

# Simulação de Monte Carlo para construção de gráficos de controle no processo de carregamento de etanol no setor sucroalcooleiro

*Monte Carlo simulation for construction of control charts for the ethanol-loading process in the sugar-alcohol industry*

Priscila Cristina Silva<sup>1</sup>

Renato José Sassi<sup>2</sup>

## Resumo

O objetivo deste trabalho foi aplicar a simulação de Monte Carlo para construção de gráficos de controle no processo de carregamento de etanol de uma empresa do setor sucroalcooleiro. O estudo foi desenvolvido utilizando simulação de Monte Carlo atrelada à distribuição triangular, e o resultado usado na definição dos limites superiores e inferiores dos gráficos de controle construídos de modo a identificar falhas no processo de carregamento de etanol. O experimento foi conduzido com informações de uma empresa de etanol situada no noroeste paulista, que forneceu parte de sua base de dados com os tempos de espera dos caminhões em cada etapa do processo de carregamento com destino às distribuidoras localizadas em cidades distintas. Concluiu-se que a metodologia aplicada foi satisfatória na análise das cidades atípicas, permitindo visualização prática e precisa para identificar falhas ou atrasos no processo e, conseqüentemente, reduzir a dispersão do tempo de carregamento de etanol entre as distribuidoras.

**Palavras-chave:** Carregamento de etanol. Distribuição triangular. Gráficos de controle. Setor sucroalcooleiro. Simulação de Monte Carlo.

## Abstract

The aim of this study was to apply a Monte Carlo simulation for the construction of control charts for the loading process of ethanol in a company of the sugar-alcohol sector. The study was conducted using Monte Carlo simulation and data having a triangular distribution, and the result was used to define the upper and lower limits of the control charts, which were created in order to identify problems in the ethanol loading process. The experiment was conducted with information from an ethanol company located in northwestern São Paulo, which provided part of its database with the waiting times for trucks at each stage of the loading process before they are dispatched to serve distributors located in different cities. We concluded that the applied methodology was satisfactory for the analysis of atypical cities, enabling a practical and precise preview to identify failures in the process and, consequently, to reduce the spread of the loading times among the distributors.

**Key words:** Ethanol loading process. Triangular distribution. Control charts. Sugar-alcohol industry. Monte Carlo simulation.

<sup>1</sup> Bacharel em Estatística pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCars, Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Nove de Julho – Uninove. Programa de Mestrado e Doutorado em Engenharia de Produção. São Paulo, SP [Brasil] pri.cristina@gmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo – USP, Programa de Mestrado e Doutorado em Engenharia de Produção, Programa de Mestrado e Doutorado em Informática e Gestão do Conhecimento na Universidade Nove de Julho – Uninove. São Paulo, SP [Brasil] sassi@uni9.pro.br

## 1 Introdução

De acordo com Marshall, Rocha, Mota e Quintella (2012), desde as últimas décadas do século XX, os princípios norteadores da gestão da qualidade e dos processos passaram a ser absorvidos pelas empresas e a sua utilização tornou-se valorizada pelo mercado.

Além disso, Marshall *et al.* (2012) citam que os processos e modelos que fazem parte dessa temática possibilitam o contínuo aperfeiçoamento das organizações, que a todo o momento são induzidas a alterar suas sistemáticas e seus procedimentos com o objetivo de atingir maiores patamares de competitividade.

Desta forma, em virtude do aumento da qualidade, muitas empresas estão percebendo a necessidade de reavaliarem seus processos a fim de permanecerem atuantes no mercado.

Para Milanez, Nyko, Garcia e Xavier (2010), a região Sudeste é considerada a maior produtora de etanol do Brasil, destacando o estado de São Paulo, que foi responsável por 60% da produção nacional de etanol hidratado em 2008. Além disso, como essa região é a mais desenvolvida do País, ela se tornou o maior centro consumidor do produto. Em outras palavras, a produção se dá no mesmo espaço do consumo.

Garcia, Lima e Vieira (2015) citam que o estado de São Paulo concentra em média 42% das usinas em operação, que responderam na safra 2011/2012 por 51% da produção nacional de etanol.

Possíveis atrasos no processo de carregamento de etanol (o tempo desde a chegada do caminhão na empresa até a obtenção da documentação para iniciar o percurso de entrega do produto) em decorrência de diversos fatores aleatórios podem ocorrer prejudicando todas as etapas do processo. Assim, a aplicação de ferramentas da gestão da qualidade como os gráficos de controle auxilia no monitoramento deste processo.

Triola (2005) define os gráficos de controle como valores plotados de forma sequencial, ao longo do tempo e inclui uma linha central, assim como um limite inferior de controle (LIC) e um limite superior de controle (LSC). Os limites de controle são fronteiras utilizadas para separar e identificar pontos não usuais.

Com a combinação entre simulação de Monte Carlo e gráficos de controle, objetiva-se estudar o processo de carregamento de etanol e propor melhorias para que o nível de qualidade nas etapas do processo de distribuição física seja maior.

Segundo Donatelli e Konrath (2005), quando o modelo envolve uma amostragem aleatória relacionada a uma distribuição de probabilidade, é chamado simulação de Monte Carlo. Kamat e Riley (1975) afirmam que o método pode ser utilizado, com relativa facilidade, a fim de encontrar a confiabilidade de um sistema complexo.

Jacoboni e Reggiani (1983) citam que o método de cálculo de probabilidade é baseado em simulações aleatórias de boa precisão, fácil compreensão e implementação computacional, sendo amplamente utilizado na engenharia. Desta forma, a simulação de Monte Carlo envolve a geração de um grande número de valores aleatórios para cada variável aleatória e a partir destes valores, a função de comportamento é avaliada para que seus resultados sejam observados.

Assim, o objetivo deste trabalho foi aplicar simulação de Monte Carlo para construção de gráficos de controle no processo de carregamento de etanol de uma empresa do setor sucroalcooleiro.

Este artigo está organizado em cinco seções incluindo essa introdução. A segunda seção é composta por definições sobre gráficos de controle e a simulação de Monte Carlo. A terceira apresenta a metodologia empregada. Em seguida, na quarta seção são apresentadas as discussões dos resultados obtidos e a última seção encerra o estudo com as considerações finais.

