



CONTROLE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE ENVASE DE BIOCOMBUSTÍVEL ATRAVÉS DA METODOLOGIA SEIS SIGMA

RAFAEL FRANCISCO CAMPOS PIANNO – rafael_fcp@yahoo.com.br
UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA - UNIARA

JORGE ALBERTO ACHCAR - achcar@fmrp.usp.br
UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA - UNIARA

WALTHER AZZOLINI JUNIOR - wazzolini@sc.usp.br
UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA - UNIARA

Área: 2. GESTÃO DA QUALIDADE

Sub-Área: 2.1 – CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE

Resumo: ESTE TRABALHO APRESENTA O CONTROLE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE ENVASE DE BIOCOMBUSTÍVEL ATRAVÉS DA METODOLOGIA SEIS SIGMA. TODAS AS PREMISSAS DO CONTROLE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE ENVASE FORAM DEFINIDAS A PARTIR DO APONTAMENTO DOS DADOS DA OPERAÇÃO COLETADOS DURANTE A OPERAÇÃO DE JUNHO A OUTUBRO DE 2017 E ANALISADOS ESTATISTICAMENTE, ALÉM DA APLICAÇÃO DO CICLO DMAIC. A PARTIR DA ANÁLISE ESTATÍSTICA (REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA) FOI VERIFICADO: A VARIABILIDADE SOB O IMPACTO DA TEMPERATURA; O VOLUME DA CARRETA; A MASSA DA BALANÇA; A DENSIDADE A 20°C ASSIM FATORES DE CORREÇÃO (IDENTIFICAÇÃO DA CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS DE MAIOR IMPACTO SOB A VARIABILIDADE DO PROCESSO DE ENVASE) PUDERAM SER CONTROLADOS, UMA VEZ QUE TAIS VARIÁVEIS PASSARAM A SER MEDIDAS E MONITORADAS ADEQUADAMENTE E DE MODO PERMANENTE EM TEMPO REAL. A ANÁLISE ESTATÍSTICA INDICOU QUE A MAIOR MÉDIA DE PERDA DE VOLUME NO ENVASE DE BIODIESEL SE DEU NAS CARRETAS COM CAPACIDADE SUPERIOR A 48 MIL (L), POIS A MÉDIA DE PERDA FOI REDUZIDA DE 299,4 (L) COM DESVIO PADRÃO DE 388,1 (L) PARA EM TORNO DE 102,3 (L) ENQUANTO A MENOR MÉDIA FOI PARA AS CARRETAS COM CAPACIDADES DE ATÉ 36 MIL (L) QUE APRESENTARAM UMA MÉDIA DE PERDAS DE 5,7 (L) APÓS A EFETIVAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE CONTROLE PROPOSTO.

Palavras-chaves: Metodologia Seis Sigma; DMAIC; Controle da Variabilidade.

CONTROL OF THE VARIABILITY OF THE BIOFUEL PACKAGING PROCESS THROUGH THE SIX SIGMA METHODOLOGY

Abstract: THIS WORK PRESENTS THE CONTROLS OF THE VARIABILITY OF THE BIOFUEL PACKAGING PROCESS THROUGH THE SIGMA METHODOLOGY. ALL PREMISES FOR THE CONTROL OF THE VARIABILITY OF THE PACKING PROCESS WERE DEFINED FROM THE POINT OF OPERATING DATA COLLECTED DURING THE OPERATION OF JUNE TO OCTOBER 2017 AND ANALYZED STATISTICALLY, BEYOND THE APPLICATION OF THE DMAIC CYCLE. FROM THE STATISTICAL ANALYSIS (MULTIPLE LINEAR REGRESSION) IT WAS VERIFIED: THE VARIABILITY UNDER THE TEMPERATURE IMPACT; THE CARROT VOLUME; THE BALANCE MASS; DENSITY TO 20°C SO CORRECTIVE FACTORS (IDENTIFICATION OF CORRELATION BETWEEN PARAMETERS OF GREATER IMPACT UNDER THE VARIABILITY OF THE PACKING PROCESS) MIGHT BE CONTROLLED, SINCE SUCH VARIABLES HAVE BEEN MEASURED AND MONITORED PROPERLY AND PERMANENTLY IN REAL TIME. STATISTICAL ANALYSIS INDICATED THAT THE LARGEST AVERAGE LEVEL OF VOLUME LOSS IN THE BIODIESEL PACKAGING WAS GIVEN ON THE CARRIAGE WITH CAPACITY OF MORE THAN 48 MIL (L), SINCE THE MEANING OF LOSS WAS REDUCED OF 299.4 (L) WITH STANDARD DEVIATION OF 388, (L) TO AROUND 102.3 (L) WHILE LESS AVERAGE WAS FOR CARRETS WITH CAPACITIES OF UP TO 36 THOUSAND (L) THAT PRESENTED A LOSS OF 5.7 (L) AFTER THE EFFECTIVENESS OF THE PROCEDURE OF PROPOSED CONTROL.

