

APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC PARA A REDUÇÃO DO NÚMERO DE RETRABALHOS EM UMA INDÚSTRIA DE PÁS PARA TURBINAS EÓLICAS

Jorge Ubirajara Pedreira Júnior (Universidade Federal da Bahia)

jorge.ubirajara@ufba.br

Danilo Gabriel de Oliveira e Silva (Universidade Federal da Bahia)

danilo.g.oliveira.s@gmail.com

Resumo

A elevada competitividade empresarial tem levado organizações a buscarem altos padrões de desempenho e eficiência. Neste contexto, o presente trabalho descreve o desenvolvimento de um projeto de melhoria contínua, com o objetivo de reduzir a média do número de retrabalhos no processo produtivo de almas de fuga para pás de turbinas eólicas. O número elevado de retrabalhos é crítico para a organização, pois ocasiona aumento do *lead time*, gastos adicionais de matéria prima e grande prejuízo para a qualidade do produto. Para resolver este problema utilizou-se o método DMAIC como uma abordagem sequencial para a implementação estruturada do projeto de melhoria. Inicialmente, foi formada uma equipe multifuncional para formalização do problema e estabelecimento dos objetivos do projeto. Em seguida, com o uso de diversas ferramentas da qualidade, analisou-se os possíveis fatores determinantes para o alto número de retrabalhos, suas causas e respectivas ações de melhoria. Apesar da quantidade de peças produzidas após a implementação destas ações ser insuficiente para uma análise inferencial que comprove a evolução do processo, os resultados são satisfatórios até o presente momento e indicam a eficácia do projeto. Como trabalhos futuros, sugere-se a replicação deste projeto para as almas de ataque e terceiras almas, bem como, o fomento de projetos de melhoria nas diversas áreas da empresa foco do trabalho.

Palavras-chave: DMAIC; Controle Estatístico da Qualidade; Ferramentas da Qualidade

1. Introdução

A competitividade empresarial que caracteriza a recente conjuntura econômica tem levado as organizações a procurarem aumentar o seu desempenho e eficiência de produção, além de reduzir custos, prazos, produtos defeituosos, ou qualquer outro tipo de desperdício que não acrescente valor ao produto ou serviço final. Grande parte destas mudanças tem origem no desenvolvimento industrial japonês a partir do final da década de 1940, cujos fundamentos foram incorporados por empresas de vários setores ao redor do mundo em períodos posteriores (DAHLGAARD, 1999).

No bojo desse processo insere-se o método DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*, do inglês Definir-Medir-Analisar-Melhorar-Controlar), um modelo estruturado para a implementação da melhoria contínua dos processos organizacionais. O ciclo DMAIC é comumente empregado em projetos Seis Sigma, com objetivo de redução da variabilidade de alguma característica de interesse destes processos de tal modo que a ocorrência dos defeitos seja praticamente improvável (MONTGOMERY & WOODALL, 2008). Werkema (2004) define o Seis Sigma como uma estratégia gerencial que tem como objetivo aumentar a lucratividade da empresa e a satisfação dos clientes, através da melhoria da qualidade dos produtos e processos. Não obstante o DMAIC seja aplicado sob a perspectiva do Seis Sigma (cujo foco é a redução da variabilidade dos processos) é possível empregá-lo em projetos de melhoria contínua com outros objetivos que não a redução da variabilidade, uma vez que possui uma estrutura bastante semelhante ao ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*, do inglês Planejar-Fazer-Verificar-Agir).

O presente trabalho descreve a aplicação do método DMAIC em uma empresa do setor de produção de pás para turbinas eólicas inserida em um contexto de competição global. Em decorrência do alto nível de exigência com relação à qualidade, produtividade e confiabilidade neste negócio, o elevado número de retrabalhos nas peças produzidas é crítico para a organização. Estes retrabalhos representam gastos adicionais de matéria prima, prejuízo à qualidade dos produtos e ao ritmo da produção, afetando consideravelmente a competitividade da empresa. Diante desse cenário, os gestores decidiram apostar em práticas de melhoria contínua de modo a reverter este quadro negativo.

2. Descrição do Sistema em Estudo

A empresa objeto deste estudo opera com uma planta industrial estrategicamente

posicionada para fornecer pás eólicas aos mercados brasileiro e internacional.

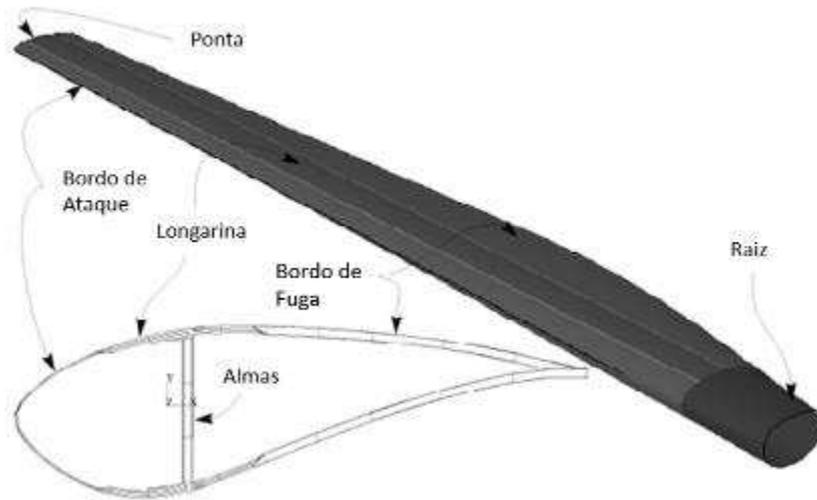
A energia eólica é transformada em eletricidade por uma turbina eólica, composta tipicamente por um conjunto de três pás que aproveitam a energia cinética do vento para movimentar um rotor. O rotor é conectado a um gerador por meio de um eixo, que converte o movimento rotacional do eixo em energia elétrica.

