

IMPLANTAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO EM PROCESSO DE FABRICAÇÃO



Autores

Leonardo Henrique Cle-
mente Pinto

Graduação Superior de Tecnologia
em Gestão da Produção Industrial
na Faculdade de Tecnologia do Es-
tado de São Paulo – FATEC – Cen-
tro Paula Souza – CPS.

E-mail: contato@fateccruzeiro.edu.br

Fabício Maciel Gomes

Doutorado em Engenharia de Pro-
dução pela Faculdade de Engenha-
ria de Guaratinguetá - FEG/UNESP,
docente na Escola de Engenharia
de Lorena da Universidade de São
Paulo - EEL – USP e docente na Fa-
culdade de Tecnologia do Estado de
São Paulo – FATEC.

E-mail: fmgomes@usp.br

Raphael Barbosa Carneiro
de Lima

Mestrado em Engenharia Mecâni-
ca pela Universidade de Taubaté –
UNITAU.

E-mail: fmgomes@usp.br

Resumo

As indústrias, de uma forma geral, buscam a otimização de seus sistemas afim de os qualificarem, portanto, em cenários de negócios produtivos elas tendem a estimar o desempenho dos sistemas sob condições experimentais e operacionais para controlarem seus processos de manufatura. Neste contexto, a simulação é uma ferramenta que atua como uma técnica de análise quantitativa em desempenhos. A simulação de Monte Carlo (SMC) é um método matemático que consiste na simulação de diferentes cenários em um projeto ou processo que uxilia nas tomadas de decisões, controle de riscos e incertezas de empresas, por meio de fundamentos estatísticos. Este trabalho teve como objetivo realizar simulações de um processo fabril para fabricação de um protótipo de um produto em desenvolvimento. Os resultados das simulações realizadas foram analisados em função dos indicadores selecionados no projeto do produto. Pode-se concluir, portanto, que a Simulação de Monte Carlo demonstrou ser uma ferramenta como de apoio eficaz para auxiliar projetos de processos de fabricação.

Palavras-chave: Simulação de Monte Carlo. Gestão da Qualidade e Processo de Fabricação.

IMPLEMENTATION OF THE MONTE CARLO SIMULATION IN THE MANUFACTURING PROCESS

Abstract

The companies in general search the optimization in their systems to qualify them, thus in productive bussines scenarios they tend to estimate the performance of the experimentals and operationals systems to control the manufacturing process. So, the simulation is a tool that work like a quantitative analysis technique in performance. The Monte Carlo Simulation is a mathematic method that consist in simulate of several scenarios in a Project or process to help in risks and uncertainties decisions making of the companies through statistical fundamentals. This work has had a gol to realize simulations in manufacturing process to manufacture of a product prototype in development. The simulations result has been analyzed by selected indicators in product Project. It can be concluded, therefore, that the Monte Carlo Simulation has shown be a tool as a effective support to help management the manufacturing process project.

Keywords: Monte Carlo Simulation. Quality Management and manufacturing process

I. INTRODUÇÃO

No ambiente industrial as empresas determinam estratégias de gestão para controlar, manipular e otimizar seus processos e projetos técnicos afins de rentabilizá-los e administrá-los de maneira eficientemente produtiva, isso é um fator devido a competitividade entre as empresas e a globalização mundial.

Existem algumas técnicas de análise para auxílio em projetos ou processos, a simulação, por sua vez, é uma entre elas que se apresenta como ferramenta em análise quantitativa que permite manter um controle melhor sobre condições experimentais mesmo antes de ocorrer (Law, 2007). A simulação de Monte Carlo consiste em uma manipulação dos dados estatísticos com amostragens aleatórias que contribui na tomada de decisão de diversos cenários de riscos e/ou incertezas. Segundo Moraes 2016, Ela substitui o universo real de observações por um universo teórico correspondente, descrito por uma lei de probabilidades conhecida.

A simulação de Monte Carlo foi elaborada durante a 2ª guerra mundial no projeto Manhattan. A história evidencia que ocorreu durante um jogo de cartas em um cassino, quando o matemático Stanisław Marcin Ulam tentou calcular as probabilidades de obter êxito em jogos de carta, porém após muito cálculo, preferiu simular diversas jogadas e assim verificar os resultados das mesmas ao invés de calculá-las. Mais tarde junto com o matemático John Von Neumann o método foi utilizado no Projeto Manhattan onde tiravam informações nos dados gerados em problema da difusão de nêutrons em material sujeito a fissão nuclear para criação de bombas atômicas. Atualmente, o Método de Monte Carlo é utilizado em diversas áreas (Nasser, 2012).

Como justificativa, o projeto estudou trabalhar as não conformidades em qualidade das empresas em cenários durante a fase de determinação de projeto e produção de itens em desenvolvimento, onde elas tendem a controlar os processos em condições experimentais antes de implementá-las em produções seriadas e projetos validados. Assim como submeter amostragens padrões para o cliente como validação dos processos. Portanto, a simulação de Monte Carlo torna-se importante para auxiliar o gerente do projeto antes da validação do projeto ou produção para evitar possíveis não conformidades e resultados insatisfatório. Segundo o Instituto Brasileiro de Coaching (IBC) 2016, com ela os resultados permitem projeções para o futuro, bem como auxílio na fase inicial de um projeto.

O objetivo geral do trabalho em estudo é analisar as informações dos dados determinísticos da estatística descritiva com os das informações geradas em simulação de eventos discretos em processos de fabricação de um protótipo e determinar as especificações do produto afim de compreender a eficiência ou não

da simulação em processos mecânicos. Os objetivos específicos do projeto são:

- Manipular os dados gerados da estatística descritiva com os dados da simulação de Monte Carlo em corpos de prova com alguns processos de fabricação não convencionais em amostragens representativas.
- Comparar o projeto protótipo com o desenvolvido.
- Propor métodos de utilização da Simulação de Monte Carlo em processos de fabricação.

A fundamentação teórica do presente artigo é baseada em livros, artigos, publicações em internet, dissertações e teses. As principais obras citadas são de autoria de De Aguiar et al. (2010), De Paula (2014), Moraes (2016), entre outros.

A metodologia utilizada para cumprimento da implantação do trabalho foi aplicado em uma empresa multinacional que fabrica componentes estruturais e rodas para automóveis, situada na região do Vale do Paraíba. Os métodos para cumprimento do tema foi manipular os dados de processo fabricação que a empresa utiliza, a partir de uma amostragem representativa em corpos de prova confeccionados pelo autor. O tipo de pesquisa é uma pesquisa exploratória de caráter qualitativo e quantitativo com cunho para elaboração de um protótipo que auxiliará no fornecimento das informações, respaldado por pesquisa bibliográfica.

Os resultados obtidos com o estudo evidenciaram e propuseram a simulação como uma ferramenta de apoio ao gestor nas tomadas de decisões em projetos de desenvolvimento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Simulação de Monte Carlo

O Método de Monte Carlo foi formalizado no ano de 1949 com a publicação da obra de autoria de dois dos matemáticos envolvido no Projeto Manhattan, na Segunda Guerra Mundial. O artigo descreve um pouco da história que fundamentou a ideia e a utilização sistêmica do método da maneira que foi aplicado. (Nasser, 2012). E tem por esse nome em homenagem a roleta do cassino de Monte Carlo em Mônaco na França. Moraes et al. (2016) define que:

A simulação de Monte Carlo é um método que consiste essencialmente em estabelecer uma amostragem artificial ou simulada, na medida em que num grande número de problemas, as observações para explicação de algum problema não encontram acesso junto à realidade por ser sua obtenção excessivamente custosa ou fisicamente impossível.

