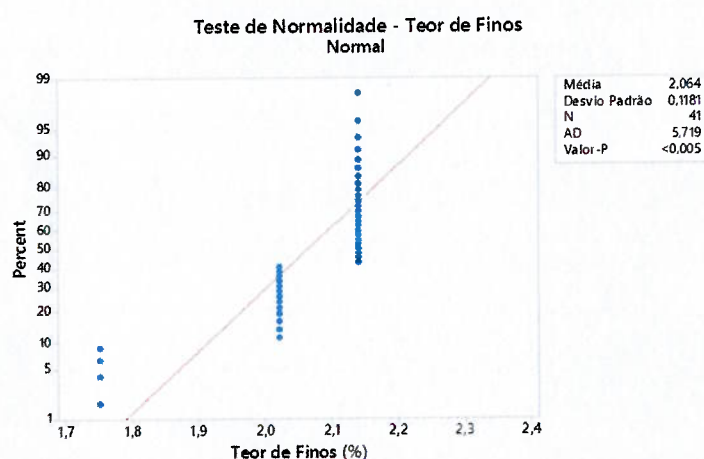


Fonte: Próprio Autor (2015)

- Os dados coletados para teor de combustíveis da areia verde não seguem distribuição normal, pois valor-P é menor que 0,005.
- Motivo: resolução do equipamento inadequada (explanado no item 3.3.3.1).

B.1.7 Teor de finos da areia verde (%)

Figura 60 - Teste de Normalidade para teor de finos da areia verde.

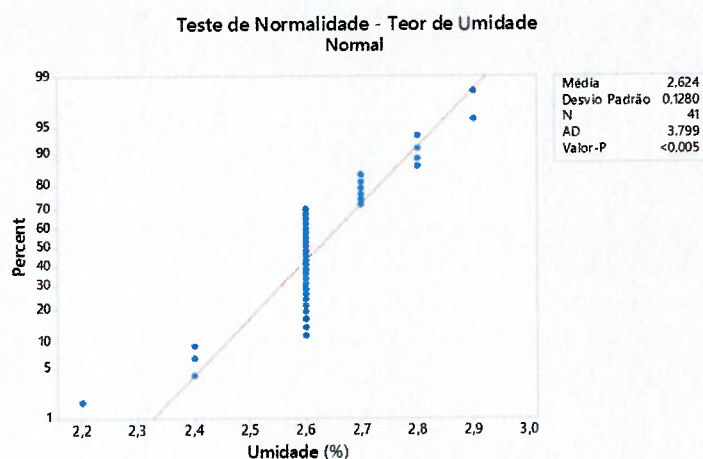


Fonte: Próprio Autor (2015)

- Os dados coletados para teor de finos da areia verde não seguem distribuição normal, pois valor-P é menor que 0,005.
- Motivo: resolução do equipamento inadequada (explanado no item 3.3.3.1).

B.1.8 Teor de umidade da areia verde (%)

Figura 61 - Teste de Normalidade para teor de umidade da areia verde.

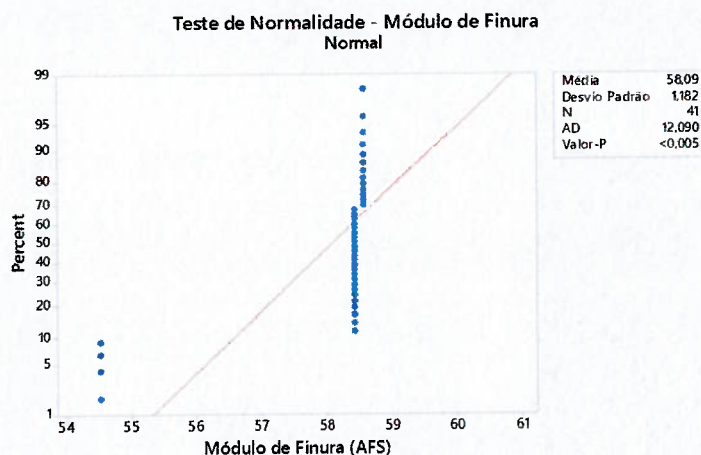


Fonte: Próprio Autor (2015)

- Os dados coletados para teor de umidade da areia verde não seguem distribuição normal, pois valor-P é menor que 0,005.
- Motivo: resolução do equipamento inadequada (explanado no item 3.3.3.1).

B.1.9 Módulo de finura da areia a verde (AFS)

Figura 62 - Teste de Normalidade para módulo de finura da areia verde.

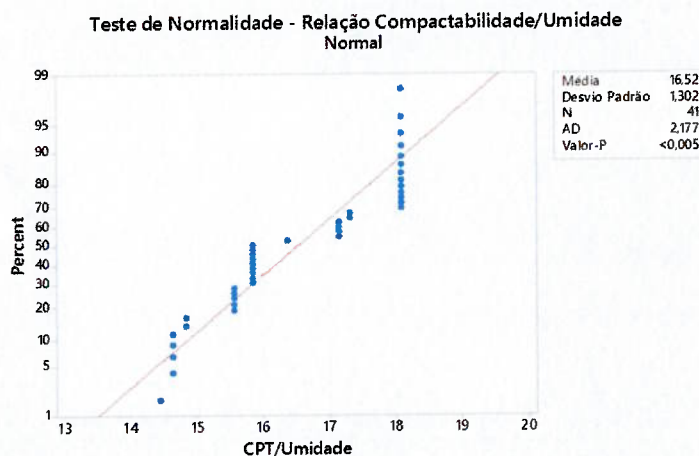


Fonte: Próprio Autor (2015)

- Os dados coletados para teor de umidade da areia verde não seguem distribuição normal, pois valor-P é menor que 0,005.
- Motivo: resolução do equipamento inadequada (explanado no item 3.3.3.1).