## 2 Referencial teórico

### 2.1 Gráficos de controle

O Controle Estatístico do Processo (CEP) possibilita monitorar as características de qualidade de interesse, assegurando sua manutenção dentro de limites preestabelecidos e indicando quando adotar ações de correção e melhoria. O CEP permite a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade, num esforço de melhorar a qualidade intrínseca, a produtividade e a confiabilidade do que está sendo produzido ou fornecido (Henning, Walter, Souza, & Samohyl, 2014).

Souza e Rigão (2005) afirmam que os gráficos de controle de Shewhart destacam-se notoriamente dentre as ferramentas do CEP pela simplicidade operacional e efetividade na detecção de problemas e por isso são utilizados com sucesso no monitoramento de muitos processos.

Complementando, Werkema (1995) cita que os gráficos de controle, ou cartas de controle, são ferramentas utilizadas para o monitoramento da variabilidade e para a avaliação da estabilidade de um processo. Desse modo, ao verificar a estabilidade de um processo, pode-se evitar a existência de um processo instável capaz de gerar baixa qualidade.

Para Samohyl (2009), um gráfico de controle é composto por uma linha central (LC), que representa o valor médio da característica da qualidade correspondente à situação do processo sob controle, além de um par de limites de controle: um deles localizado abaixo da linha central, chamado limite inferior de controle (LIC), e outro situado acima da linha central, denominado limite superior de controle (LSC). Convencionalmente, ambos os limites ficam a uma distância de três erros-padrão da média ou alvo do processo ( $\mu \pm 3\sigma$ ).

Segundo Montgomery (2008), para a aplicação dos gráficos de controle clássicos, supõe-se

que os dados da característica da qualidade do processo sejam independentes e normalmente distribuídos. Caso estas suposições não forem satisfeitas, o desempenho do gráfico de controle pode ser insuficiente, o que pode acarretar um número elevado de alarmes falsos.

Vale enfatizar que a suposição mais importante relativa aos gráficos de controle é a independência das observações de um processo produtivo; e se a suposição de normalidade não for obedecida num grau moderado, os gráficos de controle ainda funcionam de forma razoável, o que não acontece com a suposição de independência.

### 2.2 Simulação de Monte Carlo

De acordo com Metropolis, Rosenbluth, Rosenbluth, Teller e Teller (1953) o método de Monte Carlo foi desenvolvido pelos cientistas Stanislaw Ulam, Enrico Fermi, John von Neumann e Nicholas Metropolis, que, durante a Segunda Guerra Mundial, aplicaram o método na pesquisa de fusão nuclear para construção da bomba atômica, mais especificamente, no estudo da difusão dos nêutrons.

Para Zuccolotto e Colodeti (2007), o método de Monte Carlo é uma expressão muito geral, na qual as formas de investigação estão baseadas no uso de números aleatórios e estatística de probabilidade. Os autores citam que é uma metodologia de simulação baseada na utilização de números aleatórios que são sorteados para gerar resultados e as distribuições de probabilidades correspondentes. Esse método permite, essencialmente, simular o comportamento de processos que dependem de fatores aleatórios.

Prado (2014) define, resumidamente, o método de Monte Carlo como uma maneira de transformar um conjunto de números aleatórios em outro conjunto de variáveis, com a mesma distribuição da variável considerada.

Winston (2003) e Muñoz e Muñoz (2010) afirmam que a forma correta para realizar uma simulação de uma operação é aplicar um método que utiliza a distribuição simulada de eventos probabilísticos discretos, chamada simulação estocástica ou método de Monte Carlo. Esta metodologia gera possíveis cenários a partir de um gerador de dados aleatórios que são escolhidos como parâmetros de incerteza.

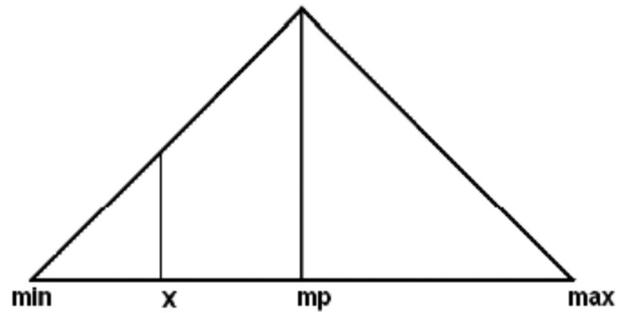
Cabe enfatizar que Martins, Werner e Pinto (2010) ressaltam que a simulação de Monte Carlo não fornece como resultado uma recomendação explícita para se tomar uma decisão, e sim um detalhamento para as possibilidades de resultado por meio de uma distribuição de frequência. Dependendo da natureza do problema, diferentes distribuições de probabilidade podem ser utilizadas para as variáveis independentes. Podem-se utilizar distribuições, tais como normal, log-normal, exponencial, triangular, *weibull* e uniforme.

### 2.2.1 Simulação de Monte Carlo e a distribuição triangular

Assis, Dourado, Manfron, Bonnacarrère e Martin (2006) informam que a distribuição triangular é apropriada nos casos em que é possível determinar o valor mais provável da variável aleatória, bem como seu valor mínimo e máximo quando uma função linear parece apropriada para a descrição da distribuição dos valores dos erros das variáveis. Os autores afirmam que, nessas situações, admite-se que os dados têm uma distribuição triangular, que é um bom modelo entre a distribuição normal e a uniforme.

Machado e Ferreira (2012) mostram que a probabilidade de determinado valor “x” ocorrer corresponde à área do triângulo representado na Figura 1.

Analisando-se o lado direito da Figura 1, obtém-se a expressão 1.