As pás eólicas e alguns outros componentes da turbina eólica são fabricados usualmente com compósitos poliméricos. As dimensões das pás variam de 20 à 90 metros. A pá mencionada nesse trabalho possui aproximadamente 56 metros de comprimento. As pás em materiais compósitos são processadas pelo uso de diferentes materiais, como madeira balsa, espuma de policloreto de vinila (PVC), fibras de carbono e de vidro e uma matriz polimérica (Mastemberg, 2004; Bundy, 2005), onde a mais usualmente utilizada é a resina epóxi. Uma das mais atrativas características desses materiais é a elevada razão resistência/peso. A fibra de carbono tem, por exemplo, a resistência específica cinco vezes maior que a do alumínio (Mastemberg, 2004).

Usualmente, no setor de energia eólica, os materiais compósitos são fabricados em moldes que atendem a perfis aerodinâmicos, de modo a maximizar o desempenho da pá no aproveitamento da energia do vento. O processo de fabricação mais utilizado na obtenção desses componentes é a infusão, pelo fato dessa técnica melhor se ajustar à obtenção de componentes de grande porte e de geometria complexa.

A ocorrência de defeitos em artefatos de materiais compósitos pode ser relativamente significativa, dependendo de diferentes fatores, como geometria, tamanho, e técnica de processamento. O controle da presença de defeitos é uma preocupação constante para fabricantes e usuários, já que defeitos promovem, normalmente, o decréscimo das propriedades mecânicas do material (Wang, 2001). Apesar de surgirem diferentes projetos de pás eólicas nesses últimos anos, a indústria convergiu para uma estrutura universal (Mastemberg, 2004), representada na Figura 1.

Figura 1 – Seção transversal de uma pá eólica típica.



Fonte: Adaptado de Mastemberg (2004).

A seção transversal de uma pá é uma combinação de partes integrantes chamadas de acessórios, que são constituídos de duas mesas de longarina (*sparcap*), uma raiz e de uma estrutura tipo viga em I, denominada de alma. A seção transversal do compósito sanduiche (matriz, reforço e *core*) pode ser vista na Figura 2. Tais componentes promovem um suporte adicional em flexão e cisalhamento, com um envoltório aerodinâmico (casca) para o suporte estrutural.

Figura 2 – Estrutura simplificada da Alma

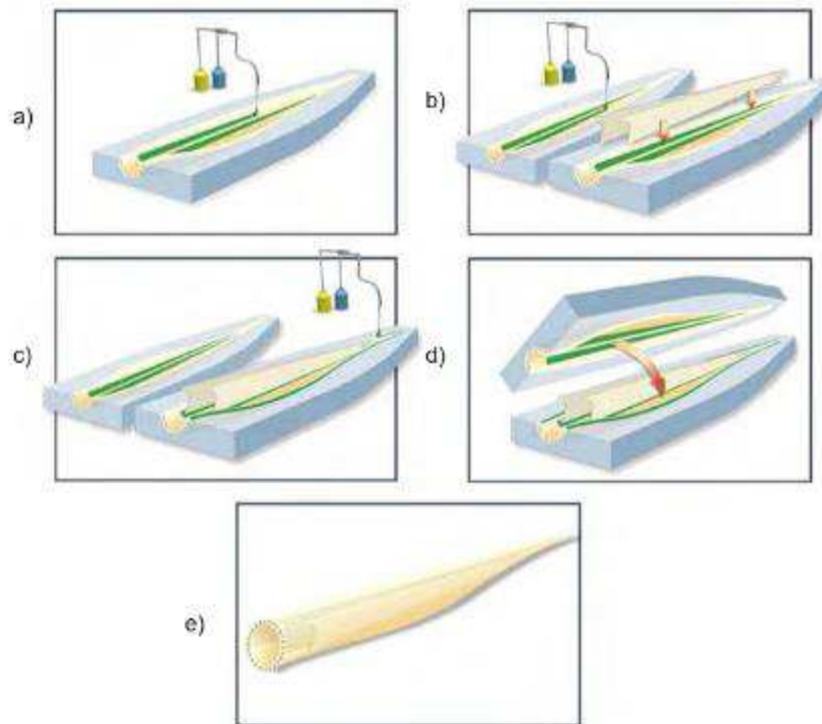


Fonte: Autor

As pás eólicas são predominantemente fabricadas pelo processo de infusão a vácuo das cascas e acessórios e posteriormente colagem/fechamento. Esse processamento é dividido em várias etapas, como ilustrado na Figura 3. Primeiramente, duas metades de uma pá, denominadas de casca, são fabricadas pelo processo de infusão (Figura 3a). Em seguida, um componente estrutural pré-fabricado, denominado alma, é colado nessas cascas (Figura 3b). Posteriormente, faz-se a aplicação do adesivo estrutural nos bordos (Figura 3c) para que o molde seja fechado (Figura 3d). Finalmente, as cascas são coladas, formando o produto final

(Figura 3e).

Figura 3 – Esquema do processamento de fabricação de pás eólicas



Fonte: Huntsman (2009)

3. O DMAIC

O DMAIC é um dos possíveis procedimentos pelo qual um projeto de melhoria contínua é executado, consistindo nas etapas de Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar o processo em estudo. Este método permite uma análise técnica e precisa de todo o problema, o que evita conclusões precipitadas e permite a atuação direta nas causas raiz. O diferencial do método DMAIC está no foco na etapa de planejamento, permitindo atuar com maior eficácia sobre as causas fundamentais do problema em estudo. Quanto maior a dedicação nesta fase, menor o tempo de implementação e menor a probabilidade de erro em etapas posteriores.