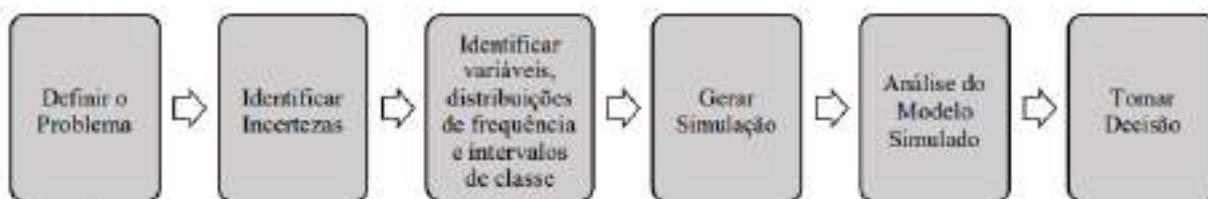
Segundo De Aguiar et al. 2010, o método da simulação de Monte Carlo pode ser visto como uma técnica de análise para atribuir valores às variáveis de um sistema que deseja investigar, com isso, a prática de simular cenários em um sistema proporciona na tomada de decisão de problemas de risco e incertezas e não uma decisão propriamente dita.

Atualmente, o método da simulação de Monte Carlo está presente em diversas áreas como finanças, na análise de demandas e custos (Da Costa et al. 2010); Na engenharia e produção como gerenciamento de projetos (De Aguiar et al. 2010), simulação de performance de produtos, gestão de estoques (Lopes et al. 2019); Na física, química, biologia e medicina em sistemas de saúde e fenômenos físicos (De Paula 2014); entre outras.

Da Costa et al. 2010, implementou a Simulação de Monte Carlo para determinar o tempo de expedição/finalização de um projeto. Em sua obra, conseguiram simular os possíveis cenários de riscos com tempo e capital que viriam a ter, informando apenas a média de tempo em cada etapa do processo, os melhores e piores cenários requerido de tempo e o prazo final que teriam. Desta forma, obtiveram resultados de viabilidade do desenvolvimento projeto em percentual sendo capaz de identificar as etapas que poderiam ser as restrições do projeto e as rentabilidades de cada etapa e o projeto como um todo.

O conceito para simular os dados com o método, consiste em gerar números aleatórios de entradas respeitando os intervalos de variação e a distribuição probabilística do sistema, aplicando em seguida a repetição dos cálculos desses números aleatórios com as variáveis de entrada e com isso resumir os resultados obtidos dos dados indicando as informações do sistema, como por exemplo o intervalo de confiabilidade, valor médio e desvio padrão. (Gómez, 2009). Os números aleatórios citados são obtidos através de artifícios aleatórios como tabelas, roletas e sorteios ou diretamente de softwares com funções específicas (Da Costa et al. 2010). Para cada simulação, faz-se necessário replicar as variáveis diversas vezes para que os valores de iterações possam corresponder a uma amostragem representativa e evitar o erro amostral. De acordo com Fernandes (2005), quanto maior o número de iterações menor será o erro. Dias de Moura (2010) e Da Costa et al. 2010, propõe algumas etapas de implantação da Simulação de Monte Carlo, conforme a Figura 1.

Figura 1- Etapas de análise e execução da simulação de Monte Carlo



Fonte: Adaptado de De Aguiar et al. 2010

De maneira mais simplificada, a simulação de Monte Carlo é desenvolvida conforme a Figura 1. Para simular um sistema é preciso definir o problema e suas características, identificar as incertezas, identificar o comportamento descritivo desses dados, gerar simulação com números aleatórios armazenando os dados de iteração para analisar o modelo simulado através do comportamento descritivo dessa simulação para então tomar a decisão sobre o modelo.

2.2. Gestão da Qualidade

A qualidade em geral é um conceito amplo adotado por pessoas e instituições e pode haver diversidades de opinião quanto a sua definição. As principais definições consideradas academicamente estão expostas pelos Gurus da Qualidade, conforme o quadro 1.

Quadro 1 – Definição dos Gurus da Qualidade

Autores	Definições
Deming	Qualidade é o termo relativo que vai mudando de significado à medida que as necessidades dos clientes evoluem
Juran	Associa à ideia de "adequação ao uso" e satisfação das necessidades do cliente.
Crosby	Conformidade com especificações: zero defeito a fazer certo da primeira vez.
Feigenbaum	Características do produto que proporciona a satisfação total do consumidor durante seu uso.
Ishikawa	Qualidade é processo no qual envolve o produto de qualidade de forma que seja econômica, útil e traz satisfação ao consumidor

Fonte: Pakes et al, 2019

Entre as expressões de cada Guru conforme observado no quadro 1, há alguns aspectos em comum que caracteriza a qualidade atribuída a processos e/ou produtos, como por exemplo a satisfação, utilidade e atendimento as necessidades. O objetivo da qualidade segundo Pakes et al 2019, é atribuir parâmetros do processo/produto perceptíveis ao cliente, como por exemplo a conformidade, durabilidade, confiabilidade, facilidade ou conveniência de uso, etc.

A gestão da qualidade é uma filosofia baseada na melhoria contínua de produtos e processos visando satisfazer as expectativas de todos os clientes, de todas

as fases do ciclo de vida dos produtos, com relação a qualidade, custos, entrega, serviços etc.,

De acordo com Paladini (2004) a Gestão da Qualidade pode ser conceituada como o processo de definição, implantação e avaliação de políticas da qualidade.

2.2.1 Não Conformidades

A gestão da qualidade, dentre seus objetivos, é responsável pela identificação e tratamento das não conformidades. Para Marrafa (2006), a não conformidade é a deficiência em uma característica, especificação de produto, parâmetro de processo, registro ou procedimento, que torna a qualidade de um produto inaceitável, indeterminada ou fora de requerimentos estabelecidos. É um componente, material de fabricação ou produto acabado fora de especificações, antes ou após a sua distribuição.

3. METODOLOGIA

Este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa exploratória de caráter qualitativa e quantitativa com cunho para elaboração de um protótipo que auxiliará no fornecimento das informações, sendo o projeto com fundamento em pesquisa bibliográfica. Segundo Dantas e Franco 2017, a pesquisa exploratória tem por objetivo aprimorar hipóteses, validar instrumentos e proporcionar familiaridade com o campo de estudo. Para Ferreira 2015, a pesquisa qualitativa caracteriza-se em estudo descritivo que busca entender o fenômeno como um todo, quanto a pesquisa qualitativa possibilita desvelar e interpretar os fenômenos. Sendo ela utilizada como base de apoio para a análise de dados que tem por objetivo satisfazer os requisitos de coerência externa e interna da pesquisa.

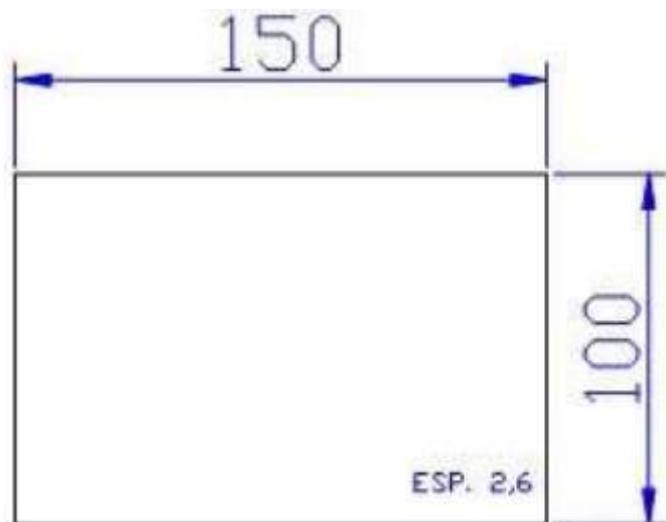
Os métodos utilizados para cumprimento da implantação do trabalho, foram aplicados em uma empresa multinacional que fábrica componentes estruturais e rodas de automóveis situada na região do Vale do Paraíba. Para gerar os dados, foram definidos corpos de prova de dimensões e formas padronizadas em um projeto que será realizado em um processo de fabricação não convencional (automatizado) com o intuito de incidir menos variáveis no processo se comparado a processos convencionais. A empresa em análise utiliza de diferentes processos de fabricação para confeccionar seus componentes e conjuntos.