**Figura 1: Função distribuição triangular**  
 min – valor mínimo assumido pela função; mp – valor mais provável da ocorrência; max – valor máximo assumido pela função.  
 Fonte: Machado e Ferreira (2012).

$$\min \leq x \leq mp \rightarrow \frac{(x - \min)^2}{(mp - \min) \cdot (max - \min)} \quad (1)$$

Seja RN uma variável aleatória no intervalo  $\min \leq x \leq mp$ , correspondente ao lado esquerdo da distribuição triangular em relação ao pico (mp), cuja equação 2 é apresentada a seguir.

$$RN = \frac{(x - \min)^2}{(mp - \min) \cdot (max - \min)} \quad (2)$$

A partir da equação 2, obtém-se a equação 3 que se refere à função distribuição de probabilidade triangular acumulada aleatória do lado esquerdo (Machado & Ferreira, 2012).

$$x = \min + \sqrt{(RN) \cdot (mp - \min) \cdot (max - \min)} \quad (3)$$

Similar ao lado esquerdo, a função distribuição de probabilidade triangular acumulada aleatória do lado direito (Machado & Ferreira, 2012) é apresentada pela equação 4.

$$x = \max - \sqrt{(1 - RN) \cdot (max - mp) \cdot (max - \min)} \quad (4)$$

As expressões apresentadas nesta seção serviram de base para o desenvolvimento deste trabalho, uma vez que o método de Monte Carlo consiste na geração de números aleatórios associada a técnicas probabilísticas, no caso, a distribuição triangular.

### 3 Metodologia

#### 3.1 Caracterização da metodologia

A metodologia de pesquisa adotada neste trabalho foi definida como exploratória e experimental. Uma pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado (Gil, 2002).

Pode-se dizer que esta pesquisa objetiva o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, bastante flexível para que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado (Gil, 2002).

Segundo Yin (2015), a pesquisa exploratória permite uma maior familiaridade entre o pesquisador e o tema pesquisado, visto que este ainda é pouco conhecido, pouco explorado. Nesse sentido, caso o problema proposto não apresente aspectos que permitam a visualização dos procedimentos a serem adotados, será necessário que o pesquisador inicie um processo de sondagem, com vistas a aprimorar ideias, descobrir intuições e, posteriormente, construir hipóteses.

A pesquisa experimental determina um objeto de estudo, selecionam-se as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definem-se as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto (Gil, 2002).

#### 3.2 Caracterização do cenário e da empresa

Devido à representatividade das empresas sucroalcooleiras no interior do estado de São Paulo, neste artigo, realizou-se um experimento com as informações de uma empresa no setor sucroalcooleiro, localizada no noroeste do estado de São Paulo, que busca por excelência na qualidade em seus processos.

Deste modo, buscou-se identificar falhas ou atraso no processo de carregamento de etanol (o tempo desde a chegada do caminhão na empresa até a obtenção da documentação para iniciar o percurso de entrega do produto) por meio da aplicação de ferramentas da gestão da qualidade como os gráficos de controle que auxiliam no monitoramento deste processo.

O diferencial deste trabalho está na utilização da simulação de Monte Carlo em todas as etapas do processo e aplicação de seus resultados na construção dos limites de controle focando na obtenção de maior confiabilidade em todas as fases.

A empresa disponibilizou dados quantitativos para o estudo permitindo, assim, análises por meio de dados numéricos. É importante ressaltar que a instituição aceitou ceder os dados contanto que fosse mantido o anonimato da organização.

O processo o qual a empresa deseja obter melhorias esta relacionado a alguns problemas no carregamento de etanol que é uma das etapas do seu processo de distribuição física.

A Figura 2 ilustra o processo de carregamento de etanol da empresa estudada e está dividido em cinco etapas principais.

As cinco etapas principais apresentadas na Figura 2 estão descritas a seguir:

Etapas 1: entrada do caminhão na empresa (tempo de espera no pátio).



**Figura 2: Etapas do processo de carregamento de etanol**

Fonte: Os autores.

Etapa 2: tempo entre a pesagem inicial e o início do processo de carregamento.

Etapa 3: carregamento de etanol.

Etapa 4: tempo entre o fim do carregamento e pesagem final.

Etapa 5: tempo entre a pesagem final e a entrega da documentação.

Cabe destacar que este conjunto de etapas é um processo interno de todo o ciclo de distribuição do produto e, por isso, muitas vezes os *stakeholders* não percebem as oscilações nos tempos de espera em algumas partes deste processo. O resultado desta falta de controle gera insatisfação das distribuidoras e funcionários (caminhoneiros) responsáveis pelo transporte.

### 3.3 Condução dos experimentos

Primeiramente, a empresa forneceu uma quantidade limitada de informação sobre os tempos de cada etapa do processo para os meses de janeiro/2013 a maio/2013, pois nem todos os tempos de espera eram coletados para todos os caminhões que chegavam até ela.

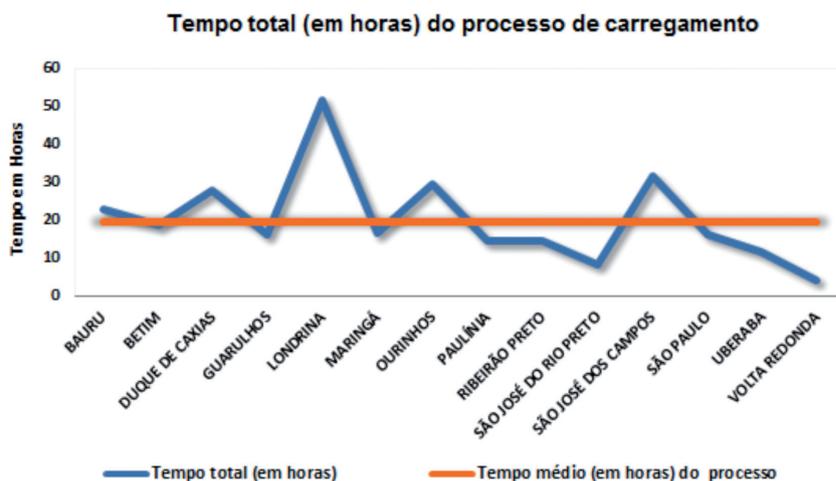
Diante de uma base de dados com muitas falhas na coleta, a organização optou por disponibilizar as informações de tempo mínimo, máximo e médio para cada etapa do processo e, dessa forma, foi possível aplicar a distribuição triangular em cada uma das eta-

pas para que o estudo pudesse ser iniciado.

Bressan (2002) cita que a distribuição triangular é ainda usada, mais comumente, quando o objetivo é obter uma aproximação na ausência de dados, a qual permite ajustar uma distribuição mais adequada, ou quando se conhece apenas os valores mais prováveis ( $m$ ), mínimo ( $a$ ) e máximo ( $b$ ) da variável, mas não se conhece muito sobre a distribuição empírica dos dados.