B.1.10 Relação compactabilidade/umidade da areia verde

Figura 63 - Teste de Normalidade para relação compactabilidade/umidade da areia verde.



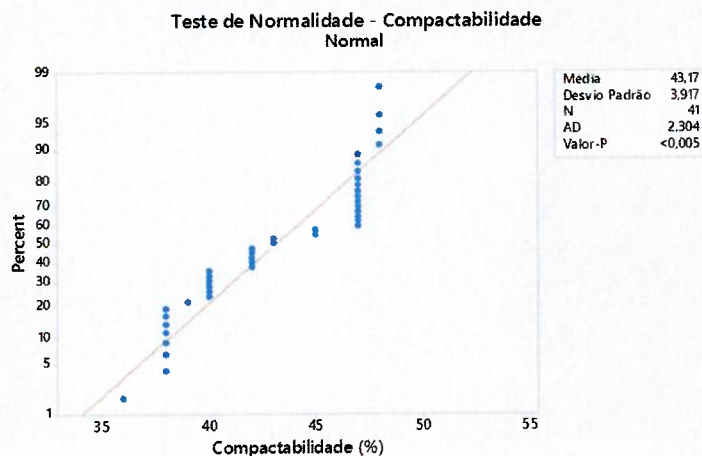
Fonte: Próprio Autor (2015)

- Os dados coletados para teor de umidade da areia verde não seguem distribuição normal, pois valor-P é menor que 0,005.

- Motivo: resolução do equipamento inadequada (explanado no item 3.3.3.1).

B.1.11 Compactabilidade da areia verde (%)

Figura 64 - Teste de Normalidade para compactabilidade da areia verde.

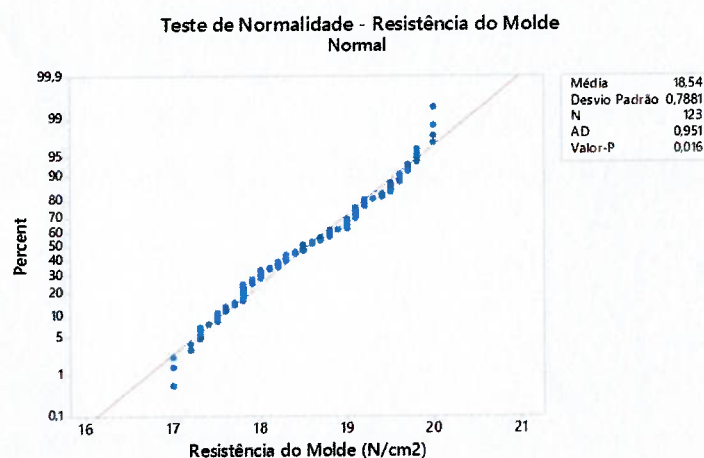


Fonte: Próprio Autor (2015)

- Os dados coletados para teor de umidade da areia verde não seguem distribuição normal, pois valor-P é menor que 0,005.
- Motivo: resolução do equipamento inadequada (explanado no item 3.3.3.1).

B.1.12 Resistência dos moldes superiores (N/cm²)

Figura 65 - Teste de Normalidade para resistência dos moldes superiores.

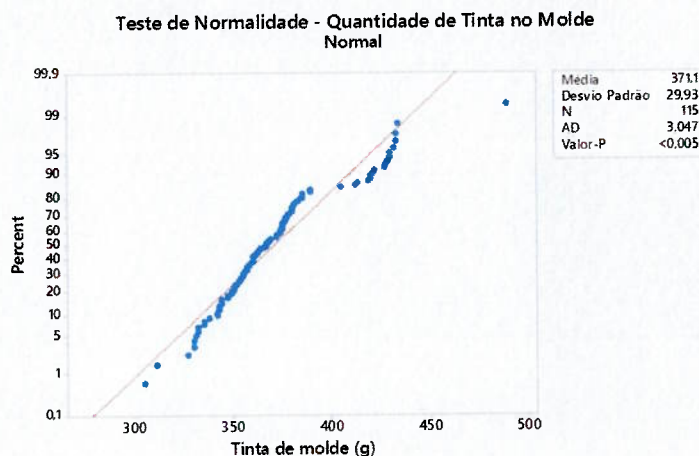


Fonte: Próprio Autor (2015)

- Os dados coletados para resistência dos moldes superiores seguem distribuição normal, pois valor-P é 0,016, ou seja, maior que 0,005.

B.1.13 Quantidade de tinta no molde (g)

Figura 66 - Teste de Normalidade para quantidade de tinta no molde.



Fonte: Próprio Autor (2015)