O processo em estudo consiste em duas operações: corte a Laser 2D e dobra em dobradeira CNC (Controle Numérico Computadorizado). Sendo a operação de corte confeccionado e comparado com o projeto e a operação de dobra proposto método de inserir a Simulação de Monte Carlo. Para isso, foi determinada uma amostragem representativa de 110 corpos de prova para minimizar o erro amostral estatístico. A principal importância desses protótipos foi simular um

produto com processos práticos que a empresa utiliza comparando com informações computacionais da simulação em estudo.

O material utilizado foi um Aço S355MC decapado com dimensões padronizada de 2,6 x 100 x 150mm, conforme Figura 2.

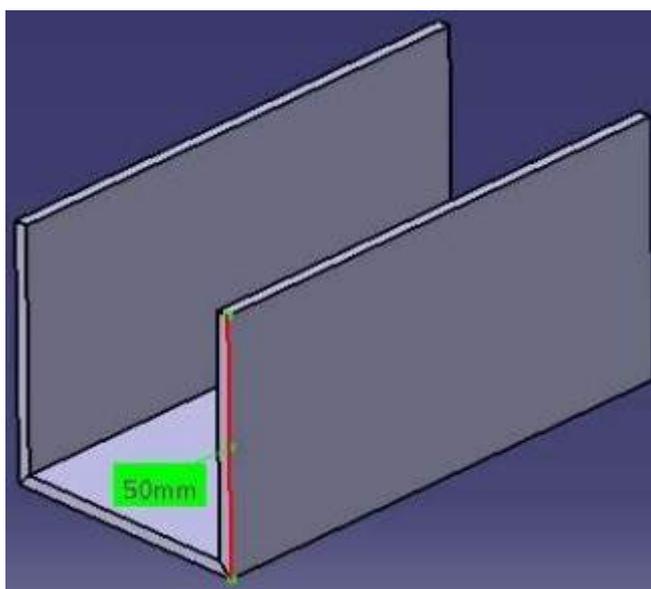
Figura 2 - Dimensões do corpo de prova



Fonte: ZW CAD 2011. Elaborado pelos autores (2019).

A Figura 2 representa a dimensão dos corpos de prova após o primeiro processo (corte a laser), após esse processo, foi analisado o processo dos materiais em projeto em dobradeira (CNC) onde foi feito duas dobras com dimensões também padronizadas e simétricas entre si que definirá nosso produto final, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 - Produto final



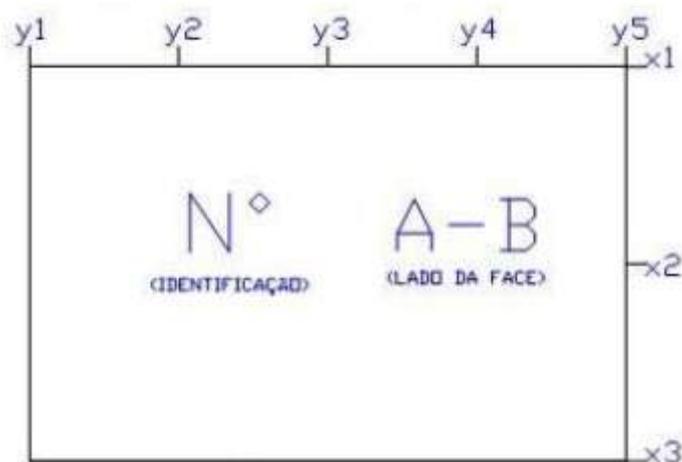
Fonte: CATIA V5. Elaborado pelos autores (2019).

Para manipular os dados e implementar a simulação de Monte Carlo durante a operação do produto, foi inspecionado no laboratório de metrologia da empresa onde possui instrumentos de medição, dispositivos calibrados e parâmetros como a temperatura controlados, o que auxilia na mensuração científica dos dados dos corpos de prova. Além disso, foram utilizados softwares específicos como o Excel® e MINITAB®18, ferramentas de fácil acesso, específicas para manipulação de dados estatísticos e de suporte para o projeto.

3.1 Primeira Operação

Na primeira operação, os corpos de prova foram cortados todos no mesmo horário, com o mesmo equipamento e com os parâmetros padronizados para não haver variáveis de processo que pudessem afetar o produto. Após cortados, os materiais foram inspecionados com instrumento de medição, o Paquímetro Digital que através dele será capaz de verificar as variações em unidade de milésimo do metro (m) e gerará os dados. Para isso, os mesmos foram identificados e dimensionados sistematicamente em alguns pontos no eixo x e y Figura 4.