Keywords: Six Sigma Methodology; DMAIC; Control of Variability.

1. Introdução

De acordo com Montgomery (2004) a qualidade é inversamente proporcional à variabilidade. A melhoria da qualidade está relacionada com a redução de variabilidade, onde produtos e serviços podem ser produzidos num processo estável de modo que a variabilidade seja pequena em torno de um valor desejado. Segundo Rotondaro et al. (2011) é prática comum os gerentes das empresas visualizarem as variações de processos e custos utilizando o valor da média do comportamento das variáveis de um processo monitorado durante um determinado intervalo de tempo. Essa prática é arriscada porque pode esconder as causas raízes da variabilidade. Uma alternativa para corrigir esse tipo de equívoco é o uso de um conjunto de ferramentas aplicado no desenvolvimento de programas Seis Sigma do método de melhoria de processos DMAIC. A sigla DMAIC significa: *Define* (definir), *Measure* (medir), *Analyze* (analisar), *Improve* (melhorar) e *Control* (controlar) (MERGULHÃO, 2003). O método DMAIC define os passos que devem ser seguidos na execução de um projeto Seis Sigma a partir da identificação do problema até a solução e controle. Nesse contexto, este estudo teve como meta a diminuição das perdas por variação de volume em litros (L) de biocombustível durante o processo de envase. Sendo identificados no estudo alguns direcionamentos para melhoria das perdas do processo de envase através do levantamento dos dados da operação para a caracterização da variabilidade do processo de envase, assim como da identificação das causas raízes das perdas, análises estatísticas dos dados e implantação de melhorias nos setores de envase e faturamento, o que possibilitou o melhor controle do processo. Os resultados desta pesquisa podem ser de interesse para outras usinas produtoras de biodiesel que compartilham do mesmo problema.

O artigo é dividido em cinco seções: 1. Introdução, 2. Cenário de biocombustíveis no Brasil, 3. Metodologia Seis Sigma, 4. Descrição do Processo para a Coleta de dados e análise estatística e 5. Conclusões.

1.1 Empresa envolvida na pesquisa

A empresa é de grande porte atuando em vários segmentos e um deles é na produção de biodiesel. O estudo foi motivado a partir da necessidade da aferição do sistema de controle do processo de envase requerida pela gerência da usina produtora de biodiesel. Contudo, a pesquisa foi direcionada a melhorias no controle da variabilidade de volume obtido da massa da balança versus capacidade volumétrica do caminhão, diferença apontada no momento de faturamento registrado na nota fiscal. Em uma pesquisa preliminar, constatou-se uma elevada

variação de volume entre o volume dos tanques e o volume obtido da massa da balança. O que definiu a necessidade da escolha de um método científico para ser usado no desenvolvimento do projeto, devendo ser destacado que a empresa não possuía, na época, um programa Seis Sigma implementado em sua estrutura organizacional. O passo seguinte foi planejar a implementação a partir de um roteiro passo a passo com ênfase na definição da questão de pesquisa e dos objetivos com o intuito de propor soluções para o problema da organização. A contextualização da pesquisa se deu após a análise estatística dos dados coletados da operação sendo identificadas as principais perdas e a necessidade de redução e controle da variabilidade no processo de envase de biodiesel.

1.2 Objetivo

Esta pesquisa buscou, como objetivo geral, aplicar o método DMAIC no controle de perdas e análise de oportunidades de melhorias no processo de envase de biodiesel e avaliar os resultados obtidos após a implementação.

1.3 Justificativa

De acordo com Hoerl (1988) o método Seis Sigma considera um conjunto de práticas com etapas e ferramentas estatísticas que possibilitam descobrir as causas raízes da variabilidade e, posteriormente, a melhoria contínua dos processos. Pelo exposto, pode-se constatar que o método Seis Sigma atua como uma estratégia de melhoria baseado na redução de variabilidade em processos por meio da utilização de ferramentas e técnicas estatísticas para resolução de problemas. Neste caso, a utilidade e justificativa desta pesquisa é relacionada com a necessidade de eliminar perdas no processo de envase, um problema comum nas empresas de biocombustível, com resultados significativos para a redução de custos em usinas de biodiesel, além da implementação de um sistema de monitoramento para a efetividade do controle do processo de envase em tempo real.