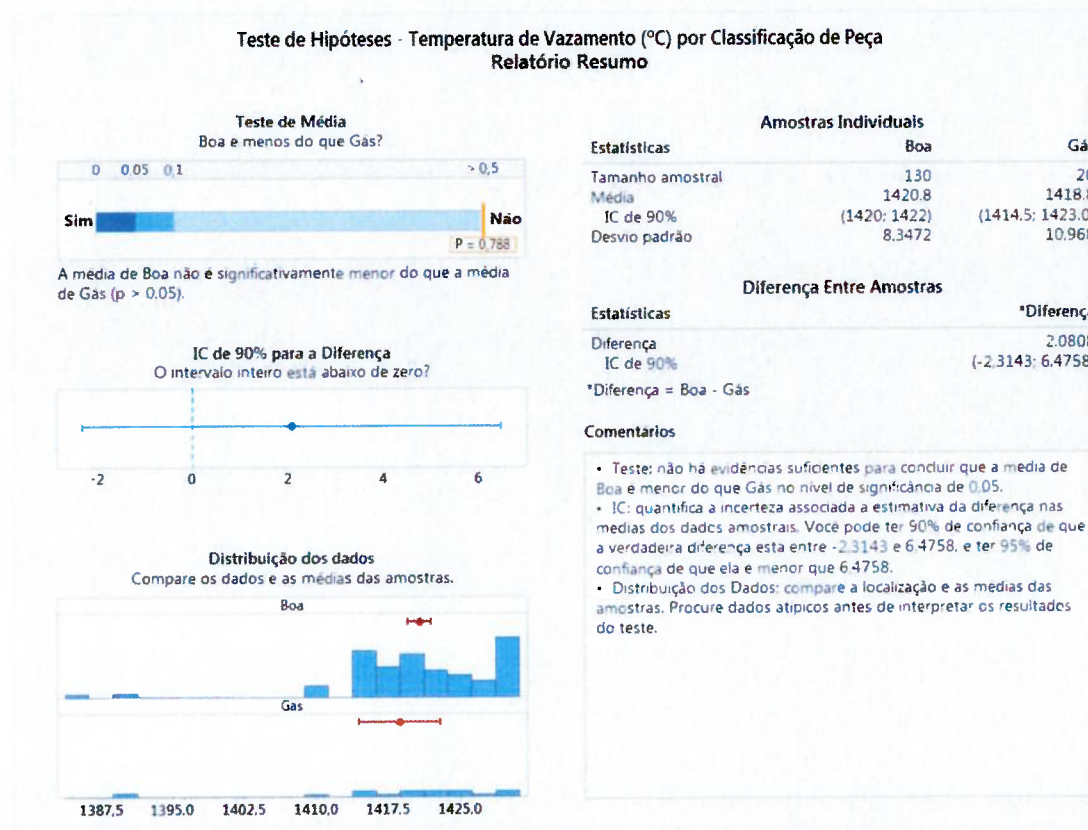
- Os dados coletados para quantidade de tinta no molde não seguem distribuição normal, pois valor-P é menor que 0,005.
- Motivo: resolução do equipamento inadequada (explanado no item 3.3.3.1).

B.2 TESTE DE HIPÓTESES – DUAS AMOSTRAS

Após aplicado o teste de normalidade, foi realizado o teste de hipóteses para as causas acima. Através deste teste foram comparadas as médias de cada uma das variáveis que geraram peças boas e peças com gás, avaliando a significância da diferença entre elas para um intervalo de confiança de 95%. Se a probabilidade calculada no final do teste for menor que 0,05 pode concluir que a diferença entre as médias de peças boas e peças com gás para aquela variável e na faixa de trabalho utilizada, é significativa e, portanto classifica-se a variável como causa fundamental.

B.2.1 Temperatura de Vazamento (°C)

Figura 67 - Teste de hipóteses para temperatura de vazamento.

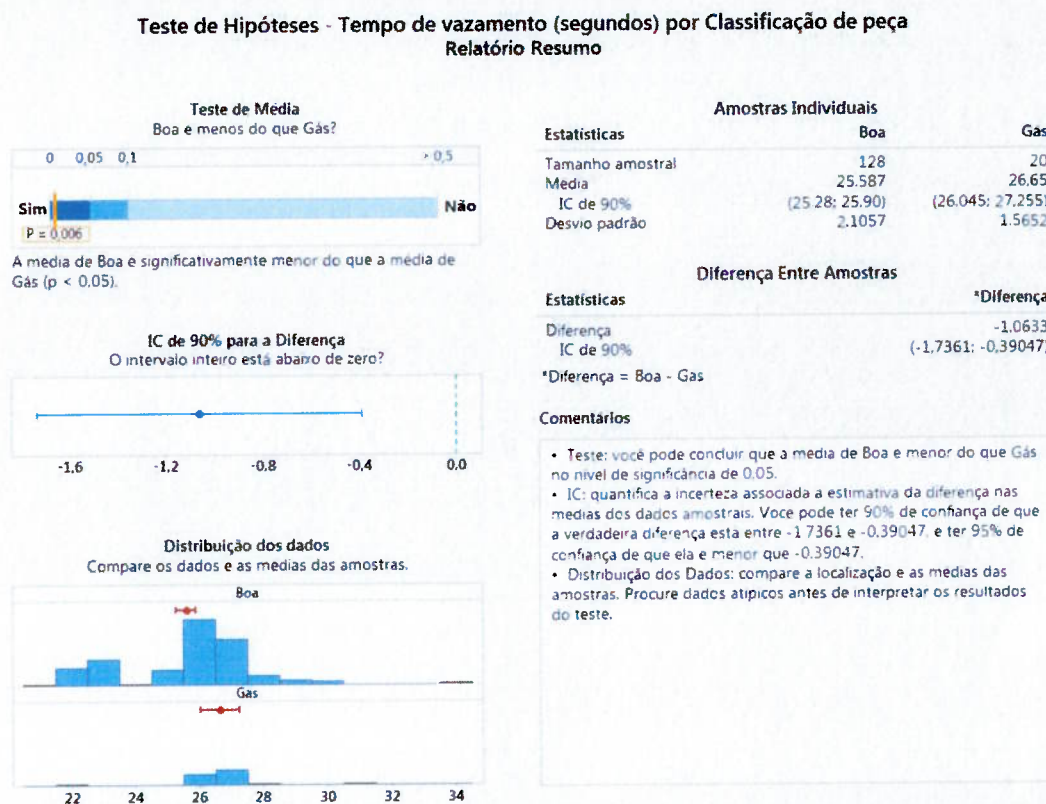


Fonte: Próprio Autor (2015)

De acordo com o teste de hipóteses aplicado e mostrado na figura 67, a temperatura de vazamento não pode ser considerada causa fundamental.

B.2.2. Tempo de Vazamento (segundos)

Figura 68 - Teste de hipóteses para tempo de vazamento.