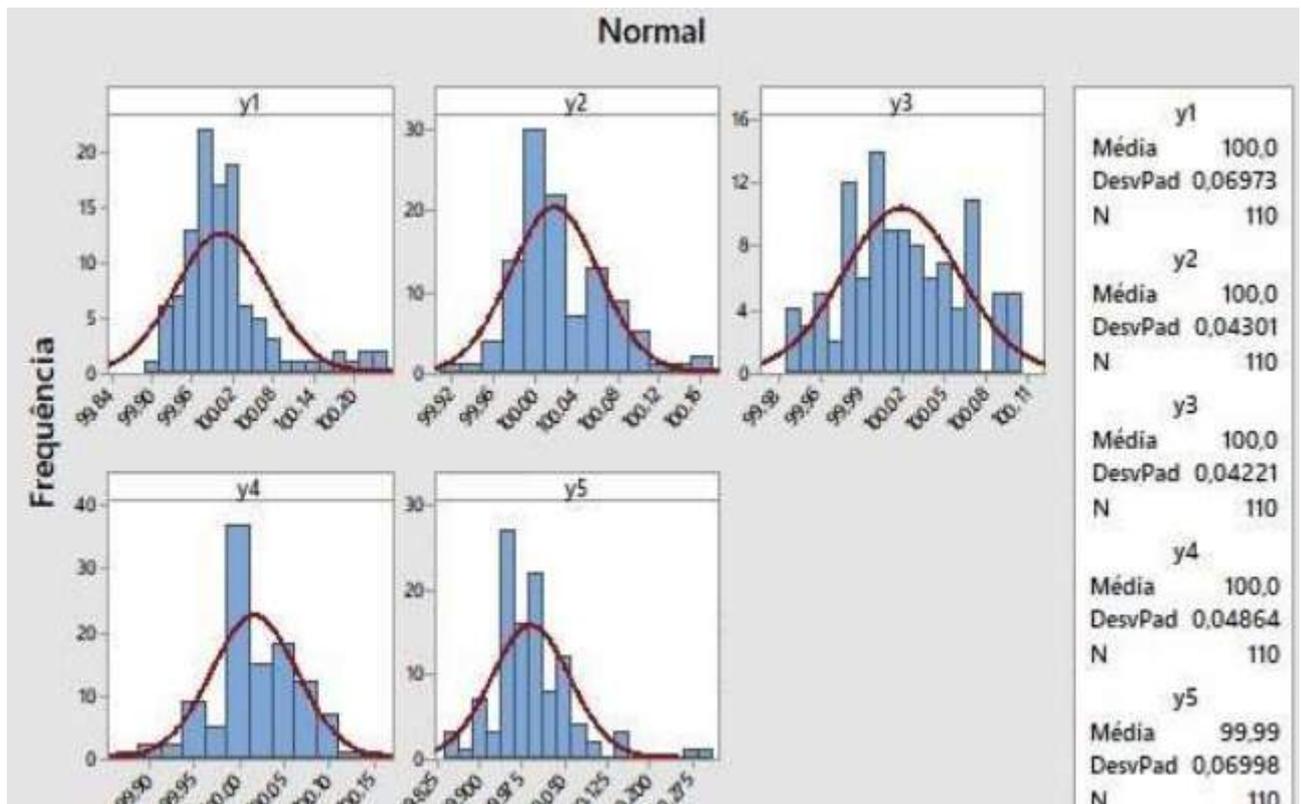
Figura 4 - Identificação de controle



Fonte: ZW CAD 2011. Elaborado pelos autores (2019)

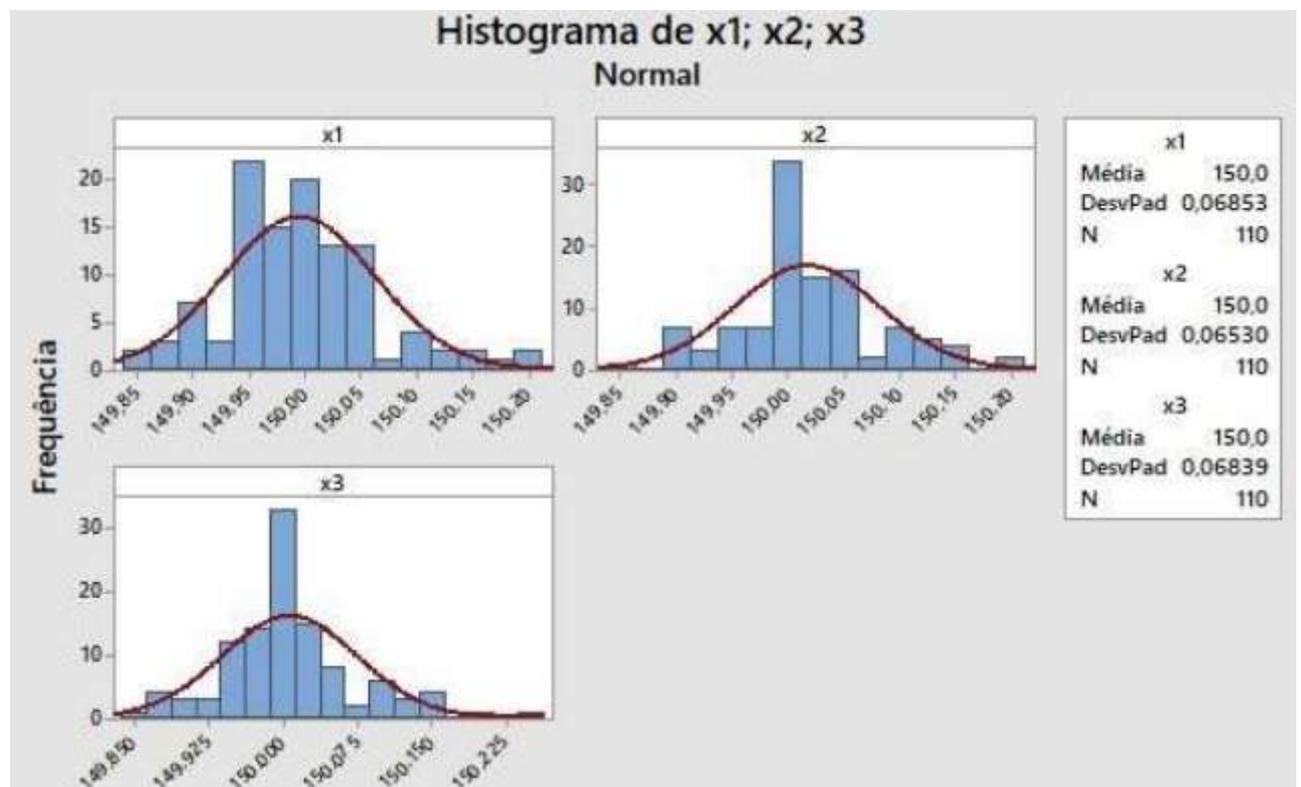
Os pontos de y_1 a y_5 e x_1 a x_3 determinam os locais de controle onde será utilizado o instrumento de medição, sendo assim, cada corpo de prova será inspecionado 5 vezes no eixo y (ordenadas) e 3 vezes no eixo x (abscissa). A denominação “N°” representa a identificação de cada produto e a expressão “A-B” o lado da face dos corpos, se na face onde sofrerá feixe de laser ou a face oposta. Como resultado do primeiro processo, os corpos de prova demonstraram a distribuição normal em cada eixo conforme as Figuras 5 e 6 .

Figura 5 - Histograma nos pontos y



Fonte: MINITAB®18. Elaborado pelos autores (2019)

Figura 6 - Histograma nos pontos x

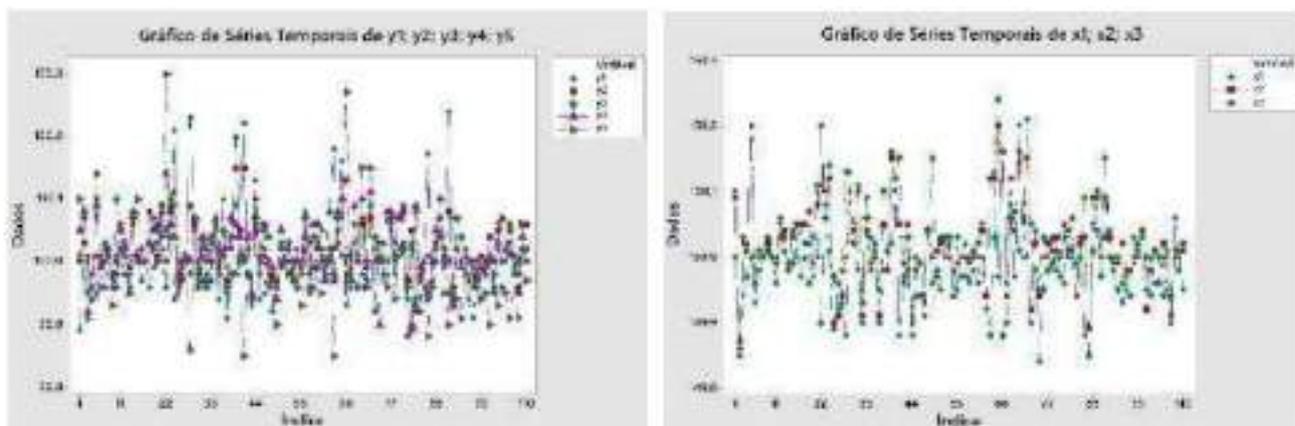


Fonte: MINITAB®18. Elaborado pelos autores (2019).

Nota-se conforme o comportamento das figuras que os corpos de prova

apresentaram uma distribuição normal entre os dados, uma distribuição estável. Para analisar a dispersão e a variação dos dados, foi gerado os gráficos dos comportamentos em séries temporais, como mostra a Figura 7 e 8.