Após esse período, a empresa forneceu as informações, em sua totalidade, das etapas de carregamento desde a chegada dos caminhões até sua saída para as cidades de destino. Os dados foram coletados no período de junho/2013 a agosto/2013, totalizando 418 registros distribuídos em 14 distribuidoras (cidades) que receberam o etanol. A Figura 3 mostra o tempo total que cada cidade levou para cumprir as cinco etapas e o tempo médio de todas as cidades relacionadas às cinco etapas do processo de carregamento de etanol por distribuidora (cidade).

A análise da Figura 3 indica que existem cidades que estão abaixo da média geral do tem-



**Figura 3: Tempo total e tempo médio do processo de carregamento de etanol por cidade (jun./2013 a ago./2013)**

Fonte: Dados da pesquisa.

po de processo, como São José do Rio Preto, Paulínia, Ribeirão Preto, São Paulo, Uberaba e Volta Redonda.

Ainda analisando-se a Figura 3, verifica-se que algumas distribuidoras estão com o tempo médio elevado como as cidades de Duque de Caxias, Londrina, Ourinhos e São Bernardo do Campo. Quanto ao tempo total por distribuidora, não é possível concluir que todos os funcionários (caminhões) responsáveis pelo transporte de etanol para cada cidade possuem o mesmo tempo de espera em cada etapa do processo.

Utilizando-se as informações de janeiro/2013 a maio/2013 para geração dos gráficos de controle, os tempos de espera de cada caminhão que foram coletados no período de junho/2013 a agosto/2013 foram plotados e comparados com a Figura 3.

Prosseguindo-se com o experimento, ao utilizar os tempos mínimo, máximo e mediano fornecidos pela empresa, foi possível adotar a distribuição triangular para aplicação da simulação de Monte Carlo.

Assim como no estudo de Machado e Ferreira (2012), foram processadas 10 mil simulações para cada etapa. Em cada uma delas, o *software* atribuía um valor aleatório no cálculo para a geração da variável de saída, nesse caso, o tempo de espera de cada etapa. O programa utilizado para a geração foi o Microsoft Excel 2010. Os resultados fornecidos pela simulação possibilitaram a identificação das probabilidades da ocorrência dos tempos de espera de acordo com os respectivos cenários.

Após a simulação, Machado e Ferreira (2012) agruparam as variáveis aleatórias resultantes em 40 intervalos distintos e calcularam a frequência acumulada relativa dos intervalos propostos para uma visualização gráfica da distribuição dos dados por meio de um histograma. Do mesmo modo, neste trabalho, foram construídos os histogramas dessas distribuições acumuladas após a aplicação da simulação de Monte Carlo.

## 4 Resultados da simulação de Monte Carlo

Esta seção destina-se a apresentação dos resultados bem como a discussão destes.

### 4.1 Apresentação dos resultados

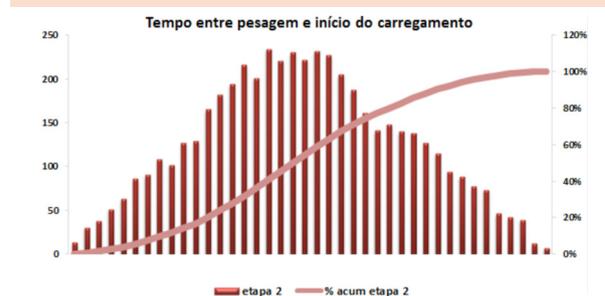
A seção 3 apresentou a metodologia empregada na condução deste estudo focando na construção dos gráficos de controle.

As Figuras de número 4 a 8 representam, visualmente, o resultado final da simulação de Monte Carlo atrelada à distribuição triangular.



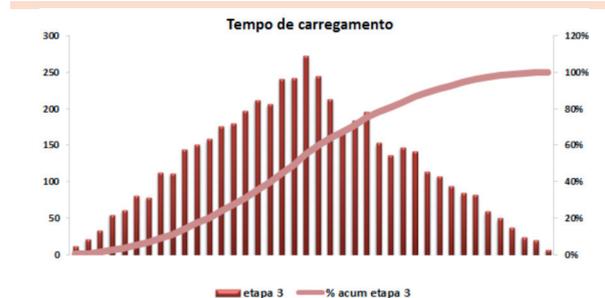
**Figura 4: Tempo espera no pátio**

Fonte: Os autores.



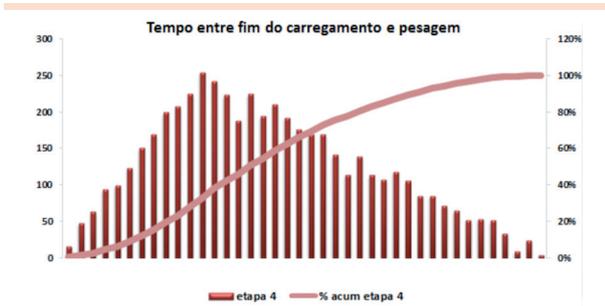
**Figura 5: Tempo entre pesagem inicial e início do carregamento**

Fonte: Os autores.

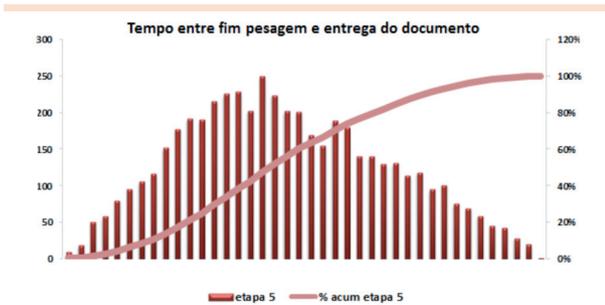


**Figura 6: Tempo de carregamento**

Fonte: Os autores.



**Figura 7: Tempo entre fim do carregamento e pesagem final**  
Fonte: Os autores.



**Figura 8: Tempo entre fim da pesagem e entrega do documento**  
Fonte: Os autores.

As Figuras 4 a 8 mostram que os dados resultantes da simulação se assemelhavam à distribuição triangular, que foi adotada no processo de simulação, sendo possível, desse modo, prosseguir com a construção dos limites superiores e inferiores a serem adotados nos gráficos de controle.