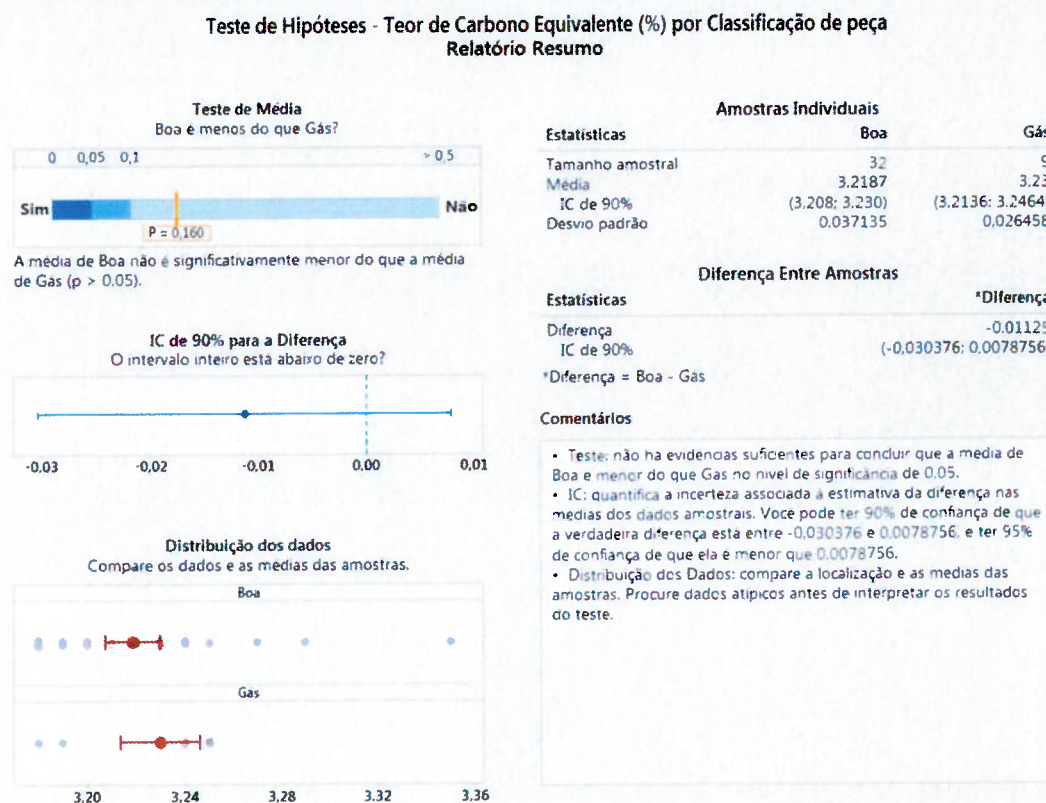


Fonte: Próprio Autor (2015)

De acordo com o teste de hipóteses aplicado na figura 68, o tempo de vazamento pode ser considerado causa fundamental. Avaliando o gráfico da distribuição dos dados nota-se que a média do tempo de vazamento que gerou peças boas é menor que a média do tempo para peças com gás. Esta informação indica que tempos de vazamento menores podem reduzir a ocorrência do defeito o que vai de encontro com a literatura metalúrgica sobre o efeito do tempo de vazamento na geração de gases.

B.2.3 Teor de Carbono Equivalente (%)

Figura 69 - Teste de hipóteses para teor de carbono equivalente.



Fonte: Próprio Autor (2015)

De acordo com o teste de hipóteses aplicado na figura 69, o teor de carbono equivalente não pode ser considerado causa fundamental.

B.2.4 Teor de Manganês (%)

Figura 70 - Teste de hipóteses para teor de manganês.



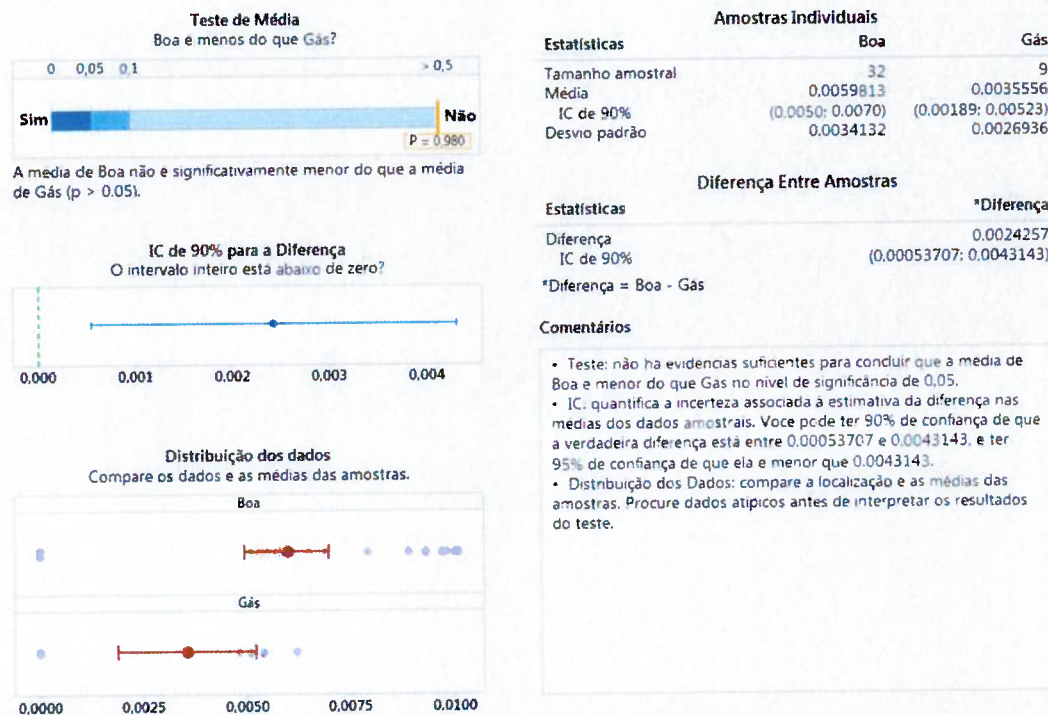
Fonte: Próprio Autor (2015)

De acordo com o teste de hipóteses aplicado na figura 70, o teor de Manganês não pode ser considerado causa fundamental.