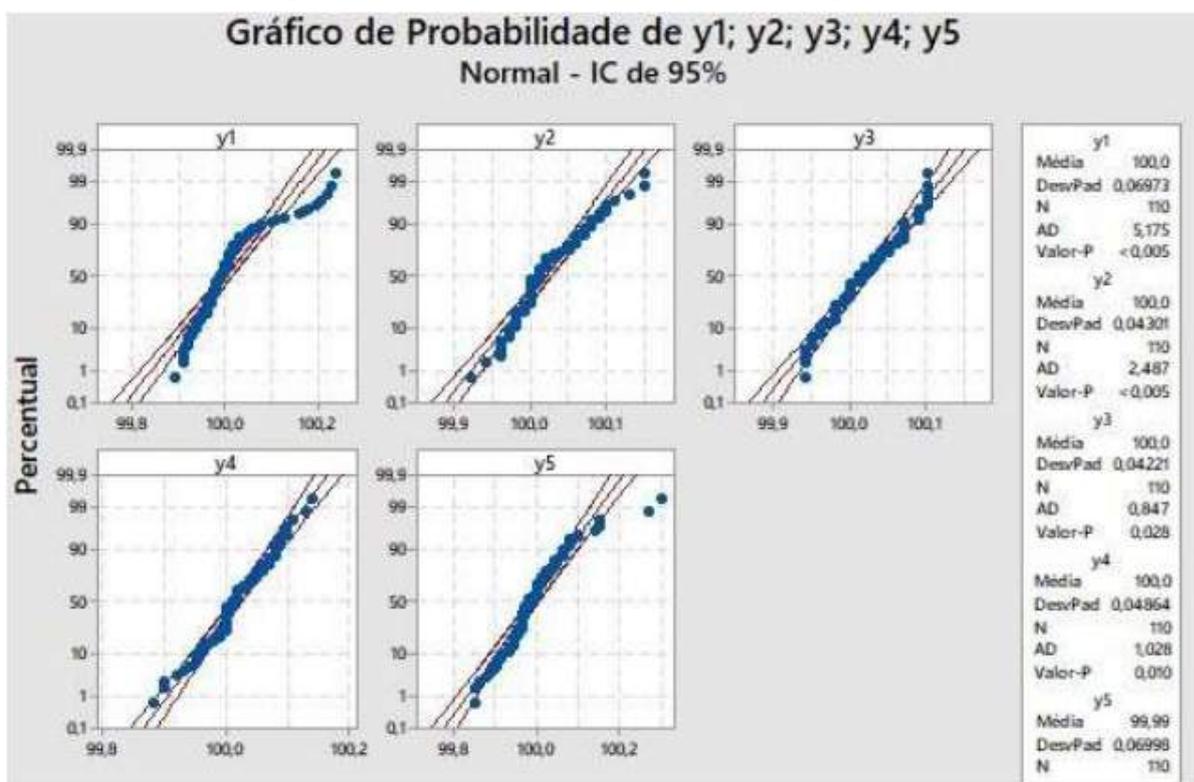
Figuras 7 e 8 - Gráfico de Séries Temporais em x e y



Fonte: MINITAB®18. Elaborado pelos autores (2019)

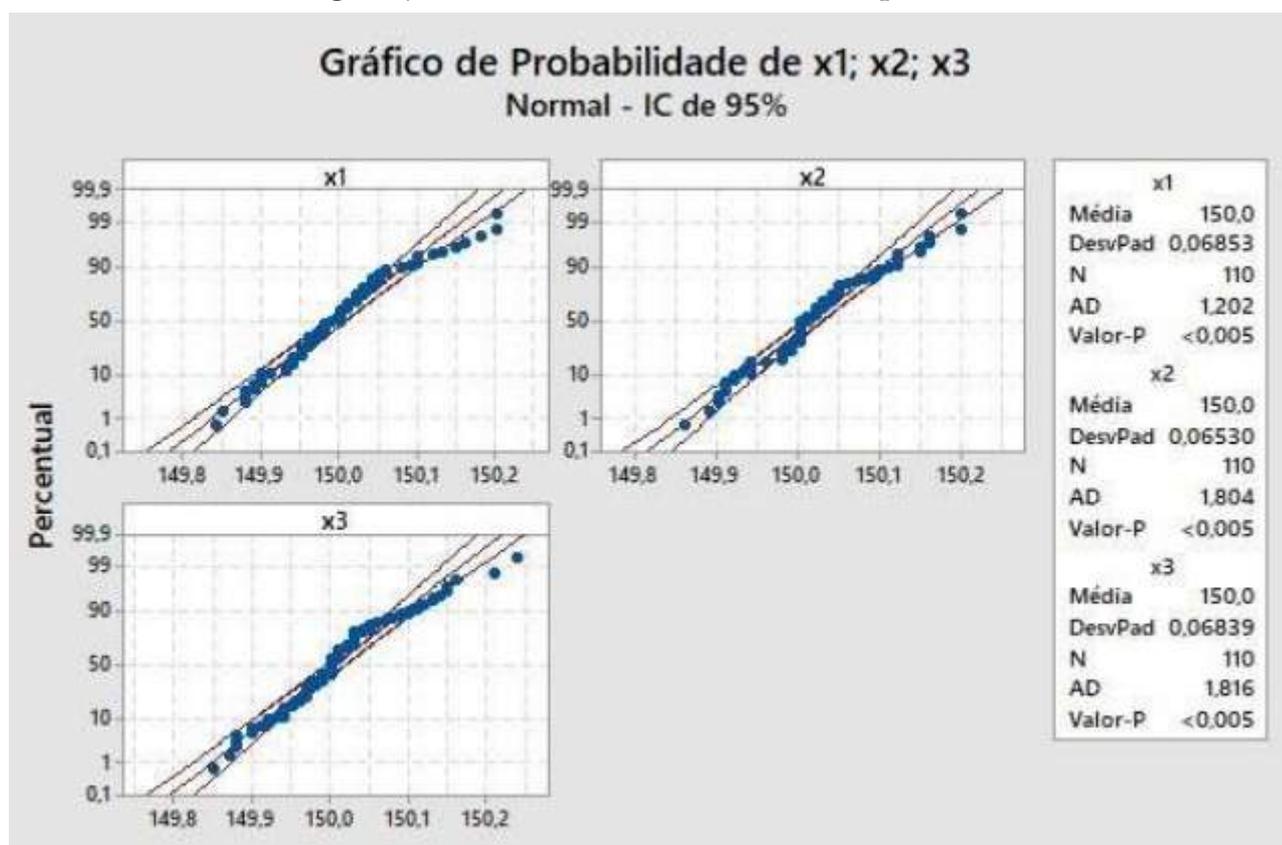
Com a representação gráfica dos dados em série temporal Figuras 7 e 8 podemos verificar que os valores se alteraram pouco em relação ao valor nominal estabelecido. Para finalizar a análise descritiva, foi calculado a probabilidade dos fenômenos. As análises para esses dados estão representadas conforme a Figuras 8 e 9.

Figura 8 - Gráfico de Probabilidade dos pontos y



Fonte: MINITAB®18. Elaborado pelos autores (2019).