2. Cenário de biocombustíveis no Brasil

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo (ANP 2018) os biocombustíveis líquidos, depois de produzidos nas usinas de etanol e biodiesel podem ser transportados diretamente às distribuidoras ou entregues em terminais para posteriormente serem entregues as distribuidoras ou exportadoras. No Brasil, no transporte e movimentação de combustíveis utiliza-se como unidade de medida o volume (m^3 ou (L)). O etanol vem sendo utilizado no Brasil desde 1920 e se firmou a partir de novembro de 1975 com o programa Proálcool. O Programa Nacional de Produção de Biodiesel foi lançado em 06 de dezembro de 2004 e regulamentado pela Lei nº- 11.097, de 2005. Inicialmente ficou estabelecido a obrigatoriedade

do uso de 2% em volume de biodiesel misturado ao óleo diesel (LEITE, 2007). A demanda por biocombustíveis tem sido estudada por vários autores. Nessa direção, Harris et al. (2018) desenvolveram um modelo de curva de crescimento logístico e identificou que o consumo de energia nos Estados Unidos até o ano de 2040 tende a crescer mais do que a geração de energia pelo país, sendo necessário continuar importando combustíveis fósseis (petróleo) devido ao aumento da previsão da demanda. Nas últimas décadas o uso do petróleo vem sendo discutido por muitos autores com implicações no meio ambiente, como fonte de energia e na economia. Os principais motivos da discussão global estão associados ao efeito estufa e aquecimento global pelo uso de combustíveis não renováveis. Quanto à economia, só o tempo dirá quais os efeitos permanentes que esta crise no sistema financeiro internacional terá sobre o setor energético e é mais difícil de prever os efeitos sobre o meio ambiente. Nesse cenário, as fontes de geração de energia alternativas ganham destaque, principalmente, as ecologicamente sustentáveis. Sendo esses os combustíveis renováveis derivados de matéria-prima biológica como o etanol, o biodiesel e o biogás metano (VICHÍ e MANSOUR, 2009). No Brasil o governo criou o programa Renovabio, no qual os produtores de biocombustíveis poderão vender certificados no mercado para que distribuidoras cumpram suas metas com relação as emissões de carbono (RAMOS, 2018).

A partir de março de 2018 a obrigatoriedade do percentual de biodiesel no óleo diesel é de 10% e a evolução dos percentuais da mistura diesel - biodiesel no Brasil é descrita na Tabela 1.

Tabela 1. Evolução dos percentuais da mistura diesel no Brasil

Ano	2003	01/2008	07/2008	07/2009	01/2010	08/2014	11/2014	03/2017	03/2018
% biod	Facultativo	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	10%

Fonte: ANP (2018).

Atualmente, a produção de biodiesel contempla 14 estados brasileiros com a capacidade total de produção de 8.488,8 milhões de m³ por ano com 55 usinas autorizadas pela ANP. Os estados com maiores capacidades de produção de biodiesel são os estados do Mato Grosso, Rio Grande do Sul e Goiás. O estado de São Paulo apresenta capacidade produtiva de 619,7 milhões de litros por ano (BIODIESELBR, 2018).

3. Metodologia Seis Sigma

De acordo com Salah et al. (2010), o sucesso de uma organização depende de como as metodologias de melhorias contínuas são implementadas e gerenciadas. Portanto, há dois desafios para os gestores das organizações. O primeiro é o sucesso na implantação e o

segundo, o pós-implantação, é a manutenção duradoura da melhoria contínua. Com a ênfase em criar um programa de melhoria contínua, a metodologia Seis Sigma teve o início do seu desenvolvimento em meados dos anos de 1980 na empresa norte americana Motorola, além do objetivo de reduzir os problemas de qualidade e aumentar a lucratividade da empresa. Na época, os principais gestores da Motorola admitiram que a qualidade de seus produtos era péssima e que a empresa apresentava vários programas de qualidade com pouco resultado enquanto o cenário mundial apresentava evolução em produtividade e qualidade, especialmente nas empresas japonesas. Em 1987, uma nova técnica surgiu no setor de Comunicações da Motorola com a finalidade de acompanhar e comparar o desempenho exigido pelos clientes (medida sigma) e, posteriormente, melhorar a qualidade (programa seis sigma). Com o sucesso do desenvolvimento do programa Seis Sigma (SS) a Motorola recebeu em 1988 o prêmio *Malcolm Baldrige National Quality Award*. A partir de então, a metodologia Seis Sigma passou a ser conhecida e implementada em outras organizações norte-americanas. A empresa que mais ficou conhecida com o programa SS foi a *General Eletric* (GE) que iniciou as atividades do programa SS no início dos anos de 1990. Por volta do ano 1999 a GE já economizava US\$ 600 milhões de dólares por ano. Conforme definição de Hoerl (1988), a base da teoria Seis Sigma é a busca constante da redução de variabilidade dos processos com objetivo de eliminar os defeitos ou falhas. Na visão de Gross (2001), qualquer empresa e setor podem utilizar a metodologia Seis Sigma para redução da variabilidade de seus processos e, o sucesso do programa Seis Sigma depende do comprometimento da equipe para com as etapas do projeto. Na Motorola, o método Seis Sigma se apresentou como um programa de melhoria de qualidade com o intuito de diminuir os defeitos para 3,4 ppm (partes por milhão) (ANTONY, et al., 2012). Segundo Truscott (2003), a aplicação das técnicas e ferramentas Seis Sigma foca em melhoria da eficiência e eficácia de todos os processos e movimentações, em todos os tipos de empresa, por meio da medida quantitativa existente quando comparada com a variabilidade desejada, buscando satisfazer os clientes e seu efeito sobre o desempenho financeiro da organização.