Na etapa Definir, os principais objetivos são definir e a equipe multidisciplinar e o problema a ser tratado, descrever o problema e seus efeitos indesejáveis e. Na etapa Medir, é necessário estudar e mapear o processo de interesse, recolher dados reais de modo a mensurar o seu desempenho atual e definir a meta a ser alcançada. Na etapa Analisar são determinadas as causas que contribuem com maior intensidade para o baixo desempenho do processo para que na etapa seguinte, Melhorar, sejam geradas ideias de como solucionar estas causas. Por fim,

na etapa Controlar, o novo processo será avaliado, padronizado e transferido para o dono do processo. Se a meta definida inicialmente não for atingida, algumas medidas de controle devem ser tomadas. Caso contrário, o projeto será dado como finalizado pelo patrocinador e aprovado pela gerência.

Diversas ferramentas da qualidade podem ser empregadas nesse processo sequencial, permitindo que os objetivos parciais em cada etapa sejam atingidos. Neste trabalho, as ferramentas da qualidade empregadas estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Ferramentas da Qualidade utilizadas em cada etapa

Etapa	Ferramentas da Qualidade Utilizadas
Definir	VOC (do inglês, Voz do Cliente), Gráfico de Pareto e Diagrama SIPOC (do inglês, Fornecedores, Entradas, Processo, Saídas e Clientes).
Medir	Mapa de Processo.
Analisar	Diagrama de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito, FMEA (do inglês, Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos), Matriz de Causa e Efeito e Matriz de Esforço Impacto.
Melhorar	Plano de Ação 5W1H
Controlar	Plano de Reação 8D

Fonte: Autor

4. Aplicação do DMAIC no Sistema em Estudo

4.1. Definir (D: *Define*)

Para a definição do foco do projeto foram levantados os principais problemas existentes no processo produtivo da planta industrial em questão. Na aplicação da ferramenta VOC (*Voice of Customer*) foram realizadas entrevistas com clientes internos (colaboradores) e externos da organização. Os comentários refletiram as expectativas e necessidades dos mesmos, sendo posteriormente traduzidos nos requisitos críticos da qualidade (CTQ's – *Critical To Quality*) conforme se pode observar na Tabela 2.

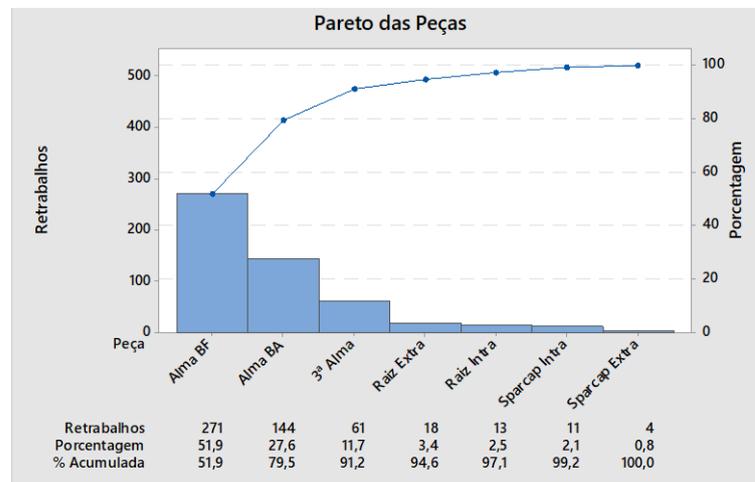
Tabela 2 – VOC do processo

Cliente	VOC	Questões-chave	CTQ's
Colagem e Fechamento (Interno)	Precisa-se das almas liberadas mais rapidamente e sem retrabalhos à cada movimentação para testes de colagem e fechamento	Excesso de retrabalhos	Reduzir o número de defeitos retrabalhados
		Excesso de defeitos originados na movimentação	
Setor Financeiro (Interno)	É necessário a redução dos gastos em retrabalhos	Excesso de retrabalhos	Reduzir o número de defeitos retrabalhados
Cliente externo	É necessário uma redução da quantidade de retrabalhos nas peças afim de garantir uma melhor qualidade do produto final	Excesso de retrabalhos	Reduzir o número de defeitos retrabalhados

Fonte: Autor

De acordo com este levantamento, evidencia-se que o principal problema ocorrido foi o alto número de retrabalhos provenientes de defeitos de fabricação, preparação ou movimentação das peças. Deste modo, partiu-se para a observação da quantidade de retrabalhos apresentados pelas peças componentes das pás eólicas, a saber: raiz intra, raiz extra, *sparcap* intra, *sparcap* extra, terceira alma, alma BA (bordo de ataque) e alma BF (bordo de fuga). No gráfico de Pareto da Figura 4, destaca-se a frequência expressiva de retrabalhos nas almas BA e BF, resultando em cerca de 80% do total de ocorrências ao longo do período analisado.