Figura 9 - Gráfico de Probabilidade dos pontos x



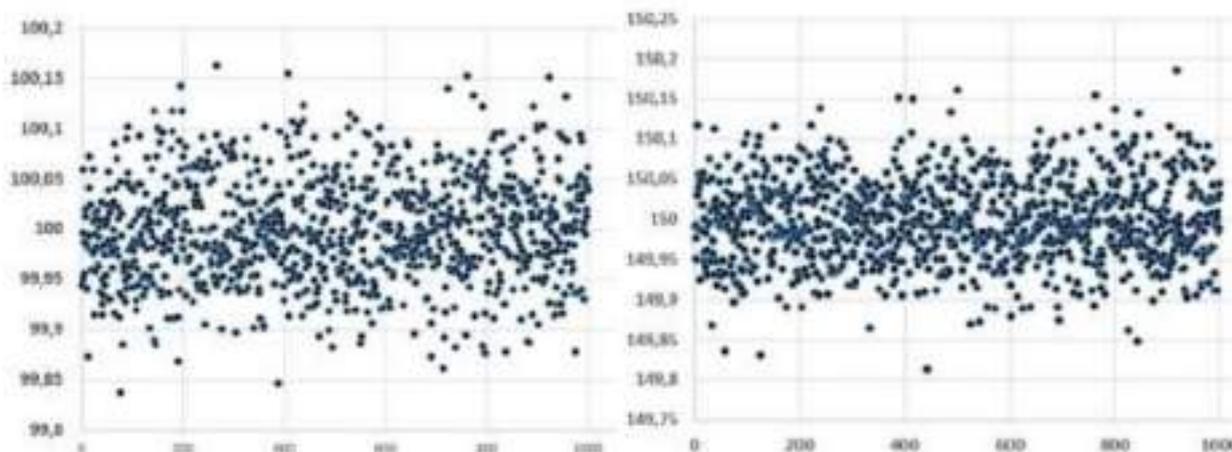
Fonte: MINITAB®18. Elaborado pelos autores (2019).

As Figuras 8 e 9 representam o gráfico de probabilidade dos eventos, como resultado tem-se 95% de confiabilidade na 1ª operação. O que representa que 95% do processo é estável e conforme dentro de todas as especificações do equipamento e material, sendo os outros 5% possíveis desvios de processos que poderiam estar fora do especificado.

Após a operação prática do laser para analisar valores de informações descritivas de processos, foi desenvolvido a simulação computacional de Monte Carlo pelo software Excel® para analisar criticamente seus comportamentos afim de compara-las. A amostragem de iteração da simulação de Monte Carlo foi determinada conforme a capacidade do software, sendo ela 1000 vezes. Para simular novos possíveis eventos foram considerados algumas variáveis dos processos com o objetivo de verificar outros cenários, as variáveis são: Tolerância da Máquina de Corte a Laser, Tolerância do equipamento de medição, tolerância das características do material e temperatura do ambiente. A planilha com os dados de cada valor de iteração encontra-se conforme o apêndice 2.

Como resultado dos valores simulados, o comportamento dos dados está descritos conforme nas Figuras 10 e 11 abaixo.

Figuras 10 e 11 – Dados do Processo Simulado com Método de Monte Carlo

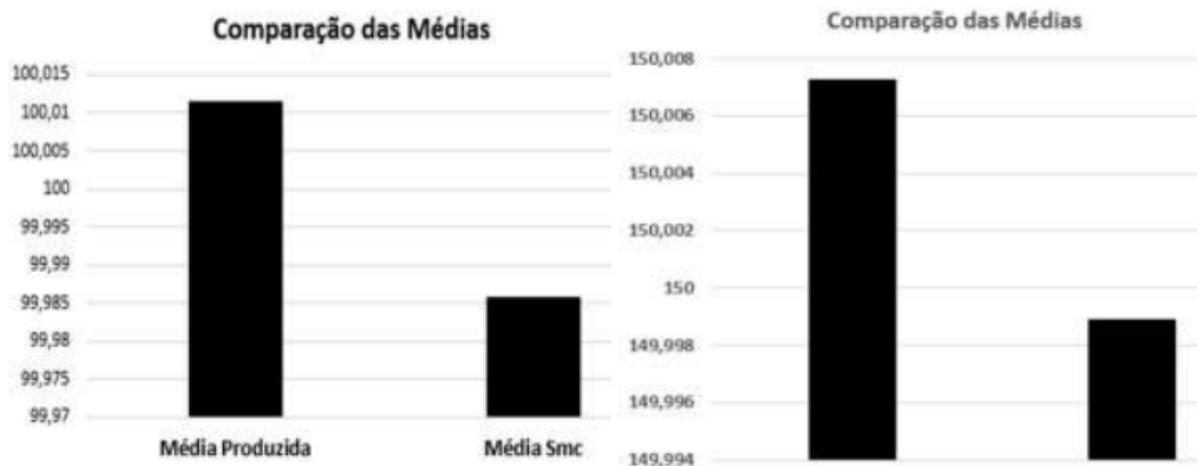


Fonte: elaborado pelos autores (2019).

As Figuras 10 e 11 representam os valores de um lote simulado com a simulação de Monte Carlo. Através deles podemos verificar o comportamento dos dados a partir do valor de cada variável do processo adotada.

Comparando os dados de processo e de projeto (simulação), foi constatado em algumas das iterações que os dados podem apresentar diferenças em suas médias e desvios, conforme verificamos nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 e 13 - Comparação das Médias do Processo Prático e Processo Simulado



Fonte: elaborado pelos autores (2019).

3.2. Segunda Operação

A segunda operação para caracterização do produto final será feito em dobradeira CNC, o objetivo de fazer a análise nesse processo é utilizar do estudo para aplicar em processos de conformação mecânica, processos esses que fazem parte do Know-How da empresa em aplicação.

As características para manufatura dos materias seguem o mesmo princípio

da 1ª operação, controlar as variáveis de fabricação a fim de ter um estudo científico apenas da operação e não ter ocorrer influências que pudessem afetar nos valores do produto.

O objetivo da segunda operação no estudo é propor como simular a partir das variáveis a serem sanadas. Para essa operação específica, seria necessário o saneamento das variáveis do equipamento (a dobradeira), do equipamento de medição, das características físicas do materiais (tensões de escoamento e resistência), etc.

3. Análises e discussões

Conforme observado entre os dados do processo prático e o de simulação na primeira operação (processo de corte à laser), podemos verificar que a simulação pode apresentar uma amplitude maior ou menor entre os dados do processo prático dependendo da iteração simulada aleatoriamente, conseqüentemente pode apresentar seus limites inferiores e superiores diferentes do processo prático. Apesar dos valores em comparação terem representado diferenças decimais e centesimais, isso pode auxiliar o gestor a reconhecer a variação do projeto, logo, determinar os melhores processos e tolerâncias para conformidade do produto.

Os resultados obtidos demonstram que a variabilidade do processo real é aparentemente menor do que os dados simulados. Este fenômeno pode ser explicado pela natureza da SMC que não leva em consideração todas as variáveis não controladas do processo em questão. Este fato pode ser considerado como uma limitação do emprego da SMC em processos que ainda não foram totalmente explorados e portanto não se conhecem todos os ruídos (erros) dos mesmos. Entretanto, a simulação de uma forma geral, tem-se mostrado como uma ferramenta muito útil, uma vez que é o método mais eficiente para a predição de respostas de interesse, mesmo em processos pouco explorados, como no caso deste estudo.

A amostragem de peças produzidas podem evidenciar apenas as características dos lotes produzidos, enquanto a Simulação de Monte Carlo pode apresentar estatisticamente os diferentes cenários. Isso é possível apenas após o rateio correto das variáveis determinantes do processo, reconhecendo suas variações de desvios.

Para aplicar a Simulação de Monte Carlo de maneira eficaz em um processo de fabricação, se faz necessário uma análise individual do processo a ser aplicado.