Pela metodologia Seis Sigma, na sua definição básica, é ter apenas 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) para produzir um defeito ou o descontrole da variabilidade de um processo. Santos (2006) propôs uma definição mais completa da metodologia Seis Sigma: Seis sigma é uma abordagem que impulsiona a melhoria do desempenho do negócio e a valorização da satisfação dos clientes por meio do enfoque estratégico de gerenciamento e da aplicação do pensamento estatístico em todos os níveis de atividades através do uso de indicadores de desempenho; da utilização de uma metodologia sistematizada que entregue

técnicas variadas para se avaliar e aperfeiçoar os processos, além da aprendizagem decorrente da capacitação e comprometimento das pessoas. A literatura mostra que a metodologia Seis Sigma foca na abordagem estatística e estratégica para as organizações. A parte estatística prioriza processos e o conhecimento da variabilidade dá maior visibilidade aos gestores para propor ações nas atividades diárias de gestão de processos.

3.1 Etapas do DMAIC

O grande desafio para os gestores das empresas é manter a melhoria contínua duradoura e, com esse intuito, decidiu-se optar pelo método DMAIC que é o ciclo mais utilizado e encontrado para a aplicação de controle de processos baseado no programa Seis Sigma. Dentre as ferramentas mais utilizadas pelas organizações para a melhoria continua observa-se na literatura o círculo de Deming, que define como melhoria continua o ciclo sem fim em quatro etapas: Planejar (*Plan*), Fazer (*Do*), Checar (*Check*) e Agir (*Act*) (PDCA) (BUSHNELL, 1992). Outras técnicas de melhoria continua também são encontradas na literatura como a metodologia DMAIC e Ford's 8D (*facility management and maintenance*) (MARTIN e OSTERLING, 2014). Salah et al.(2010) afirmam que, apesar do DMAIC ter sido originado no Seis Sigma, essa ferramenta pode ser generalizada e utilizada para a melhoria contínua. As etapas do DMAIC são aplicadas para identificar as causas raízes no programa da metodologia Seis Sigma a fim de reduzir falhas no processo e defeitos nos produtos, convergindo para a minimização da variabilidade nos processos (ANTONY et al., 2012). Antony et al. (2007) sugerem para a aplicação da metodologia DMAIC para processos de serviços as seguintes fases:

Definir: Definir e compreender o problema; mapear o processo, identificar entradas e saídas do processo; definir recursos, prazos e responsabilidades da equipe e identificar todos os clientes (internos e externos);

Medir: Medir o desempenho atual; definir o que medir, e identificar oportunidades de melhorias.

Analisar: Compreender as causas dos defeitos e a distribuição dos dados; determinar as variáveis de processo ligadas aos defeitos e quantificar os ganhos financeiros.

Melhorar: Desenvolver soluções para melhorar os problemas, avaliar o impacto de cada solução potencial e os riscos associados a soluções; reduzir a taxa de defeitos e validar as melhorias.

Controlar: Desenvolver ações para melhorar o desempenho do processo; revisar procedimentos, definir dono do processo, implementar planos de controle de processo e

determinar a capacidade do processo; compartilhar as principais lições aprendidas; divulgar os resultados e reconhecer os membros da equipe.