Lu, Chang e Yang (2016) utilizaram a média e três desvios-padrão ( $\mu \pm 3\sigma$ ) no cálculo dos limites superiores e inferiores e também destacam alguns autores que criaram gráficos de controle de forma similar.

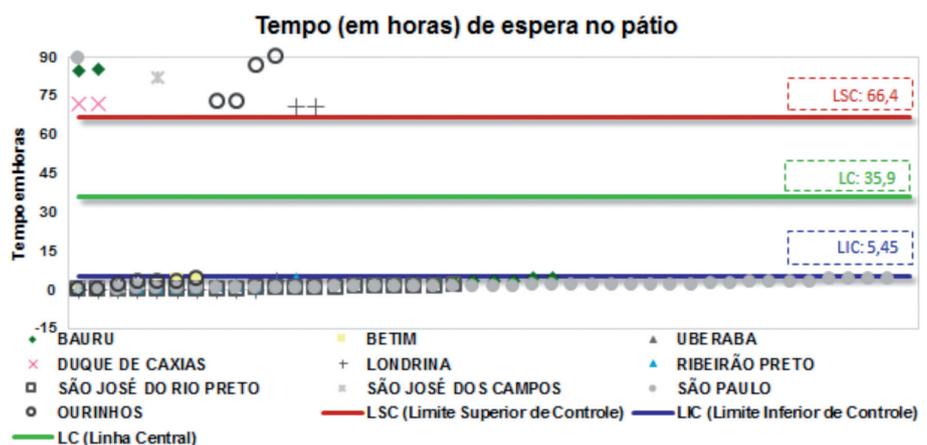
Por esta razão, após a aplicação da simulação, foram definidos os limites de controle superior e inferior (LSC e LIC) para cada etapa considerando os valores

resultantes da simulação. Após a definição desses limites, os dados reais do processo de carregamento foram plotados de acordo com o destino final do etanol para os períodos de junho/2013 a agosto/2013. O *software* utilizado para a geração dos gráficos de controle foi o Microsoft Excel 2010.

As Figuras 9 a 13 mostram os gráficos de controle para cada etapa do processo por cidade.

Como existem 418 pontos no total, e cada ponto representa um caminhão seguindo para seu destino (distribuidoras), os gráficos se tornam pouco visuais, dificultando a análise e, por esta razão, foram plotados apenas os caminhões fora dos limites de controle superiores e inferiores.

Na Figura 9, nota-se que alguns dos caminhões mais impactados com relação ao tempo de espera no pátio prestam serviços para as distribuidoras de Ourinhos, Bauru, Duque de Caxias, São José dos Campos e Londrina. Destaca-se, por exemplo, que dos cento e onze caminhões com destino a São Paulo, 41% estão abaixo do limite inferior de controle, ou seja, são atendidos de forma muito rápida o que pode causar descontentamento em outros clientes devido a grande variação do tempo de espera. De forma oposta, os caminhões com destino a Ourinhos (15%), Duque de Caxias (8%) e Bauru (3%) estão acima do limite superior de controle.



**Figura 9: Gráfico de controle para o tempo (em horas) de espera no pátio**  
Fonte: Os autores.

A Figura 10, a seguir, mostra que, na etapa 2 (tempo entre pesagem e início do carregamento), poucos caminhões ultrapassam o limite superior, ou seja, existe um problema de dispersão de tempo nesta etapa, mas o maior gargalo encontra-se nas outras. Nesta etapa, as cidades de São Paulo (3% dos caminhões), Duque de Caxias (13%) e Bauru (5%) são as únicas que possuem veículos com excesso de atraso.

A Figura 11 apresenta o tempo de carregamento de etanol e percebe-se que poucos caminhões ultrapassam o limite superior de controle. Mais uma vez, a cidade de São Paulo apresenta caminhões que realizam o carregamento em menos tempo quando comparado aos demais (LIC).

Vale notar que, na Figura 11, as cidades de Bauru, Duque de Caxias e Ourinhos possuem casos acima do LSC, representando, respectivamente, 10%, 3%, 8% e 7% do total de caminhões. Segundo relatos da empresa, na companhia, há um sistema de carregamento por bombas em quatro tanques de etanol o que garante maior rapidez no processo, mas em certas situações uma das bombas fica em manutenção causando impacto no processo. Os casos não conformes no tempo entre o final do carregamento e a pesagem são mostrados na Figura 12. A justificativa para os casos excedentes é a formação de fila, uma vez que o tempo de carrega-

mento é mais rápido e pode haver espera para pesagem, e conseqüentemente, para a entrega da documentação. As distribuidoras impactadas foram as de São Paulo (10% dos caminhões), Ourinhos (15%), Duque de Caxias (17%), Bauru (2%), São José dos Campos (5%), Volta Redonda (50%) e Ribeirão Preto (5%).

A Figura 13 mostra que muitos caminhões de cidades distintas esperam mais de três horas (limite superior de controle) para entrega da documentação e liberação para viagem como os destinados a São José dos Campos, com 20% do total de caminhões; São Paulo, com 3%; Betim, com 9%; Maringá, com 40%; e Ourinhos, com 10%.

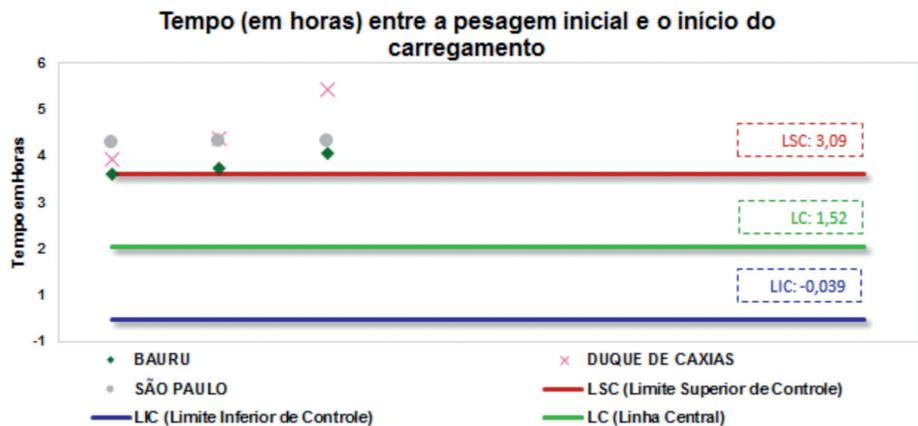


Figura 10: Gráfico de controle para o tempo (em horas) entre pesagem inicial e início do carregamento de etanol. Fonte: Os autores.