Considerações Finais

A qualidade das empresas é importante para aumentar suas vantagens competitivas no mercado, otimizar seus processos e reduzir custos. Para isso, as empresas devem investir na melhoria contínua dos processos através de mapeamento, controle e inovação.

O presente estudo teve como objetivo manipular dados estatísticos de processos e aplicar a Simulação de Monte Carlo (SMC) para estudo de gerenciamento de projetos com ênfase em processos de fabricação mecânica. Ao confeccionar um protótipo com aplicação prática em uma empresa que detem desses processos e compará-los com a pesquisa teórica sobre o tema, verificou-se que os métodos utilizados e propostos são aplicáveis e eficazes para futuros projetos em desenvolvimento e pode auxiliar o gestor do projetos a reconhecer os riscos e as incertezas de determinado trabalho. Diante das análises feita no estudo, verificou-se a importância do seneamento de cada dado em cada processo, uma vez que, adotado-se a manipulação minusiosa da estatística, as informações obtidas como resultado pode evidenciar a ciência dos fatos em análise.

O emprego Simulação de Monte Carlo (SMC) é uma opção acessível e descomplicada para ser aplicada em diferentes situações, dada a sua universalidade. No cenário aqui analisado, destacou-se a velocidade em que ocorreram as simulações. Além disso, o principal objetivo deste estudo foi alcançado, pois foi possível identificar o comportamento do processo e a variação dimensional do protópito que foi alvo deste estudo.

O presente estudo pode ser importante para as empresas, ao permitir o adequado gerenciamento de seus projetos e auxiliar nas conformidades de qualidade estabelecidas para o cliente. E também contribui para as pesquisas acadêmicas voltadas a simulação, melhorias de processos e áreas afins.

Sugere-se em trabalhos subsequentes relacionados ao tema, o estudo que relaciona as variáveis de cada processo para aplicação do Método de Monte Carlo e análise com amostragem simulada superior ao utilizado (1000 iterações).

REFERÊNCIAS

- ASSIS, R. D. S.; LEANDRO, F. R.; PUPPO, B. D. Análise de Processos de Picking com aplicação de Análise de Variância e Controle Estatístico de Processo. Enegep. Alagoas, SP. 2018. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_258_481_35386.pdf. Acesso em: 01/11/2019.
- CUNHA, M. o. O método de Monte Carlo: algumas aplicações na Escola Básica. 2009. Disponível em: <http://www.nilsonmachado.net/semaz0091110.pdf>. Acessado em: 30/06/2019.
- DA COSTA R. P.; JÚNIOR A. F. S.; RODRIGUES, M. V. Simulação de Monte Carlo Aplicada à Decisão de Mix de Produtos. Produto & Produção, vol. 11, n. 2, p. 26-54, jun. 2010. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ProdutoProducao/article/view/9011>. Acesso em: 27/06/2019.
- DANTAS, O. M. A. N. A.; FRANCO, M. V. A. Pesquisa Exploratória: Aplicando instrumentos de geração de dados – observação, questionário e entrevista. EDUCERE – XIII Congresso Nacional de Educação. ISSN 2176-1396. 2017. Disponível em: https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2017/25001_13407.pdf. Acesso: 10/10/2019
- DE AGUIAR, G.; ALVES, C. Da C.; HENNING, ELISA.; Gerenciamento de Projetos: Simulação de Monte Carlo via a ferramenta SimulAr. Enegep. São Carlos, SP. 2010. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_120_783_17492.pdf. Acesso em: 27/06/2019
- DE PAULA, R.R.; Método de Monte Carlo e Aplicações. 2014. Dissertação (Graduação em Matemática com Ênfase em Matemática Computacional) – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/4180/1/RenatoRicardoDePaula%202014-2.PDF>. Acesso em: 27/06/2019
- FERREIRA, C. A. L. Pesquisa quantitativa e qualitativa: perspectivas para o campo da educação. Revista Mosaico, v.8, n. 2, p. 173-182, jul./dez. 2015. Disponível em: <http://seer.ucg.br/index.php/mosaico/article/viewFile/4424/2546>. Acesso: 10/10/2019
- GÓMEZ, Luis Alberto. Excel para engenheiros/ Luis Alberto Gómez – Florianópolis: Visual Books, 2009
- IBC, Instituto Brasileiro de Coaching. Conheça o conceito da Simulação de Monte Carlo e sua utilidade em gestão. 2016. Disponível em: <https://www.ibccoaching.com.br/portal/conhecaoconceito-de-simulacao-de-monte-carlo-e-sua-utilidade-em-umagestao/#targetText=A%20simula%C3%A7%C3%A3o%20de%20Monte%20Carlo,e%20riscos%20par>

a%20um%20neg%C3%B3cio.&targetText=Um%20exemplo%20%C3%A9%20a%20simula%C3%A7%C3%A3o,de%20acordo%20com%20as%20probabilidades.

LAW, A.M. Simulation, Modeling & Analysis, 4th Ed. 2007

LOPES, R.C; LUNKES, R. J.; MENDES, A. C. A.; Utilização da simulação de Monte Carlo na gestão de estoques para empresas farmacêuticas. REVISTA AMBIENTE CONTABIL Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Vol. 11, n. 2, Jul./Dez, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/ambiente/article/view/15602>.

MARRAFA, M. O gerenciamento das suas não-conformidades. São Paulo. 2006. Disponível em: <http://www.banasmetrologia.com.br/textos.asp?codigo=2087&secao=revista>.

MORAES, L. P., MAIA, P. R. B., PINTO, A. C. F., KLOTZLE, M. C., & GOMES, L. L. (2016). Aplicação de Técnica de Redução de Variância no Prêmio de Opções Asiáticas de Eletricidade por Simulação de Monte Carlo. Revista Economia & Gestão, 16(43), 33-50.

NASSER, Rafael Barbosa. McCloud Service Framework Arcabouço para desenvolvimento de serviços baseados na Simulação de Monte Carlo na Cloud. PUCRIO. 2012.

PAKES, P. R.; PIRES, L. R.; SILVA, B. B.; ROCHA, E. S.; BIANCHINI, V. K. Análise Da Gestão Da Qualidade Em Uma Indústria De Calçados. Enegep. São Paulo, SP. 2019. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_293_1655_38846.pdf. Acesso: 17/01/2019.