4. Descrição do Processo para a Coleta de dados e análise estatística

4.1 Descrição do Processo

No Brasil o biodiesel é vendido através de leilão público organizado pela Agência Nacional do Petróleo-ANP. O universo deste trabalho de pesquisa compõe os setores de expedição e faturamento. Na expedição, as operações são realizadas por cinco funcionários que efetuam os carregamentos de biodiesel, glicerina, ácido graxo, borras de óleos e os descarregamentos de óleos vegetais e insumos químicos. O faturamento é realizado por dois funcionários: primeiro realizam a movimentação via sistema na unidade quilograma (kg) conforme a massa líquida da balança, em seguida convertem a massa da balança movimentada no sistema da empresa para a unidade em litros (L) a 20°C através da planilha do conversor fornecida pela ANP. Na baia de carregamento os operadores devem aterrar o tanque do caminhão e verificar se há presença de líquidos remanescentes no interior de cada compartimento a fim de garantir a não contaminação do produto. O interior do tanque deve estar limpo, seco e sem odor para a aprovação do carregamento e, em caso contrário o carregamento é reprovado, comunica-se a logística e o motorista deve sair da empresa para lavar e/ou secar o interior do tanque. Quando aprovado o envase, os operadores de carregamento checam o tanque a ser expedido conforme o laudo do lote (tanque) emitido pelo laboratório de qualidade.

A quantidade de produto disponível é informada pela sala de controle. Para dar início à operação de envase o operador deve posicionar o braço de carregamento na boca superior do tanque, digitar no *accload* o volume desejado conforme a ordem de embarque e ao término o volume preenchido deve cobrir a seta mínima de capacidade do tanque. O motorista pode checar o nível de produto carregado junto ao operador. Após o término do carregamento os operadores devem medir a temperatura em graus Celsius (°C) no interior de cada compartimento do tanque e anotar o valor na ordem de embarque. Por fim, todas as bocas do tanque são lacradas, junto à ordem de embarque e *ticket* de balança são anexados o laudo e o envelope com a ficha de emergência que são entregues ao motorista e o caminhão é destinado à balança para pesagem final. O faturamento recebe o *ticket* da balança e as informações da ordem de embarque e estes dados são digitados no conversor fornecido pela ANP. O conversor calcula o volume convertido a 20°C em relação à capacidade do tanque do caminhão e compara com o volume convertido a 20°C obtido da massa líquida da balança.

Este ponto é o mais crítico de todo o processo e deste estudo. Antes deste projeto o controle da variabilidade descrito neste trabalho era considerado correto e permitido para fins dessa comparação a variação de até 500 litros. A partir do dia 18 de outubro de 2017 essa variação passou a ter limite em até 200 litros. Isso significa que quando a variação fosse superior a 200 (L) o caminhão teria que retornar ao setor de envase para retirada de biodiesel e quando a variação fosse inferior a (-200 (L)) o veículo deveria retornar ao setor para adicionar mais biodiesel no caminhão tanque.

4.2 Coleta de dados e análise estatística

O desenvolvimento da pesquisa no processo de envase e a aplicação do método DMAIC foram realizados em conjunto com os funcionários dos setores de expedição e faturamento. Foram feitas reuniões periódicas com as equipes do faturamento e expedição para que recebessem orientações sobre os fundamentos do método DMAIC e juntos definiram o problema e coletaram os dados para o mapeamento e análises do processo para as respectivas implementações de melhoria.

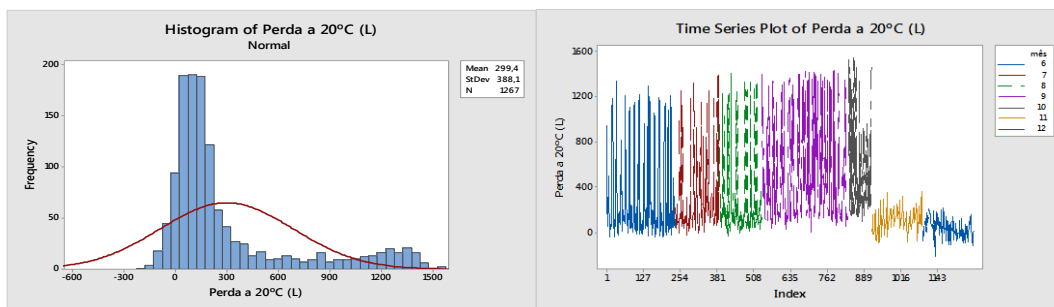
A ideia do projeto surgiu no mês de outubro do ano de 2017 e, inicialmente, foi necessária a coleta de dados realizada em duas etapas. Na fase 1 os dados foram levantados através dos arquivos de documentos do mês de junho a outubro do ano de 2017. A fase 2 iniciou-se no dia 18 de outubro do ano de 2017, ocasião em que houve a primeira oportunidade de melhoria, onde a equipe do faturamento foi definida como responsável pelo registro dos dados numa planilha eletrônica para o monitoramento das variações. Neste momento definiu-se a primeira meta por carreta de variação de perda em litros (L) de biodiesel com variação permitida de ± 200 (L). Neste caso, se o volume verificado pelo faturamento fosse superior a 200 (L) o veículo deveria retornar ao setor de envase para a retirada do excesso e caso o volume fosse inferior a 200 (L) o caminhão deveria retornar ao setor da expedição para acrescentar biodiesel.