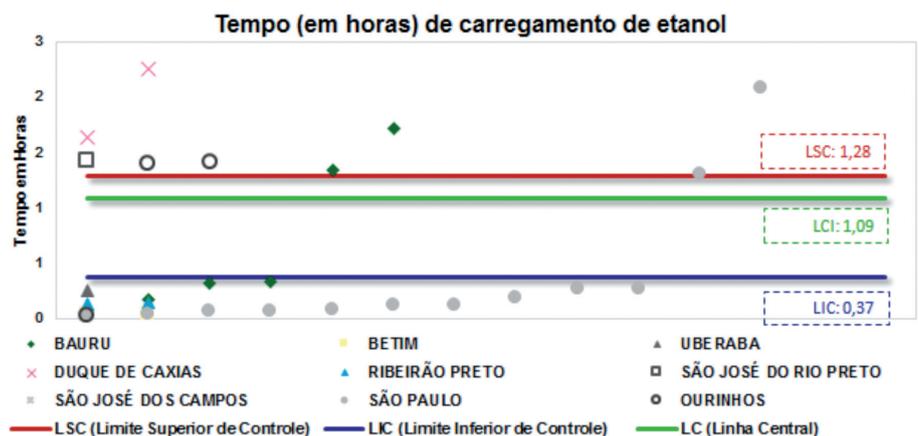


Figura 11: Gráfico de controle para o tempo (em horas) de carregamento de etanol. Fonte: Os autores.

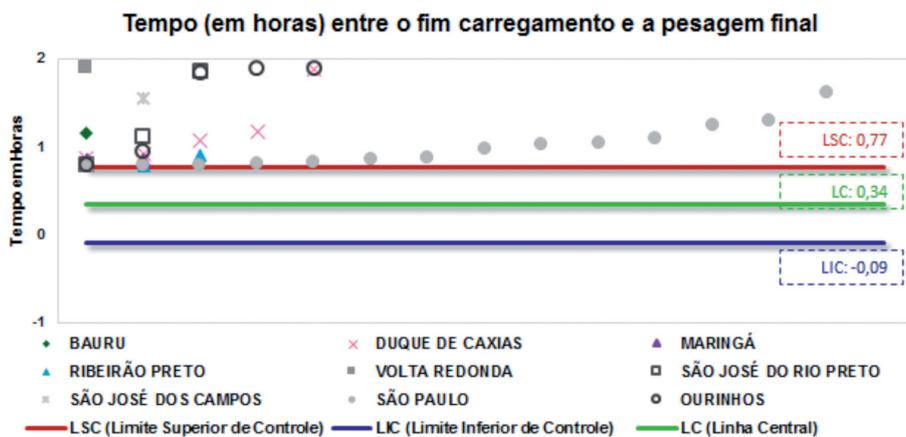


Figura 12: Gráfico de controle do tempo (em horas) entre o fim de carregamento e a pesagem final

Fonte: Os autores.

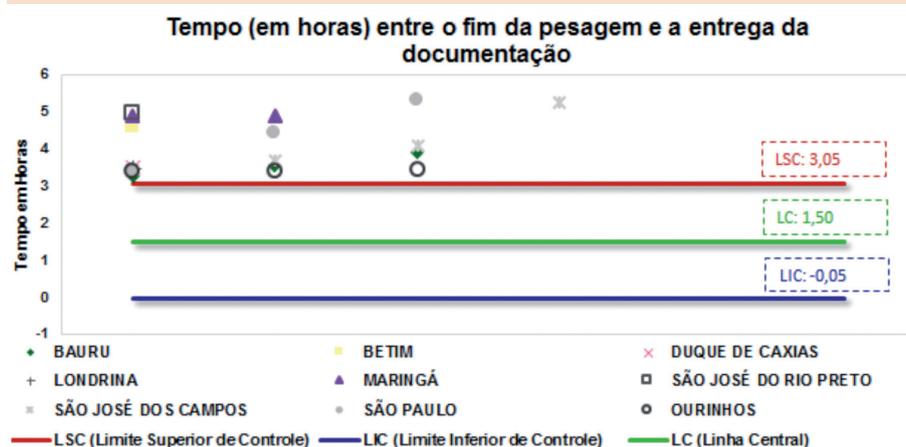


Figura 13: Gráfico de controle para o tempo (em horas) entre fim da pesagem e entrega da documentação

Fonte: Os autores.

Como uma etapa depende da outra, se uma das anteriores sofre atraso, todo o processo é impactado e a formação de filas é inevitável. Mais uma vez, as distribuidoras que já foram prejudicadas nas etapas anteriores aparecem no gráfico acima de limite superior de controle.

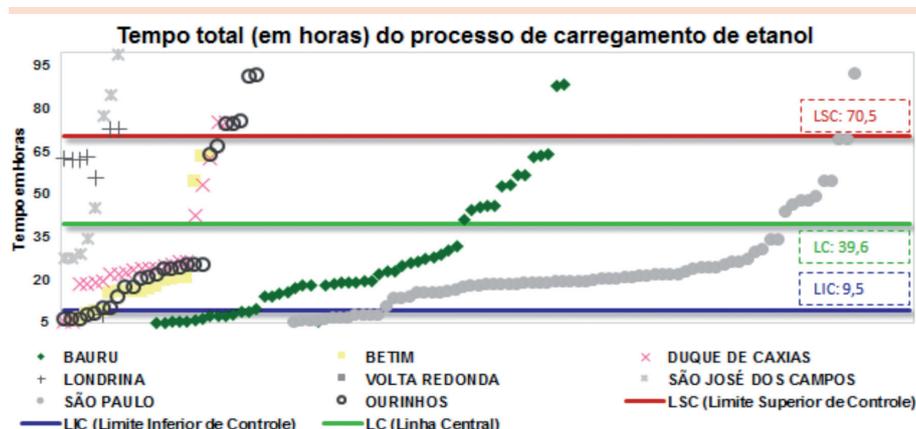
A Figura 14 mostra o tempo total do carregamento de etanol somando as cinco etapas apresentadas nas Figuras 9 a 13. Para obter um panorama da situação das distribuidoras no processo como um todo, o gráfico apresenta as cidades de destaque juntamente com o total de horas (em ordem crescente) dos caminhões que estão acima, abaixo e dentro dos limites (LSC e LIC). Em suma, São José