B.2.5 Teor de Nitrogênio (%)

Figura 71 - Teste de hipóteses para teor de nitrogênio.

Teste de Hipóteses - Teor de Nitrogênio (%) por Classificação de peça Relatório Resumo

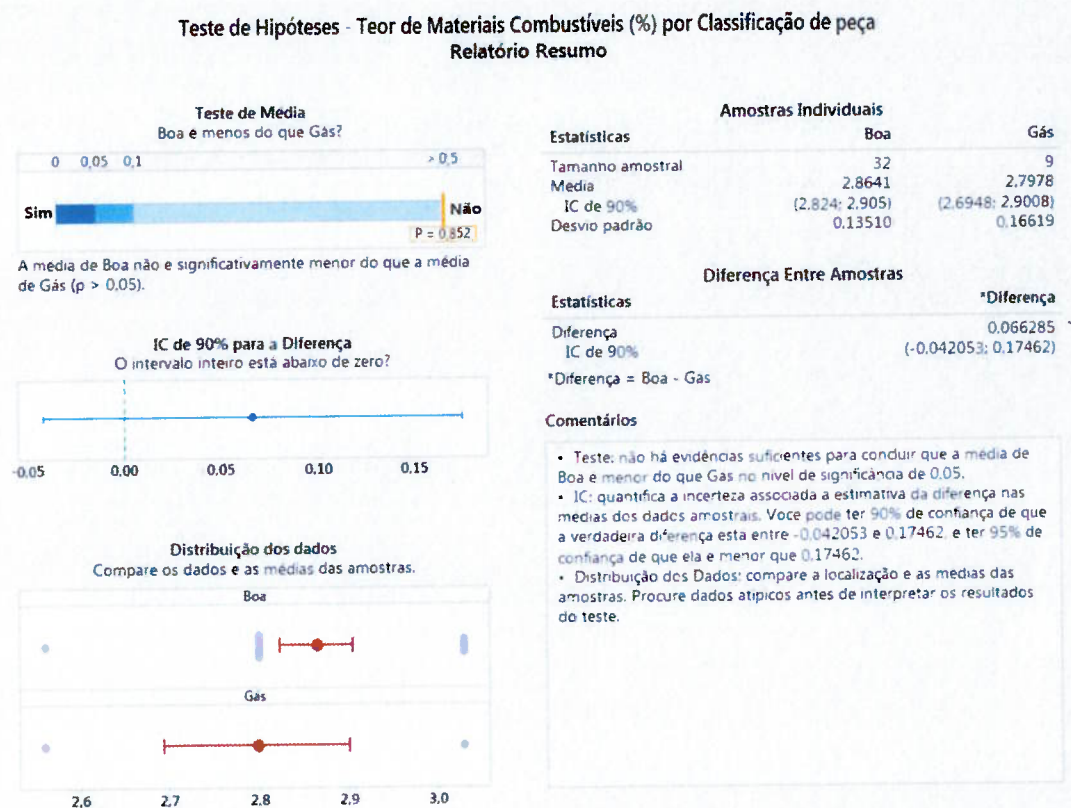


Fonte: Próprio Autor (2015)

De acordo com o teste de hipóteses aplicado na figura 71, o teor de Nitrogênio não pode ser considerado causa fundamental.

B.2.6 Teor de combustíveis da areia verde (%)

Figura 72 - Teste de hipóteses para teor de combustíveis da areia verde.

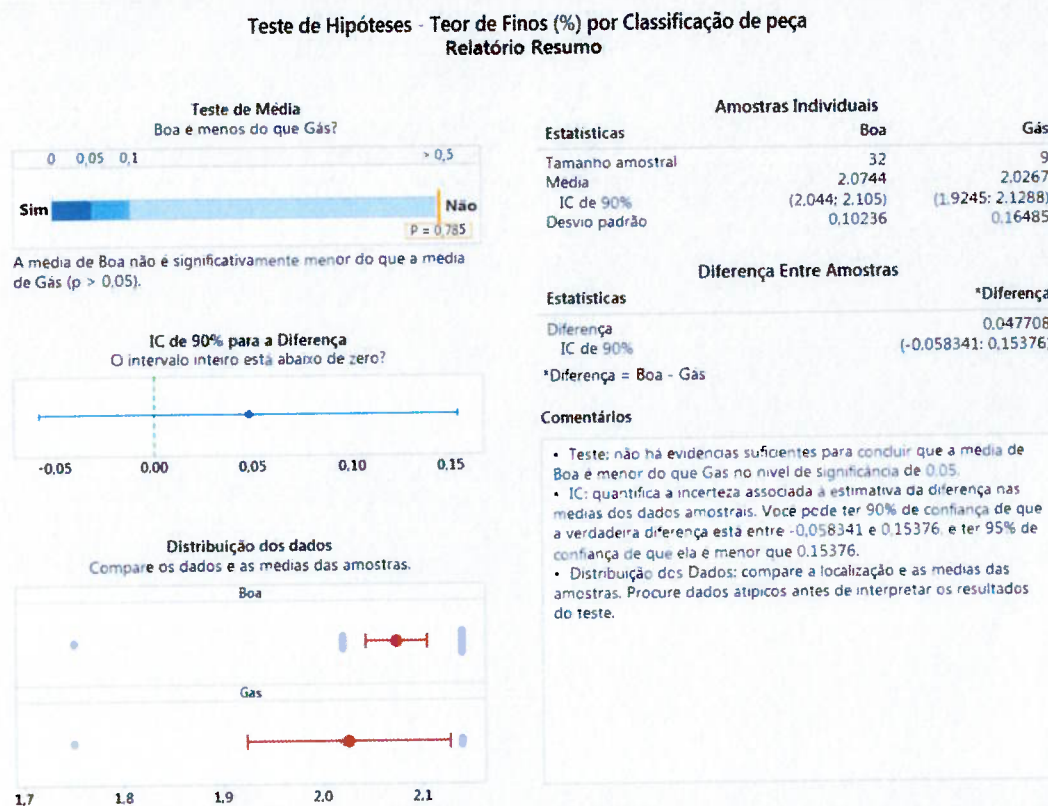


Fonte: Próprio Autor (2015)

De acordo com o teste de hipóteses aplicado na figura 72, o teor de materiais combustíveis não pode ser considerado causa fundamental.