Os dados (gráficos e análises estatísticas) foram obtidos e analisados com auxílio do *software* Minitab®, versão 16. A Figura 1 corresponde ao histograma dos dados no período dos meses de junho a dezembro de 2017. Neste período há dois *clusters* de dados (mistura de duas distribuições) com média de variação de 299,4 (L) e desvio padrão de 388,1 (L). A partir do gráfico de séries temporais nos meses de junho a dezembro no ano de 2017, também apresentado na Figura 1, foram observados dois *clusters* de dados, ou seja, uma mistura de duas distribuições. A partir de uma análise descritiva dos dados também foi verificado a presença de dois *clusters* de dados com médias menores de perdas para os meses novembro e

dezembro de 2017, resultado da etapa “melhorar” do método DMAIC. Este resultado é confirmado na Figura 2 (*box-plots* e gráficos de intervalos de confiança 95% para as médias dos resultados mensais).

Na Figura 2 observam-se três *clusters* de dados com médias de perdas menores para os meses de novembro e dezembro. A partir do mês de novembro do ano de 2017 se iniciou a etapa “melhorar” e foram criados os indicadores índice de reprocesso (%) e variação de perda mensal média (L). O índice de reprocesso se refere às carretas que retornam para o setor a fim de acrescentar ou retirar produto com variação conforme até 200 (L). Com os dados dos meses de junho a dezembro do ano de 2017 foi aplicado um modelo de análise de regressão linear múltipla com a resposta perda e as variáveis independentes: temperatura da carreta, volume da carreta, massa balança, densidade a 20° C, fator de correção a 20° C e mês.

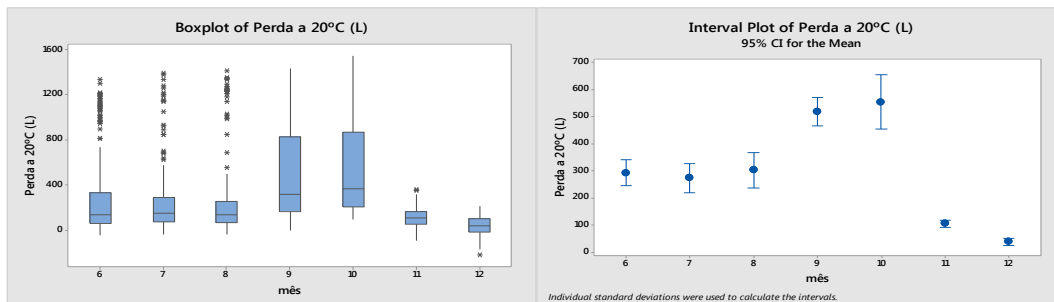
Figura 1. Histograma dos dados da perda e gráfico de séries temporais



Fonte: Autor (2019).

Usando o *software* Minitab versão 16, os estimadores de mínimos quadrados (EMQ) dos coeficientes de regressão assim como os valores-p usados para testar se os fatores de correção são significativos (parâmetros de regressão diferentes de zero) são apresentados na Tabela 2. O valor do coeficiente de determinação para esse modelo é dado por $R^2 = 99,70$ o que indica um excelente ajuste. Este modelo de regressão explica 99,7 % da variabilidade das perdas referente aos meses de junho a dezembro de 2017.

Figura 2. Box-plots e intervalos de confiança 95% para as médias dos resultados mensais



Fonte: Autor (2019).

Tabela 2. EMQ dos coeficientes de regressão (EP: erro-padrão; T: estatística t de Student).

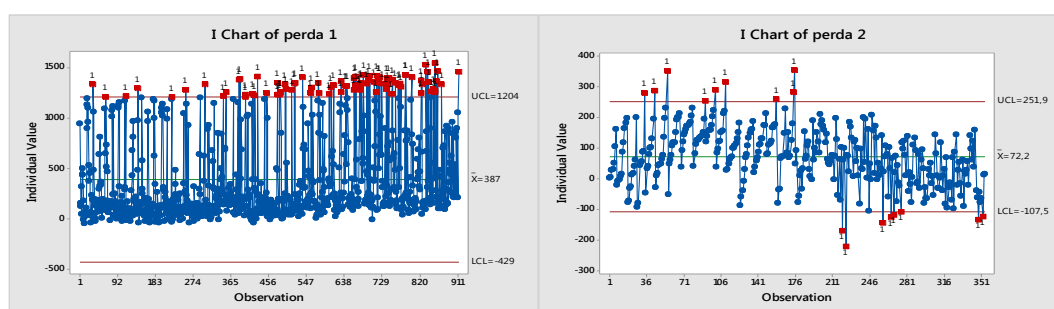
Termo	Coef	EP	T	valor-p
Constante	69171	15715	4,40	0,000
Temp. Carreta	16,5	12,1	1,37	0,172
Volume da carreta (L)	-0,98523	0,00141	-698,29	0,000
Massa balança (kg)	1,14705	0,00164	700,03	0,000
Densidade a 20°C (kg/L)	-53008	576	-92,04	0,000
Fator correção a 20°C	-23961	15843	-1,51	0,131
mês	-0,201	0,319	-0,63	0,529