Figura 4 – Gráfico de Pareto de ocorrência de retrabalhos por peça

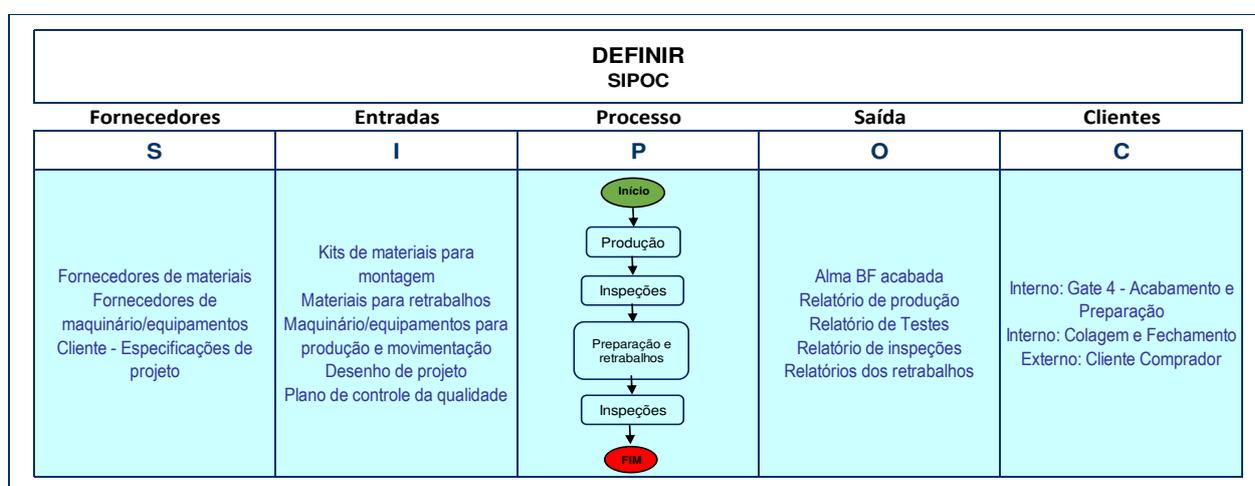


Fonte: Autor

Mais especificamente, os defeitos na alma BF representam aproximadamente metade dos retrabalhos. Por conseguinte, esta peça foi escolhida como foco do projeto de melhoria deste trabalho. É importante salientar, entretanto, que as análises e ações elencadas na fase de Melhoria (I) do DMAIC podem ser razoavelmente replicadas para as almas BA.

Para um primeiro entendimento do processo de fabricação das almas BF, seus fornecedores e clientes imediatos, foi elaborado um diagrama SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Clients*) ilustrado pela Figura 5 abaixo.

Figura 5 – Diagrama SIPOC do processo estudado



Fonte: Autor

Ainda nesta fase, foi definida a equipe para a execução do projeto de melhoria, formada por profissionais de todas as áreas envolvidas: produção, qualidade, movimentação, financeiro e engenharia.

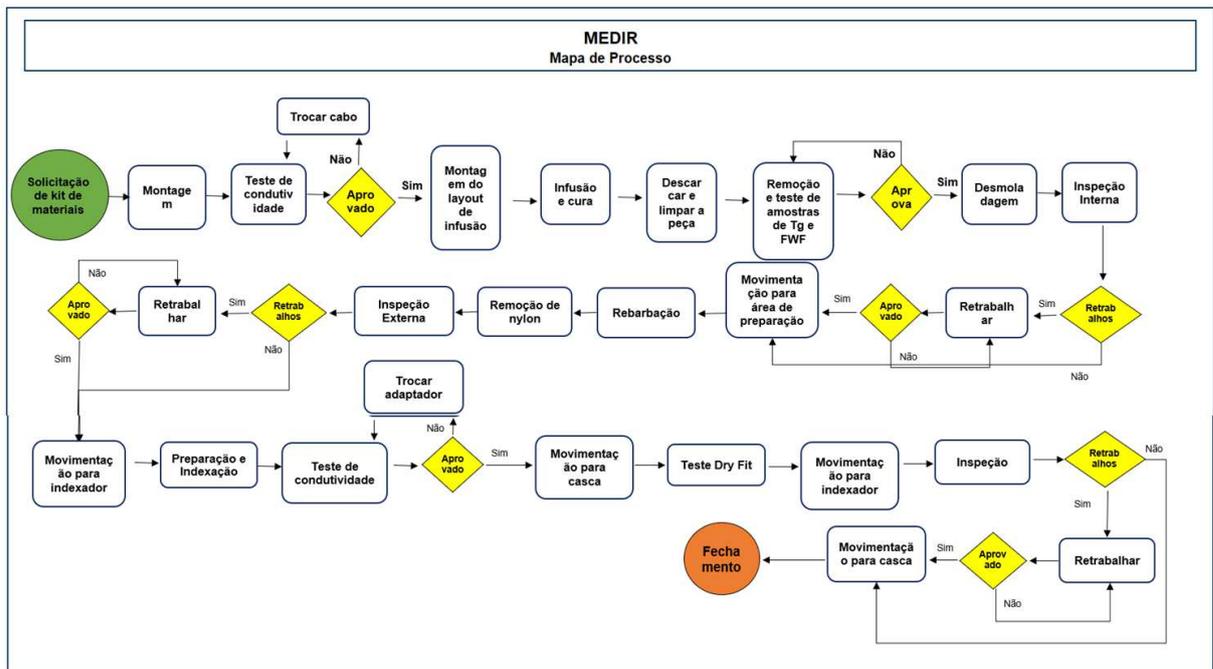
4.2. Medir (M: *Measure*)

Para avaliar o desempenho do processo em estudo foi utilizada uma base de dados para com 16 almas BF produzidas no ano de 2017. Usualmente, nesta etapa do DMAIC para um projeto de implementação do Seis Sigma é determinado o nível sigma do processo (grau de variabilidade de uma característica de interesse desse processo). Contudo, como a média da variável de interesse (número de retrabalhos) não está centrada na meta desejada e o processo encontra-se fora de controle estatístico, entender o nível sigma do processo não foi o objetivo do projeto. Desta forma, destaca-se que a abordagem deste trabalho tem como foco reduzir a média da variável medida para um determinado valor de interesse e não a sua variabilidade.

Deste modo, a partir da experiência da equipe envolvida no projeto e seus *stakeholders*, definiu-se um potencial de redução viável de 30% na quantidade média de retrabalhos, dos atuais 16,9 retrabalhos/alma para 12 retrabalhos/alma.

O próximo passo desta fase foi detalhar o processo que fora previamente definido no diagrama SIPOC. O mapa de processo (Figura 6) foi preparado através de entrevistas com supervisores e operários das áreas envolvidas e com os membros da equipe de projeto. Com esta ferramenta a equipe descreveu todas as atividades envolvidas na produção da alma BF, permitindo averiguar detalhadamente a realidade atual. Este mapa configura-se como um subsídio fundamental para a identificação das atividades que não agregam valor ao processo e para a formulação de propostas melhorias em uma fase posterior.