B.2.7 Teor de finos da areia verde (%)

Figura 73 - Teste de hipóteses para teor de finos da areia verde.

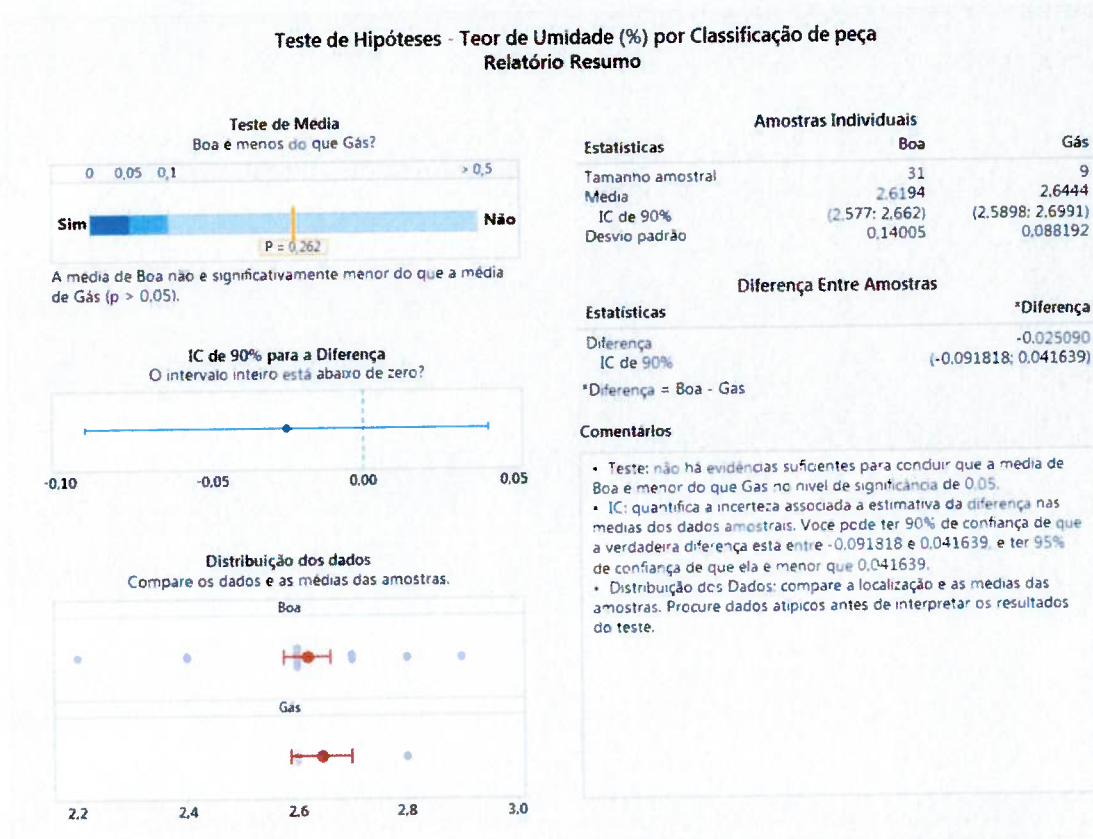


Fonte: Próprio Autor (2015)

De acordo com o teste de hipóteses mostrado na figura 73, o teor de finos não pode ser considerado causa fundamental.

B.2.8 Teor de umidade da areia verde (%)

Figura 74 - Teste de hipóteses para teor de umidade da areia verde.