Fonte: Autor (2019)

A partir dos resultados da Tabela 2, observa-se que as covariáveis significativas (valor-p < 0,05) na resposta (perda) são volume da carreta (valor estimado negativo, isto é, maior volume implica em menor perda), massa da balança (valor estimado positivo, isto é, maior massa da balança implica em maior perda) e densidade a 20% (valor estimado negativo, isto é, maior densidade a 20% implica em menor perda). A partir de gráficos dos resíduos do modelo ajustado (não apresentados por economia de espaço) foi verificado que as suposições necessárias (normalidade e variância constante dos resíduos) foram verificadas. Conforme visto na figura 1, há dois *clusters* de dados.

Por fim, foram construídas cartas de controle para os dois períodos (ver Figura 3) de onde pode ser observado que existiam muitos pontos fora dos limites de controle e variação elevada no período de junho a outubro de 2017 (primeiro painel). O melhor resultado obtido da variabilidade após a implementação do controle ocorreu no período de novembro a dezembro de 2017 (segundo painel).

Figura 3. Cartas de controle (Junho a Outubro de 2017 e Novembro a Dezembro de 2017).

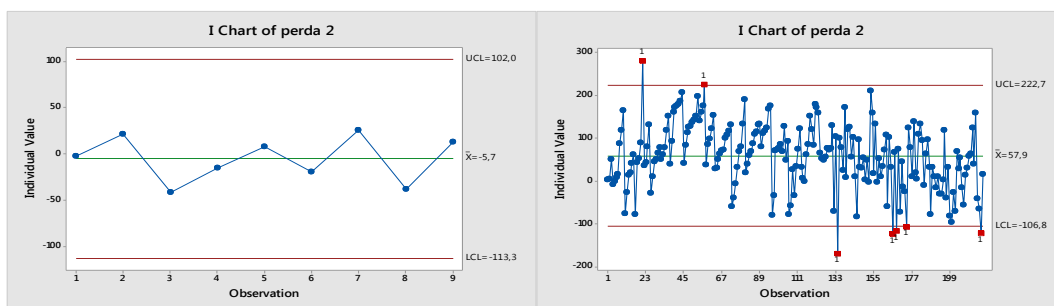


Fonte: Autor (2019).

Para os meses de Novembro e Dezembro do ano de 2017 também foi feita uma comparação de cartas de controle em relação com a capacidade das carretas. Para isso foram analisados os volumes das carretas menores e iguais a 36 mil (L), as carretas com capacidade entre 36 mil (L) e 48 mil (L) (Figura 4) e para as carretas com capacidade superior a 48 mil (L) (Figura 5). Esta análise indicou que a maior média de perda de volume no envase de

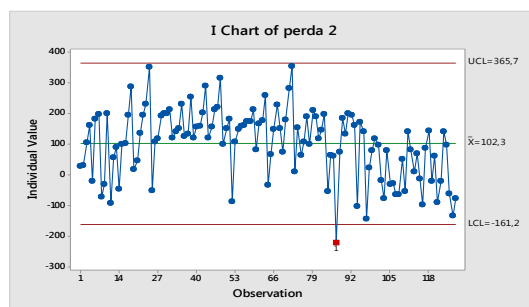
biodiesel com o novo sistema de controle se deu nas carretas com capacidade superior a 48 mil (L), sendo: a média de perda deste tipo de carreta foi de 102,3 (L) enquanto a menor média foi para as carretas com capacidade de até 36 mil (L) que apresentou uma média de perda de 5,7 (L).

Figura 4. Cartas de controle para perdas (L) para carretas menores ou iguais a 36 mil (L) e para carretas entre 36 mil (L) até 48 mil (L).



Fonte: Autor (2019).

Figura 5. Cartas de controle para perdas (L) para carretas com capacidade > 48 mil (L).



Fonte: Autor (2019).