dos Campos, Ourinhos, Londrina, Bauru, Duque de Caxias estão com tempo de carregamento acima do esperado (LSC) para alguns casos. Além disso, alguns caminhões de São Paulo, Ourinhos, Ribeirão Preto, São José dos Campos e Betim estão abaixo do limite inferior de controle (LIC). Apesar de alguns caminhões não terem ultrapassado o limite superior de controle, observa-se que muitos estão com tempo de espera bem próximo ao LSC que também necessitam ser controlados.

## 4.2 Discussão dos resultados

Verificou-se que não há padronização nos setores responsáveis pelas etapas do processo, uma vez que existe alta variabilidade no processo. Além disso, ao comparar as Figuras 3 e 14, notou-se que, por exemplo, não são todos os caminhões das cidades de São Paulo, Bauru e Ourinhos que possuem tempo de espera abaixo dos limites, sendo necessário analisar as causas pontuais que acarretaram maior tempo de espera. Observou-se também que outras cidades têm problemas de atraso apenas em etapas específicas, como Betim e Maringá (Figura 13).

Diante dos resultados encontrados, os gráficos de controle proporcionam melhor visualização dos casos atípicos e são direcionadores para tomada de decisões que visam a melhorar o processo de carregamento de etanol como um todo.



**Figura 14: Gráfico de controle para o tempo total (em horas) de carregamento**

Fonte: Os autores.

Para as cidades atípicas, a sugestão é, inicialmente, priorizá-las no atendimento assim que os caminhoneiros chegam ao pátio para que não haja tempo excessivo de espera. O mesmo plano de ação é válido para as outras cidades que estão abaixo do limite superior, mas que se encontram acima da média das demais. Nos casos em que as cidades estão abaixo dos limites inferiores, a solução é ponderar os tempos com os casos de espera maiores para que todos os clientes se encontrem no mesmo patamar e o gráfico de controle se mantenha estável.

A participação dos gerentes de projetos e acionistas garante que as etapas internas de qualquer processo na empresa sejam referências em qualidade e, por isso, ao aproximar os *stakeholders* em todas as fases que incluem a distribuição física, produção e pós-vendas aumentam as chances da excelência em qualidade.

Em suma, os gráficos de controle são úteis para monitorar todas as etapas do processo para garantir a qualidade no atendimento. Atualizando os dados reais de entrada é possível fazer o acompanhamento do processo e buscar atender todas as distribuidoras evitando desperdício de tempo.

Complementando esta seção, Figueiredo (2006) questiona a forma de eliminar o desperdício de tempo e atribui a resposta à palavra-chave: processo. É necessário mapear todas as atividades

que precisam ser realizadas para que aquela operação ocorra no menor tempo possível. Além disso, indaga sobre quais ações poderiam ser feitas em paralelo e incentiva conhecer as atividades críticas do processo e aquelas que podem causar o atraso.

Ferreira (2015) sugere a aplicação de logística enxuta para redução de tempo

no processo de carregamento de etanol, citando a implantação do 5S nos setores de recepção (chegada dos caminhões), balança e expedição do documento e a ferramenta Kanban, adaptada para logística enxuta, permitirá ao setor de carregamento se organizar e controlar a quantidade de caminhões aguardando para o carregamento e, ao adotar fichas padronizadas (com informações, tais como nome da ficha, data do carregamento, turno, quantidade de combustível que será abastecido), os operadores poderão verificar, por exemplo, qual bomba está disponível, assim como a quantidade do produto a ser carregado e o tempo para desenvolver os processos.

Cherubin (2011) apresenta uma nova tecnologia auxiliando a implantação da logística enxuta, possibilitando a redução de processos e tempo, desperdícios e prejuízos em uma usina. O autor ainda afirma que no passado a precisão de processos de medição e controle do etanol eram inatingíveis, mas, com a chegada da automação, passou a ser algo possível e seguro, tanto para quem envia o produto quanto para quem o recebe.

Cherubin (2011) ainda apresenta um sistema que elimina o uso das ordens em papel, pois emite ordens eletrônicas por meio de um cartão *smart-card*, no qual são gravados os dados para carregamento, como, por exemplo, nome, trans-

portadora, placa do caminhão, volume e tipo do produto a ser carregado. Em posse do *smart-card*, o motorista direciona-se à plataforma para o processo de carregamento, sendo os dados gravados neste cartão, e as informações transferidas para um depósito de dados denominado controladora, mediante uma leitora de cartão.

Dessa forma, o operador da plataforma executa o processo de carregamento de acordo com o número de compartimentos do caminhão e as informações obtidas. Durante o andamento do processo de carregamento de etanol, a controladora recebe as informações de temperatura, densidade, dentre outras inerentes ao processo de carregamento. No término do processo, estes dados são gravados no cartão *smart-card*, gerando as notas fiscais, possibilitando a liberação do caminhão num tempo reduzido.

## 5 Conclusão

Neste trabalho, delimitou-se o tema em torno dos estudos que envolveram diferentes áreas de atuação da engenharia de produção, como a pesquisa operacional, por meio da aplicação da simulação de Monte Carlo atrelada à distribuição triangular e a área da qualidade, com a aplicação dos gráficos de controle. A abordagem das duas técnicas em conjunto garantiu maior precisão nos resultados, como os limites superiores e inferiores apresentados neste artigo.

Cabe destacar que se trata de uma alternativa para ajudar a reduzir desperdícios relacionados à distribuição física, por exemplo, custos, processos e principalmente o tempo. Como se trata de uma etapa interna de produção, a busca por melhorias constantes e facilidade de implantação é fundamental para a competitividade e saúde financeira da empresa que poderá focar em outros processos de melhoria.