Figura 6 – Mapa do processo

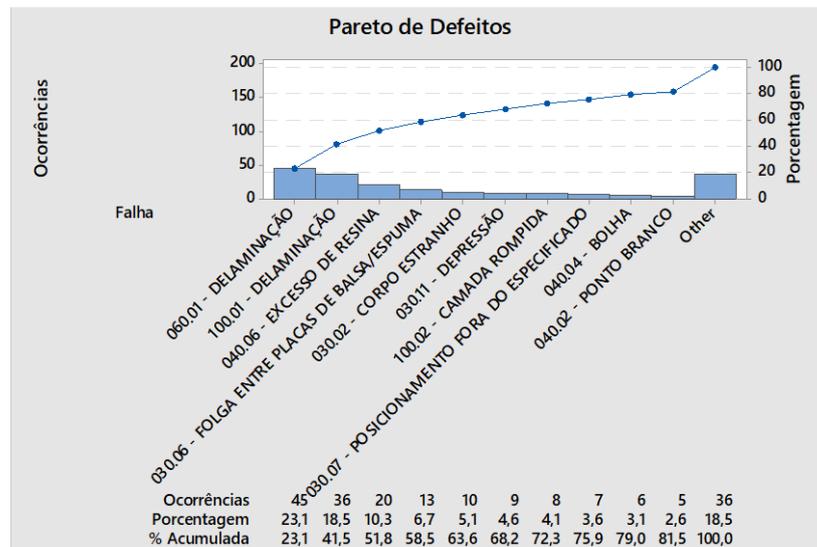


Fonte: Autor

4.3. Analisar (A: *Analyze*)

A análise das causas principais do problema é o foco principal desta etapa. O primeiro passo consistiu em levantar a frequência de ocorrência de cada tipo de defeito produzido nas almas BF, tendo em vista que os defeitos podem se manifestar de diferentes maneiras. A partir do gráfico de Pareto da Figura 7, foi possível identificar que 10 dos 40 tipos de falha 80% do volume de retrabalhos nas almas BF.

Figura 7 – Gráfico de Pareto das falhas ocorridas



Fonte: Autor

Neste ponto, a equipe do projeto decidiu priorizar os 4 primeiros tipos de defeito, que contribuem com quase 60% do total de ocorrências: Delaminação-060.01, Delaminação-100.01, Excesso de Resina-040.06 e *Gap*/Folga entre Placas de Espuma-030.06.

É importante destacar que as falhas Delaminação-060.01 e Delaminação-100.01 diferenciam-se somente pelas suas causas (dano na movimentação e preparação de superfície, respectivamente). Contudo, estas falhas foram tratadas de forma conjunta nesta análise, tendo a cautela de estabelecer que coexistem duas causas principais para uma fase subsequente de proposição de melhorias.

A partir de então, a equipe reuniu-se com o intuito de levantar as causas potenciais para cada tipo de falha. Para isto, recorreu-se ao Diagrama de Causa e Efeito (ou Diagrama de Ishikawa), estratificando estas causas em 6 categorias: Material, Máquina, Meio-ambiente, Método, Medição e Fornecedores, cujos resultados encontram-se na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Estratificação das causas levantada no Diagrama Causa e Efeito

TIPO	FALHA		
	Delaminação	Excesso de Resina	Gap entre Placas de Espuma
Material	Garras do indexador e DCA não adequados para o uso	Geometria Incorreta da placa de espuma	Geometria Incorreta da placa de espuma
	Maquinário/Ferramentas não adeq. Para movimentação		
Mão de Obra	Remoção de Nylon de forma incorreta	Ajuste de espuma incorreto (layup)	Ajuste de espuma incorreto (layup)
	Remoção Incorreta de Amostra de Tg e FWF		
	Posicionamento incorreto das cangas		
	Rebarbação Incorreta	Montagem incorreta das placas	Montagem incorreta das placas
	Desmoldagem de forma incorreta		
	Posicionamento incorreto na casca para DryFit		
	Posicionamento incorreto no indexador		
Meio-Ambiente	Possíveis contatos com pessoas, equipamentos, etc, em trânsito	-	-
Método	Interferência entre moldes e almas durante teste de Dry Fit	Montagem incorreta das placas	Montagem incorreta das placas
Medição	-	-	-
Fornecedores	-	Geometria Incorreta da placa de espuma	Geometria Incorreta da placa de espuma

Fonte: Autor

Em decorrência do grande número de causas associadas aos problemas, estabeleceu-se um processo de priorização de modo a obter um menor conjunto compreendendo as principais causas destes problemas. Para tanto, empregou-se a ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) que contou com a participação dos chefes das áreas, monitores de produção e líder do projeto.

Os critérios de priorização devem levar em conta a severidade, a frequência, a capacidade de detecção dos defeitos apresentados pelas peças. Com o FMEA são analisadas as falhas, organizadas por ordem do risco que elas representam e propostas ações a serem tomadas para mitigá-las. Para verificar o risco que cada falha representa, três campos devem ser preenchidos com um sistema de pontuação de 0 a 10. São eles: severidade, que representa o impacto que ela trará para o sistema; ocorrência, que verifica a probabilidade de ocorrência desta falha; e detecção, que representa a dificuldade de detectar cada falha. Em seguida, é calculado o RPN (*Risk Priority Number*, do inglês número de prioridade de risco), que é a

multiplicação dos três valores atribuídos previamente. A Figura 8 representa esse procedimento executado para 2 causas previamente levantadas:

Figura 8 – Recorte do FMEA utilizado

ANALISAR									
FMEA - Análise dos Efeitos dos Modos de Falha									
Nome do Processo ou Produto	Produção de Alma BF			Preparado por:			Página 1 de 1		
Responsável:	Supervisor de Acessórios			Danilo Silva					
Etapa do Processo	Modo de Falha Potencial	Efeitos das Falhas Potenciais	S E V	O C O	Controles Atuais	D E T	R P N	Ações Recomendadas	Responsável
Descreva a Etapa do Processo	Como o Processo Pode Demonstrar Falhas ?	Quais São os Impactos sob os Processos/ Especificações dos Clientes ?	Qual a Severidade de Impacto no Cliente?	Qual a Frequência de Ocorrência dos Dados ?	Quais São os Controles Atuais do Processo / Produto ?	Quão Bem Pode-se Detectar as Falhas ?	Risk Priority Number	Quais as Ações Recomendadas para se Detectar ou Evitar que o Problema Ocorra ?	Quem é o Responsável pela Implementação da Ação ?
Movimentação	Posicionamento incorreto no indexador	Delaminação	3	5	Não Possui	3	45	Manter os operadores treinados sob a forma correta de execução	Spv. De Movimentação
Lay Up	Ajuste de espuma incorreto (layup)	Excesso de Resina e Gap	5	3	Visual	1	15	Evitar que seja necessário. Uma vez necessário, Manter os operadores treinados sob a forma correta de execução	Spv. De Acessórios

Fonte: Autor

Com o subsídio dos resultados do FMEA, uma matriz de Causa e Efeito foi elaborada (Figura 9), de modo para priorizar através de notas e pesos as causas que deveriam ser foco dos estudos de melhoria. Para tanto, primeiramente são atribuídos pesos às falhas, com base em sua frequência de ocorrência (0,4 para Delaminação e 0,3 para Excesso de Resina e *Gap* entre as placas de espuma). Posteriormente, é verificada a correlação entre cada causa levantada (X's) e as 3 falhas em estudo. Por fim, dimensiona-se o esforço que será despendido para a eliminação de cada causa, em uma escala de 0 a 8.

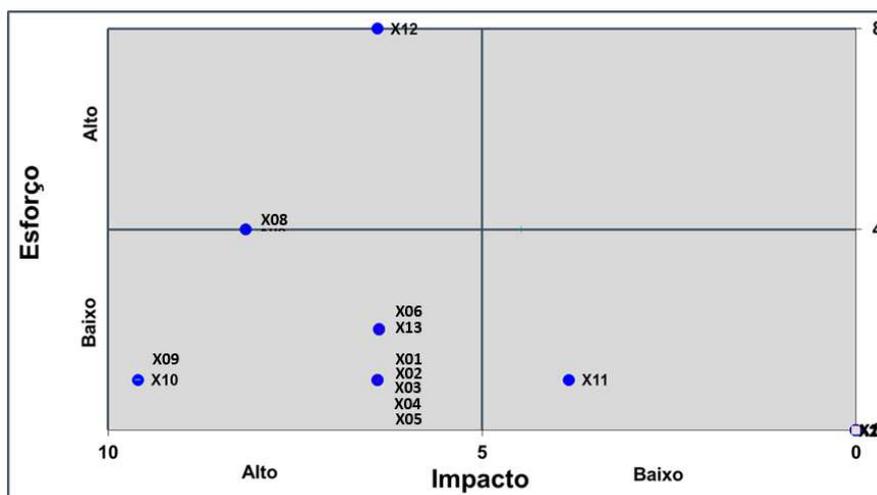
Figura 9 – Matriz Causa e Efeito utilizada

ANALISAR									
Matriz de Causa e Efeito									
10 - 9 - 8: Forte Correlação		7 - 6 - 5 - 4: Média Correlação			3 - 2 - 1: Baixa Correlação		0: Não há correlação		
Índice de Importância		0,4	0,3	0,3					
X's do Processo		Delaminação	Excesso de Resina	Gap					
		TOTAL	Esforço de Eliminação da Variável de Entrada		Alto 5 - 8		Baixo 1 - 4		
X01	Posicionamento incorreto no indexador	10	0	0			6,4	baixo	1
X02	Remoção de Nylon de forma incorreta	10	0	0			6,4	baixo	1
X03	Remoção Incorreta de Amostra de Tg e FWF	10	0	0			6,4	baixo	1
X04	Posicionamento incorreto das cangas	10	0	0			6,4	baixo	1
X05	Rebarbação Incorreta	10	0	0			6,4	baixo	1
X06	Garras do indexador e DCA não adequados para o uso	10	0	0			6,4	baixo	2
X07	Desmoldagem de forma incorreta	7	0	0			4,48	baixo	4
X08	Geometria Incorreta da placa de espuma	0	10	7			8,16	baixo	4
X09	Ajuste de espuma incorreto (layup)	0	10	10			9,6	baixo	1
X10	Montagem incorreta das placas	0	10	10			9,6	baixo	1
X11	Posicionamento incorreto na casca para Dry Fit	6	0	0			3,84	baixo	1
X12	Maquinário/Ferramentas não adeq. Para movimentação	10	0	0			6,4	alto	8
X13	Interferência entre moldes e almas durante teste de Dry Fit	10	0	0			6,4	baixo	2

Fonte: Autor

A partir dos resultados obtidos na Matriz Causa e Efeito, foi possível visualizar graficamente através da Matriz Esforço x Impacto (Figura 10) as causas que teriam menor esforço de resolução e maior impacto na melhoria do processo. Importante ressaltar que tais escalas são obtidas a partir dos resultados da Matriz Causa e Efeito.