5. Conclusões

O estabelecimento de um padrão de valores do comportamento das variáveis relacionadas com os indicadores de desempenho, assim como o uso de procedimentos e instrumentos de medição da variabilidade acompanhada da aplicação de um método estatístico para o controle da variabilidade do processo de envase a fim de obter maior visibilidade da performance do sistema, requer a habilidade e a competência do gestor para adotar métodos adequados. Este trabalho demonstra que a fase de delineamento do problema relacionado ao controle da variabilidade do processo de envase, a partir do uso do conjunto de ferramentas DMAIC, foi fundamental para a percepção dos envolvidos no projeto de como institucionalizarem um processo de medição na empresa e assim estabelecer rotinas de controle com base na análise estatística das cartas de controle do processo. Tal iniciativa proporcionou redução das perdas e, portanto, do custo operacional de modo significativo, o que resultou em ganho financeiro para a operação do processo de envase de biodiesel da empresa, assim como maior

confiabilidade por parte do cliente quanto ao volume de biodiesel entregue pelo distribuidor de acordo com o volume requisitado originalmente na forma de pedido ou ordem de carregamento.

O que ficou caracterizado a partir da redução da média de variação de 299,4 (L) e desvio padrão de 388,1 (L) anterior à efetivação do novo sistema de controle quando comparado com a maior média de perda de volume no envase de biodiesel nas carretas com capacidade superior a 48 mil (L), de 102,3 (L), e para as carretas com capacidade de até 36 mil (L) uma média de perda de 5,7 (L).

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO *Produção de biocombustíveis: etanol, biodiesel, biogás*. Disponível em: <www.anp.gov.br/wwwanp/producao-de-biocombustiveis/>. Acesso em: 15 mar 2018, 2018.
- ANTONY, J.; ANTONY, F. J.; KUMAR, M.; CHO, B. R. *Six sigma in service organizations: benefits, challenges and difficulties, common myths, empirical observations and success factors*. International Journal of Quality & Reliability Management, v. 24, p. 294-311, 2007.
- ANTONY, J.; BHULLER, A. S.; KUMAR, M.; MENDIBIL K., MONTGOMERY D.C. *Application of Six Sigma DMAIC methodology in a Transactional environment*. International Journal of Quality & Reliability Management, v. 29, p. 31-53, 2012.
- BiodieselBr. *As usinas de biodiesel do Brasil*. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/>>. Acesso em: 21 mar. 2018, 2018.
- BUSHNELL, S. *Implementing plan, do check, act*. The journal for Quality and Participation", v. 15, p.58-62, 1992.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 176 p, 2002.
- GROSS, J. M. A. *Road map to Six Sigma Quality*. Quality Progress, v. 34, p. 24-29, 2001.
- HARRIS, T., M.; DEVKOTA, J., P.; KHANNA, V.; ERANKI, P., L.; LANDIS, A., E. *Logistic growth curve modeling of US energy production and consumption*. Renewable and Sustainable Energy Reviews; v. 96; p. 46-57, 2018.
- Hoerl, R. W. *Six Sigma and the future of the quality profession*. IEE Engineering Management Review, Fall, p. 87-94, 1988.
- LEITE, R. C. C.; LEAL, M.R.L.V. *O biocombustível no Brasil*. Novos Estudos CEBRAP 2007 nº 78, p. 15-21, 2007.
- MARTIN, K; OSTERLING, M. *Value Stream Mapping, How to visualize work and align leadership for organizational transformation*. McGraw-Hill, New York, 34p, 2014.
- MERGULHÃO, R. C. *Análise da implementação do Seis Sigma em empresas de manufatura no Brasil*. 2003. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Itajubá UNIFEI, Itajubá/MG, 2003.
- MONTGOMERY, D. C. *Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade*. 4ª ed. LTC, 532 p, 2004.
- RAMOS, C. S. *Renovabio: Industria já vê nova era da bioeconomia*. Disponível em: <www.biodieselbr.com/noticias/regulacao/politica/industria-ja-ve-nova-era-da-bioeconomia-130318.htm>; acesso em 14 mar. 2018, 2018.
- ROTONDARO, R., G.; RAMOS, A., W.; RIBEIRO, C., O.; MYAKE, D., I; NAKANO, D.; LAURINDO, F., J., B.; HO, L., L.; CARVALHO, M., M.; BRAZ, M., A.; BALESTRASSI, P. *Seis Sigma. Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços*. São Paulo: Atlas, 376 p, 2011.
- SALAH, S.; RAHIM, A.; CARRETERO, J. A. *The Integration of six sigma and lean management*. International Journal of Lean Six Sigma, v.1, p. 249-274, 2010.
- TRUSCOTT, W. T. *Six Sigma - Continual Improvement for Businesses*, ISBN: 978-0-7506-5765-5 Elsevier, 250 p, 2003.
- VICHI F. M.; MANSOUR M. T. C. *Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial*. Química Nova, v. 32, p. 757-767, 2009.