Consequentemente, as análises efetuadas podem impactar tanto os clientes finais, que poderão receber o produto dentro da conformidade esperada e de forma antecipada, quanto os próprios caminhoneiros que são responsáveis pelo transporte do produto e que, muitas vezes, ficam além do tempo necessário dentro da empresa até a saída para seu destino final.

É importante ressaltar que o método de simulação é útil quando a empresa tem o foco em monitorar e controlar os riscos inerentes a cada processo. Além disso, quando a simulação é aplicada em dados de entrada de qualidade, o resultado torna-se ainda mais consistente e, por isso, sugere-se, para estudos futuros, realizar o teste de aderência estatística dos dados completos que foram disponibilizados *a posteriori* bem como analisar qual é a melhor distribuição de probabilidade que os dados se adequam para que seja possível, então, gerar uma nova simulação de Monte Carlo de acordo com o comportamento dos dados.

## Agradecimentos

À Universidade Nove de Julho (UNINOVE) pelo apoio à pesquisa, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa do Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares (PROSUP) e a Rodrigo Uliana Ferreira pela colaboração.

## Referências

Assis, J. P. D., Dourado, D., Neto, Manfron, P. A., Bonnacarrère, R. A. G., & Martin, T. N. (2006). Simulação estocástica de atributos do clima e da produtividade potencial de milho utilizando-se distribuição triangular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*.

- Bressan, G. (2002). *Modelagem e simulação de sistemas computacionais: abordagem sistemática de modelagem e análise de desempenho de sistemas*. São Paulo: Larc-PCS/Epusp.
- Cherubin, N. (2011). Automação no carregamento de etanol: segurança garantida. *Revista Ideias News*.
- Donatelli, G. D., & Konrath, A. C. (2005). Simulação de Monte Carlo na avaliação de incertezas de medição. *Revista de Ciência & Tecnologia*, 13(25/26), 5-15.
- Ferreira, R.U. (2015). *Aplicação da logística enxuta no carregamento de etanol: um estudo de caso no noroeste paulista*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Araraquara, Araraquara, SP, Brasil.
- Figueiredo, K. A. (2006). Logística enxuta. *Centro de Estudo em Logística-COPPEAD/UFRJ*.
- Garcia, J. R., Lima, D. A. L. L., & VIEIRA, A. (2015). A nova configuração da estrutura produtiva do setor sucroenergético brasileiro: panorama e perspectivas. *Revista de Economia Contemporânea*, 19(1), 162-184.
- Gil, A. C. (2002) *Como elaborar projetos de pesquisa* (4a ed.). São Paulo: Editora Atlas.
- Henning, E., Walter, O. M. F. C., Souza, N. S. de, & Samohyl, R. W. (2014). Um estudo para a aplicação de gráficos de controle estatístico de processo em indicadores de qualidade da água potável. *Sistemas & Gestão*, 9(1), 2-13.
- Jacoboni, C., & Reggiani, L. (1983). The Monte Carlo method for the solution of charge transport in semiconductors with applications to covalent materials. *Reviews of Modern Physics*, 55(3), 645-705.
- Kamat, S. J., & Riley, M. W. (1975). Determination of reliability using event-based Monte Carlo simulation. *IEEE transactions on reliability*, 24(1), 73-75.
- Lu, K. P., Chang, S. T., & Yang, M. S. (2016). Change-point detection for shifts in control charts using fuzzy shift change-point algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, 93, 12-27.
- Machado, N. R. D. S., & Ferreira, A. O. (2012). Método de simulação de Monte Carlo em planilha Excel: desenvolvimento de uma ferramenta versátil para análise quantitativa de riscos em gestão de projetos. *Revista de Ciências Gerenciais*, 16(23), 223-244.
- Marshall Jr, I., Rocha, A., Mota, E., & Quintella, O. (2012). *Gestão da qualidade e processos*. Rio de Janeiro: Editora FGV.
- Martins, V. L. M., Werner, L., & Pinto, F. T. (2010). Uso da Simulação de Monte Carlo para Avaliação da Confiabilidade de um Produto. *Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais. SIMPOI*, São Paulo, SP, Brasil, 13.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., & Teller, E. (1953). Equation of state calculations by fast computing machines. *The journal of chemical physics*, 21(6), 1087-1092.
- Milanez, A. Y., Nyko, D., Garcia, J. L. F., & Xavier, C. E. O. (2010). Logística para o etanol: situação atual e desafios futuros. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, (31), 49-98.
- Montgomery, D. C. (2008). *Introduction to statistical quality control*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., Hoboken.
- Muñoz, D. F., & Muñoz, D. F. (2010). Planeación y control de proyectos con diferentes tipos de precedencias utilizando simulación estocástica. *Información Tecnológica*, 21(4), 25-33.
- Prado, D. S. D. (2014). *Teoria das filas e da simulação*. Nova Lima, MG: Falconi.
- Samohyl, R. W. (2009). *Controle estatístico de qualidade*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Souza, A. M., & Rigão, M. H. (2005). Identificação de variáveis fora de controle em processos produtivos multivariados. *Production*, 15(1), 74-86.
- Triola, M. F. (2005). *Introdução à estatística*. Rio de Janeiro: LTC.
- Werkema, M. C. C. (1995). *Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos* (Vol. 2). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. Fundação Christiano Ottoni.
- Winston, W. (2003). *Operations research: applications and algorithms*. Independence, KY: Cengage Learning.
- Yin, R. K. (2015). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Porto Alegre: Editora Bookman.
- Zuccolotto, R., & Colodeti Filho, É. (2007). Gerenciamento de preços em empresas de pequeno porte por meio do custeio variável e do método de Monte Carlo. *Enfoque: Reflexão Contábil*, 26(3).

Recebido em 29 abr. 2016 / aprovado em 25 out. 2017

**Para referenciar este texto**

Silva, P. C., & Sassi, R. J. Simulação de Monte Carlo para construção de gráficos de controle no processo de carregamento de etanol no setor sucroalcooleiro. *Exacta – EP*, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 369-381, 2017.