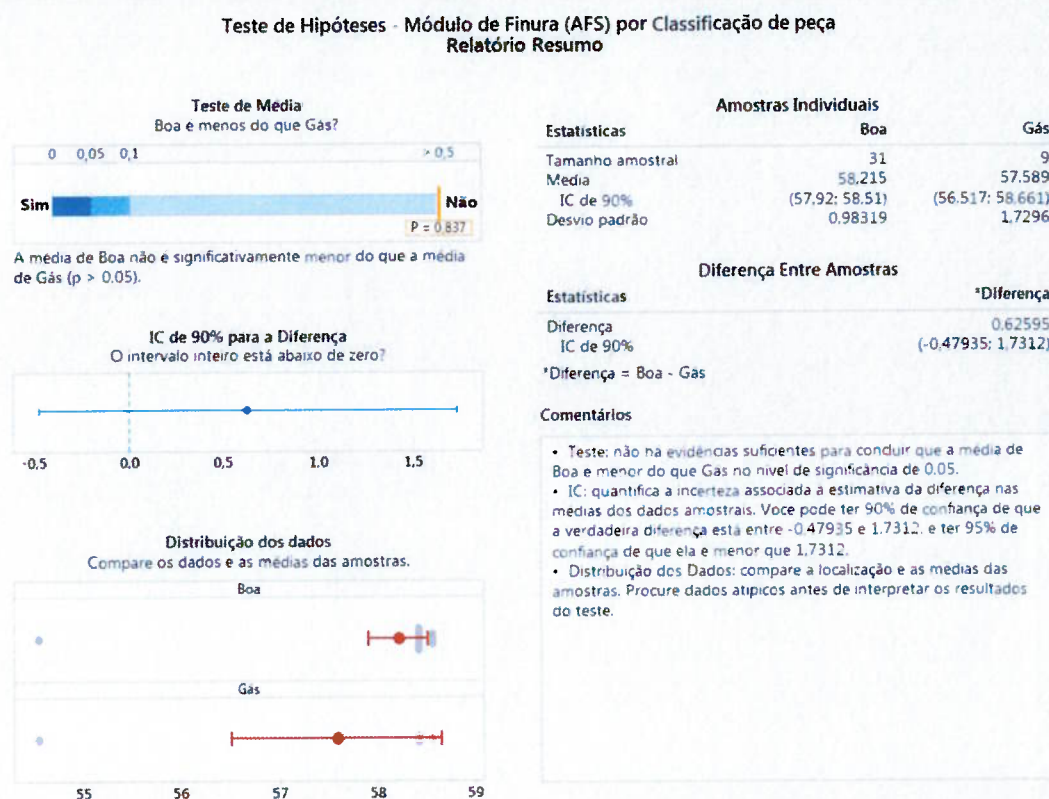


Fonte: Próprio Autor (2015)

De acordo com o teste de hipóteses aplicado, mostrado na figura 74, o teor de umidade não pode ser considerado causa fundamental.

B.2.9 Módulo de finura da areia a verde (AFS)

Figura 75 - Teste de hipóteses para módulo de finura da areia verde.

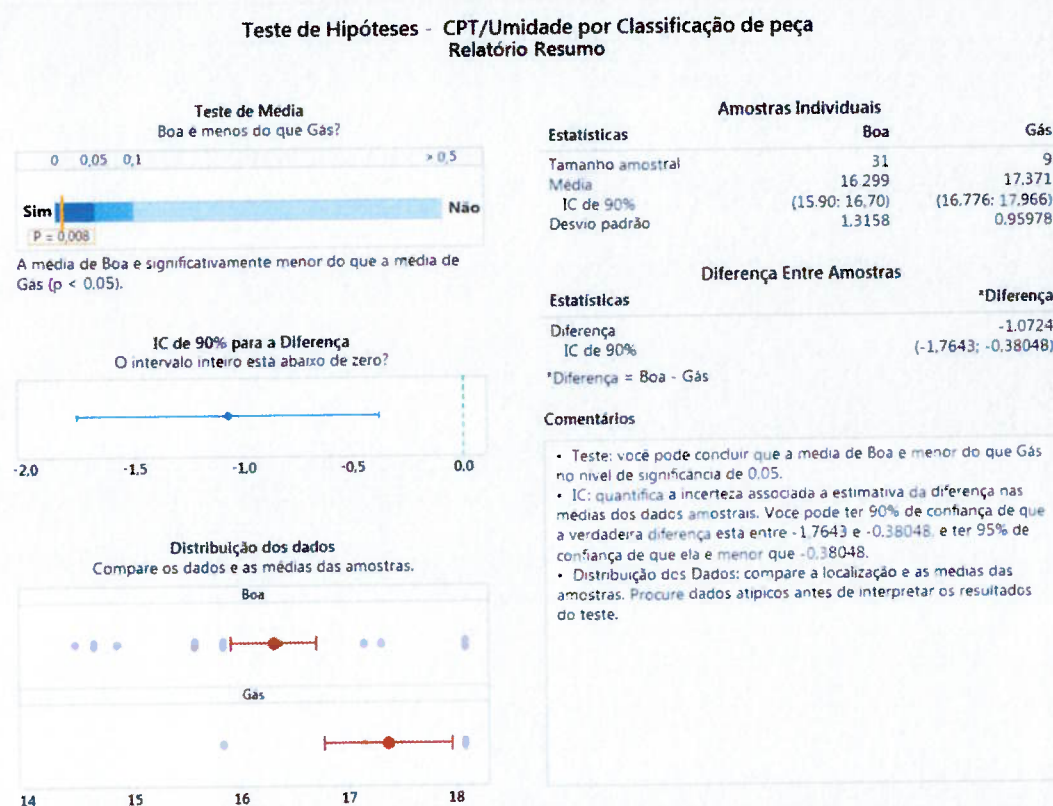


Fonte: Próprio Autor (2015)

De acordo com o teste de hipóteses aplicado, mostrado na figura 75, o módulo de finura não pode ser considerado causa fundamental.

B.2.10 Relação compactabilidade/umidade da areia verde

Figura 76 - Teste de hipóteses para relação compactabilidade/umidade da areia verde.



Fonte: Próprio Autor (2015)

De acordo com o teste de hipóteses aplicado mostrado na figura 76, a relação compactabilidade/umidade pode ser considerada causa fundamental. Avaliando o gráfico da distribuição dos dados nota-se que a média desta relação compactabilidade/umidade que gerou peças boas é menor que a média da relação para peças com gás. Esta informação indica que menores valores para esta variável podem reduzir a ocorrência do defeito.

B.2.11 Compactabilidade da areia verde (%)

Figura 77 - Teste de hipóteses para compactabilidade da areia verde.