APÊNDICE

I. Apêndice I (A): Planilha dos dados da 1ª operação (Corte á Laser)

1	99,89	100	100,01	100,05	100,1	150,1	150,09	150
2	100,03	100,03	100,07	100,08	100,08	149,85	149,86	149,87
3	100	100,01	99,95	99,92	99,91	149,94	150,02	150,03
4	99,96	99,98	99,94	99,96	99,94	150,02	150,01	149,97
5	99,95	100,01	100,1	100,09	100,14	150,18	150,2	150
6	100,01	100	99,99	99,99	99,96	149,93	149,96	149,96
7	99,96	100	100,03	100,02	100	149,98	150	150,01
8	100,01	100,01	100,01	100,02	100,02	150	150	150
9	99,98	99,98	99,97	99,96	99,93	150,01	150,02	150,03
10	99,96	100	100,1	100,01	99,98	150	150	150
11	100,02	100,05	100,06	100,05	100,06	149,96	150	149,99
12	99,98	100,01	100,01	100,03	100,02	150,06	150,03	150,05
13	99,98	99,99	99,96	99,95	99,95	150,01	150,04	150,03
14	100,01	100,06	100,07	100,08	100,08	149,98	149,98	149,99
15	100,01	100,01	100	100	100,1	150,04	150,03	149,99
16	99,97	100	100,02	100,02	100	150	150,05	150,05
17	100	100	100	100	100	150,05	150,05	149,97
18	99,96	100,08	100,03	100,03	100,03	150,02	150,05	150
19	99,99	100,05	100,07	100,05	100,02	150,02	150,07	149,96
20	100,03	100,01	100,05	100,06	100	149,97	149,99	150,03
21	100,02	100,09	100,09	100,08	100,04	150	150,08	150,11
22	99,96	100	100,05	100,14	100,3	150,2	150,11	149,9
23	100,06	100,08	100,1	100,06	100,04	150,06	150,1	150,08
24	100,21	100,11	100,09	100,04	99,94	150,01	150,12	150,14
25	99,95	99,97	100	99,98	99,96	149,89	149,9	149,97
26	100	99,98	99,99	100	99,97	149,96	149,91	149,92
27	100	100	100,01	100,01	100,01	149,93	149,94	149,98
28	100,23	100,09	99,98	100	99,86	149,88	150	150,13
29	100,05	100,06	100,07	100,07	100,07	150,1	150,1	150,13
30	99,97	99,98	99,99	100	99,96	150,04	150,04	150,02
31	99,97	100,02	100,03	100,04	100,01	149,98	150,1	150,11
32	99,97	100	99,98	100,02	99,96	149,9	149,91	149,93
33	99,97	100	100,03	100	100,04	150,09	150,04	150,06
34	100,05	100,06	100,06	100,07	100,05	150,03	149,98	149,99
35	99,94	99,99	100	100,02	99,98	150,02	150	150,01
36	100,1	100,1	100,05	100,01	100,01	149,9	149,91	149,95
37	99,91	99,97	99,95	100,02	99,96	149,98	150,05	150,1
38	99,98	100,02	100,04	100,07	100,04	149,98	149,98	150,01
39	100,2	100,15	100,09	100,06	99,98	150,02	150,15	150,16
40	100,01	100,05	100,04	100,04	100	150,1	150,12	150,12
41	100,22	100,15	100	100,01	99,85	149,88	150,05	150,15
42	99,98	100,02	100,02	100,04	99,98	149,96	149,99	149,97

43	99,93	99,94	99,94	99,95	99,94	149,98	150,05	150,03
44	100,13	100,1	100,07	100,05	100,06	149,91	149,9	149,88
45	99,94	100,01	99,98	100,01	100	149,94	149,98	150
46	99,95	100,02	100,05	100,06	100,01	149,94	149,99	149,99
47	100	99,98	100,04	100	99,96	149,94	149,93	149,91
48	99,92	99,98	99,99	99,99	99,97	150,04	150,04	150,04
49	99,97	99,97	99,96	99,94	99,9	149,96	150	150,15
50	99,99	100,02	100,03	100,05	100	149,98	150,01	149,97
51	100,01	100	100	100,02	100	150,03	150,02	149,95
52	99,98	100	100,03	100,02	99,98	150	150,03	150,03
53	99,99	99,98	99,99	100	99,97	150,02	150	150,03
54	99,97	100	100,02	100	99,96	149,98	149,94	149,94
55	100	99,99	99,98	100	99,93	149,95	149,99	150,03
56	100,08	100,07	100,07	100,04	100,02	150	150	149,97
57	99,98	100,03	99,98	99,96	99,95	150,02	150	149,97
58	99,96	99,99	100,04	100,06	100,04	149,96	149,99	150
59	99,99	100,02	100,03	100,06	99,99	149,98	150,01	150
60	100,01	100,02	100,05	100	99,95	149,96	150	150,02
61	99,99	100	99,98	99,97	99,98	150	150,04	150,05
62	100,08	100,01	100,01	100,02	100	149,94	149,94	149,92
63	100,18	100,02	99,98	99,97	99,85	150,12	150,12	149,88
64	100,03	100,05	100,07	100,08	100,03	150,13	150,12	150,03
65	100,16	100,13	100,1	100,1	100,01	149,97	150,2	150,24
66	99,93	99,98	100,01	100,13	100,27	150,16	150,16	149,88
67	99,96	99,99	99,98	99,97	99,97	149,96	149,94	149,9
68	100,06	100,03	100,06	100,09	100,06	150,08	150,12	150,06
69	100,01	100	100,01	100	99,96	149,97	150,04	150,07
70	99,98	100,06	100,07	100,1	100,15	150,2	150,16	150,01
71	99,97	99,99	100	100	99,96	150,05	150,06	150
72	100,11	100,07	100,09	100,11	100,15	150	150,15	150,21
73	99,92	100	100,04	100	100,02	149,9	149,92	150,05
74	100,01	100,03	100,01	99,9	100	150,04	150,02	149,98
75	99,98	100	100,03	100	100	149,84	149,94	149,95
76	99,98	99,96	99,96	100,08	99,96	149,95	150	150,03
77	100,05	100,07	100,07	100,08	100,06	150	150,02	149,98
78	99,98	100	100,01	100,03	99,94	150,03	150,01	149,99
79	100,02	100,07	100,07	100,07	100,01	149,98	150,03	150,01
80	100,03	100,08	100,09	100,08	100,02	150	150	149,97
81	99,94	99,97	99,96	99,88	99,96	150,03	150,05	149,96
82	100,03	100,05	100,02	99,9	99,89	150,01	150	150,04
83	99,93	99,92	99,94	100,09	100,08	150,01	150,06	150
84	99,92	99,98	99,97	99,99	99,97	149,94	149,94	149,99
85	100	100	100	100	99,96	150,03	150,02	150
86	100,17	100,01	99,94	99,95	99,88	149,88	150,03	150,09
87	99,97	100	100	100	99,96	149,89	149,89	149,85
88	100,02	100,03	100,05	100,05	100	150,05	150,09	150,01

89	100,07	100,1	100,1	100,1	100,04	150,04	150,09	150,1
110	100,02	100,06	100,02	100	99,97	149,95	150,01	150,02
90	99,99	100,01	100,02	100	99,95	150	150	149,97
91	100,24	100,08	100	99,95	99,9	150,15	150,03	150,09
92	99,96	99,96	99,95	99,93	99,94	150,04	150,03	150
93	100,02	100,07	100,07	100,02	99,94	149,98	149,99	150
94	100	100,04	100,04	99,99	99,91	149,95	149,99	150
95	100,01	100,02	100,02	100,01	99,98	149,93	150,02	149,96
96	99,94	99,97	100	100	100	149,95	149,98	149,97
97	99,91	99,96	99,98	100	99,99	149,98	149,98	149,94
98	99,96	100	99,98	99,98	99,97	149,99	150	150,03
99	99,99	100,01	99,99	99,99	99,94	150,02	150	150,01
100	99,98	100	99,98	99,99	99,95	150,04	150,04	150,03
101	100,01	100,04	100	100,01	99,9	149,9	149,92	150
102	99,95	100	99,96	100	99,98	150	149,98	149,94
103	100,02	100,05	100,06	100,03	99,93	149,96	150,01	150,01
104	100	100	100	100,07	99,96	149,96	150	150
105	100	100,02	100,02	100,02	99,95	150	150,02	149,94
106	100,03	100,06	100,05	100,01	99,91	149,95	150	150,01
107	99,98	100,01	99,98	100,01	100,01	149,9	149,91	149,94
108	99,91	99,96	100	99,95	99,98	150,06	150	150,01
109	100,02	100,06	100,02	100,04	100,06	150,01	150	149,98

2. Apêndice 2 (B): Variáveis adotadas no processo Laser

Valores = Desvio padrão

	A	B
1		
2	Variáveis	Valores
3	Máquina de Corte	0,03
4	Medição (Erro humano)	0,01
5	Instrumento	0,01