Figura 10 – Matriz Esforço X Impacto utilizada



Fonte: Autor

Deste modo, concluiu-se que era possível canalizar os esforços em 10 causas (compreendidas na região do quadrante inferior esquerdo da Matriz Esforço x Impacto) de

modo a atingir resultados significativos de melhoria para a organização:

- X01 - Posicionamento incorreto no indexador
- X02 - Remoção de *Nylon* de forma incorreta
- X03 - Remoção Incorreta de Amostra de *Tg* e *FWF*
- X04 - Posicionamento incorreto das cangas
- X05 - Rebarbação Incorreta
- X06 - Garras do indexador e DCA não adequados para o uso
- X08 - Geometria Incorreta da placa de espuma
- X09 - Ajuste de espuma incorreto (*layup*)
- X10 - Montagem incorreta das placas
- X13 - Interferência entre moldes e almas durante teste de *Dry Fit*

4.4. Melhorar (I: *Improve*)

Na penúltima fase do ciclo DMAIC foram desenhadas propostas de melhoria que para solucionar o problema descrito no escopo do projeto. Para tanto, foram avaliadas juntamente com os membros da equipe as soluções viáveis. Com as ações escolhidas, foi elaborado um plano de ação utilizando a ferramenta 5W1H.

Essas melhorias tiveram como principal foco a capacitação e instrução do pessoal para realização correta da atividade. Pode-se dizer que a razão para tal é que o processo de fabricação de uma pá eólica requer mão de obra especializada e experiente, uma carência da desta planta industrial recém instalada. A Tabela 4 abaixo destaca a predominância desse conjunto de ações para atacar a maior diversidade de causas previamente levantadas:

Tabela 4 – Ações de melhorias implantadas

Nº	Ação	Causas Associadas
1	Elaborar alerta da qualidade e procedimento operacional padrão orientando a forma correta de realizar a tarefa	X01, X02, X03, X04, X05, X09, X10
2	Construir e posicionar totens para colocação dos procedimentos operacionais e desenhos de projeto próximos aos postos de trabalho	X01, X02, X03, X04, X05, X09, X10
3	Treinar operadores e monitores de movimentação para a forma correta de realização da tarefa	X01, X02, X03, X04, X05, X09, X10
4	Revisar documento de fabricação para incluir no <i>layup</i> o posicionamento da etiqueta com sinalização do sentido de remoção de nylon	X02
5	Colocar etiquetas de identificação nas cangas com posição e sentido correto de colocação na peça	X04
6	Desenvolver aparato/mecanismo para adequar os equipamentos para o uso	X06
7	Construir e montar o aparato/mecanismo desenvolvido	X06
8	Testar e ajustar o mecanismo desenvolvido	X06
9	Verificar junto ao fornecedor a geometria correta para as placas de espuma	X08
10	Verificar possibilidade de ajuste da geometria na planta de corte	X08
11	Elaborar gabarito de inspeção para verificar se a geometria está correta	X08

Fonte: Autor

Somado a isto, foram levantados todos os procedimentos operacionais já existentes e verificados se os mesmos estavam corretos e compreendendo todo o processo. Alguns foram revisados e disponibilizados para a produção. Para as atividades ainda sem procedimento operacional padrão, delegou-se aos times da Qualidade e Engenharia a sua elaboração.

Na investigação das causas, percebeu-se que as delaminações ocorriam principalmente durante as movimentações, tanto para a área de preparação quanto para o indexador de almas. Outro ponto crítico foi o momento de fixação e retirada das almas quando colocadas no indexador.

Para solucionar este problema, foi desenvolvido um mecanismo para adequar os equipamentos (indexador e cangas utilizadas para fixar as almas nas cintas da ponte rolante) ao uso. Uma vez que este indexador é feito de aço e a peça transportada é composta por fibra de vidro e espuma, um contato mais agressivo promove um maior desgaste desta última. Portanto, juntamente com o time de Desenvolvimento, tanto o indexador quanto as cangas sofreram alterações na sua geometria e material de forma a fixar melhor a peça e evitar esforços que poderiam causar delaminações na peça.

Para o excesso de resina, verificou-se que o problema estava na geometria incorreta das placas de espuma encaminhadas para a produção, requerendo que os operadores fizessem

ajustes manuais, implicando na não garantia do ângulo adequado para fabricação.

Para solucionar este problema, o time da Qualidade passou a ter um papel mais ativo no processo de fabricação, registrando a não conformidade e indicando a troca da placa de espuma com geometria incorreta, impedindo que o processo seguisse com as placas não conformes. Além disso, a gerência decidiu que os ajustes de geometria não fossem realizados no fornecedor, mas sim na planta industrial da organização. Essa decisão ocorreu em virtude do alto número de não conformidades registradas nos *kits* vindo do fornecedor, ocasionando um número alto de devoluções e/ou retrabalhos. Somado a isto, foi incluído no escopo da Qualidade a inspeção da geometria das placas com um gabarito de forma a garantir a expedição para o processo somente das peças conformes. Esta ação impactou tanto a falha de excesso de resina quanto a falha de *gap*, pois ambos são ocasionados por geometria inadequada das placas de espuma.