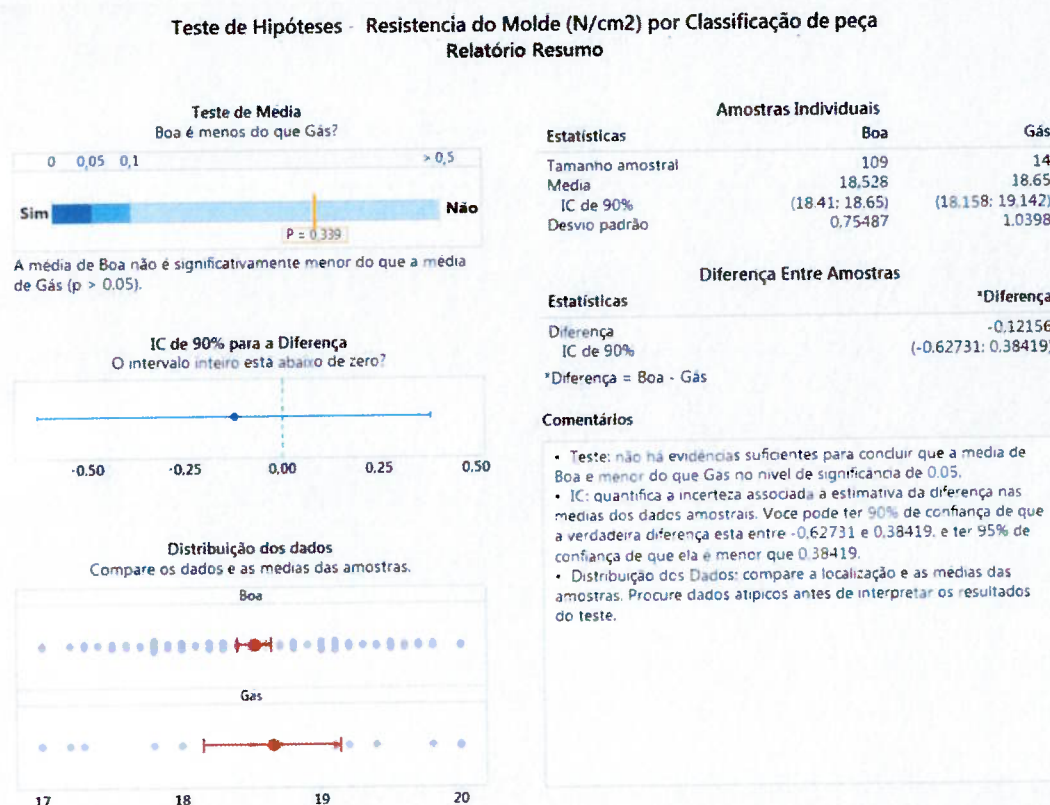


Fonte: Próprio Autor (2015)

De acordo com o teste de hipóteses aplicado, mostrado na figura 77 a compactabilidade pode ser considerada causa fundamental. Avaliando o gráfico da distribuição dos dados nota-se que a média da compactabilidade que gerou peças boas é menor que a média da relação para peças com gás. Esta informação indica que menores valores de compactabilidade podem reduzir a ocorrência do defeito.

B.2.12 Resistência dos moldes superiores (N/cm²)

Figura 78 - Teste de hipóteses para resistência dos moldes superiores.

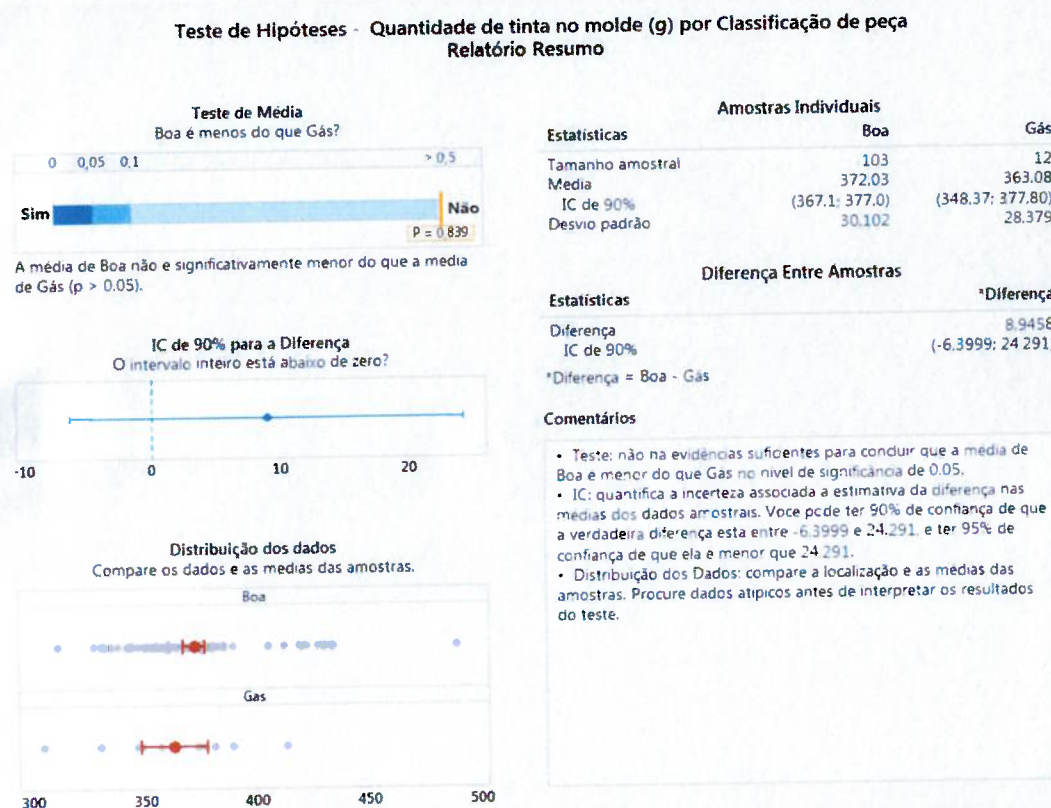


Fonte: Próprio Autor (2015)

De acordo com o teste de hipóteses aplicado, mostrado na figura 78, a resistência do molde não pode ser considerada causa fundamental.

B.2.13 Quantidade de tinta no molde (g)

Figura 79 - Teste de hipóteses para quantidade de tinta no molde.



Fonte: Próprio Autor (2015)

De acordo com o teste de hipóteses aplicado, mostrado na figura 79, a quantidade de tinta no molde não pode ser considerada causa fundamental.