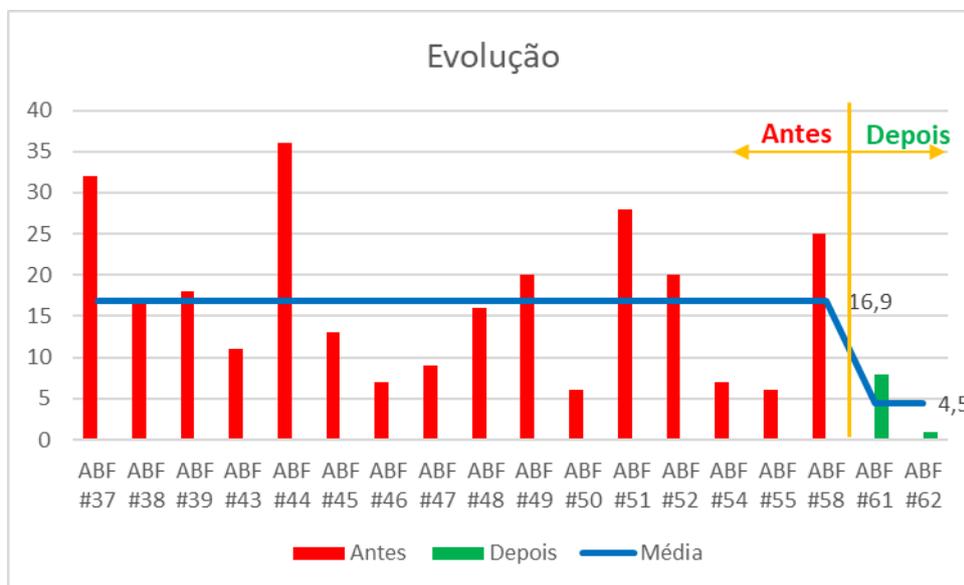
Outros problemas de geometria importantes são os chanfros com angulação incorreta na lateral da placa (provocando excesso de resina) e o corte incorreto nas junções entre as placas (provocando *gaps* entre as placas). Nestes casos, foi solicitado o apoio do time de Manutenção e Desenvolvimento para fabricação ou ajustes necessários nos equipamentos.

4.5. Controlar (C: *Control*)

A última fase do ciclo DMAIC depende significativamente das ações que foram tomadas para implementação das melhorias já abordadas previamente. Importante mencionar que o controle destas melhorias deve ser efetuado no longo prazo para garantia da perpetuação do projeto.

Desde a implementação das melhorias até o presente momento houve apenas a produção de 2 almas de fuga. Estatisticamente, a abordagem mais apropriada consiste em comparar a média dos valores antes e depois da implementação das melhorias propostas para o sistema. Isso pode ser realizado por meio da aplicação de um teste estatístico para comparação entre médias (e.g. teste t de *Student*). Porém, como o número de peças produzidas não permite a obtenção de graus de liberdade suficientes para a estimação de parâmetros para estes testes, não foi possível realizá-los. Todavia, conforme se observa na Figura 12, o número de retrabalhos após as ações de melhoria indica, em uma análise preliminar, resultados positivos do projeto.

Figura 12 – Retrabalhos por alma verificados na fase de controle



Fonte: Autor

Nesta etapa, as soluções propostas devem estar sempre sendo analisadas para verificar a sua eficácia, promovendo ajustes caso necessário. Nesse sentido, a equipe do projeto decidiu continuar com um programa já enraizado na cultura da empresa para investigação e resolução de problemas, o 8D. Esta ferramenta é amplamente empregada por para identificar a causa-raiz de uma não conformidade e solucionar problemas visando promover a melhoria contínua, evitar a recorrência de erros durante o processo produtivo e garantir a qualidade do produto. Funciona baseada em 8 pontos: D1 – Definir o time; D2 – Definir e descrever o problema; D3 – Definir um plano de contenção; D4 – Identificar a causa raiz; D5 – Definir ações corretivas; D6 – Validação das ações corretivas; D7 – Prevenir a reincidência; e D8 – Reconhecer a equipe. Deste modo, caso ocorra um ponto fora do especificado ele será analisado seguindo o 8D de forma a avaliar, investigar, conhecer e sanar o(s) problema(s) ocorrido(s).

5. Considerações Finais

Este trabalho apresentou a implantação da melhoria contínua em um processo de produção de almas de fuga em uma indústria de produção de pás para turbinas eólicas. A

principal contribuição consistiu na apresentação de um *roadmap* descritivo para a implementação do ciclo DMAIC, detalhando a aplicação das ferramentas qualitativas empregadas. A utilização adequada destas ferramentas proporcionou a definição correta do problema, a identificação de suas principais causas e as ações de melhoria para mitigá-las. Este trabalho também serviu como um incentivador para o surgimento de novos projetos de melhoria. A nível organizacional, destacam-se os principais benefícios e produtos produzidos:

- Identificação de um processos-chave para a organização e seus clientes;
- Mapeamento do fluxo deste processo facilitando a identificação das causas do problema existente e para futuros problemas, caso surjam;
- Capacitação dos membros da equipe;
- Integração entre os membros da equipe com outros processos, promovendo a visão sistêmica da organização.

Como trabalhos futuros, pode-se mencionar a replicação deste projeto para as peças que ainda possuem elevado número de retrabalhos: terceiras almas e alma do bordo de ataque (BA). Destaca-se que devido a semelhança de projeto e especificações entre as almas de fuga e de ataque, as análises e ações executadas aqui podem ser razoavelmente replicáveis para estas últimas.

6. Referências

- BUNDY, B.C. *Use of Pultruded carbon fiber/epoxy inserts as reinforcement in composite structures*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Montana State University. Bozeman, 2005.
- DAHLGAARD, Su M. P. *The evolution of patterns of quality management: some reflections on the quality movement*. Total Quality Management, v. 10, n. 3&5, p. 473-480, 1999.
- HUNTSMAN. *Blade process*. 2009. Disponível em: <<http://www.huntsman.com>>. Acesso em 29 de novembro de 2017.
- MASTEMBERG, D.B. *Simulation and testing of resin infusion manufacturing processes for large composite structures*. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Montana State University. Bozeman,, 2004.
- MONTGOMERY, D. C.; WOODALL, W. H. (2008). *An Overview of Six Sigma*. *International Statistical Review*, 76, 3, 329-346. doi: 10.1111/j.1751-5823.2008.00061.x
- WANG, L. *Effects of in -plane fiber waviness on the static and fatigue strength of fiberglass*. 2001, 80 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Montana State University. Bozeman, 2001.
- WERKEMA, Maria Cristina Catarino. *Criando a cultura Seis Sigma*. Série Seis Sigma. Volume 1. Nova Lima, MG: Werkema Ed., 2004.

