

LUCAS OUTA SUZUMURA

CONSIDERAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO DE GRÁFICOS DE CONTROLE (\bar{X} e R) COM REGRA ADICIONAL DE DECISÃO PARA O MONITORAMENTO DE PROCESSOS UNIVARIADOS

Guaratinguetá - SP
2016

LUCAS OUTA SUZUMURA

CONSIDERAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO DE GRÁFICOS DE CONTROLE (\bar{X} e R) COM REGRA ADICIONAL DE DECISÃO PARA O MONITORAMENTO DE PROCESSOS UNIVARIADOS

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica.

Orientador (a): Marcela Aparecida Guerreiro Machado

Guaratinguetá - SP
2016

S968c

Suzumura, Lucas Outa

Considerações sobre a utilização de gráficos (X e R) com regra adicional de decisão para o monitoramento de processos univariados / Lucas Outa Suzumura – Guaratinguetá, 2016.

37 f : il.

Bibliografia: f. 36-37

Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016.

Orientadora: Profa. Dra. Marcela Aparecida Guerreiro Machado

1. Processo decisório por critério múltiplo. 2. Estatística – métodos gráficos. 3. Métodos de simulação. 4. Fortran (Linguagem de programação de computador). I. Título

CDU 65.012.4

LUCAS OUTA SUZUMURA


ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

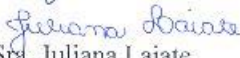
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM NOME DO CURSO


Prof. Dr. Arminda Eugenia Marques Campos
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Marcela Aparecida Guerreiro Machado
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. Antônio Fernando Branco Costa
Professor/UNESP-FEG


Sra. Juliana Laiate
Doutoranda/UNESP-FEG

Novembro de 2016

DADOS CURRICULARES

LUCAS OUTA SUZUMURA

NASCIMENTO 29.08.1993 – São Paulo/SP

FILIAÇÃO Mauro Suzumura
Katia Outa

2011/2016 Engenharia de Produção Mecânica
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Universidade Estadual
Paulista “Julio de Mesquita Filho”

dedico este trabalho
de modo especial, aos meus pais, que
sempre me incentivaram e apoiaram em todas as situações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, minha família, e amigos, sempre presentes, em especial aos meus pais, *Mauro e Katia*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre me apoiaram em todas minhas decisões e me incentivaram em todas as situações, sem eles nada seria possível, a minha namorada *Pamela*, pelo suporte e absoluta parceria, e a *República Intrometemos*, uma segunda família que levarei para toda a vida;

a minha orientadora, *Prof. Dra. Marcela Aparecida Guerreiro Machado* pela confiança depositada desde 2012 no início da Iniciação Científica. Sua orientação, dedicação e auxílio, foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo e para a abertura de novas oportunidades durante meu período acadêmico e começo de meu desenvolvimento profissional;

a todos os funcionários e professores da *Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá*, não só pelo comprometimento direto na minha formação, mas também pela dedicação e empenho na missão de melhorar cada vez mais a educação brasileira.

“Seja a mudança que você deseja ver no mundo”

Gandhi

SUZUMURA, L. O. **Considerações sobre a utilização de Gráficos de Controle (\bar{X} e R) com regra adicional de decisão para o monitoramento de processos univariados.** 2016. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

RESUMO

O gráfico de controle de Shewhart é uma ferramenta de monitoramento estatístico de processos e, atualmente, muitas estratégias vêm sendo propostas visando melhorar a eficiência dos gráficos de controle, tais como a aplicação de novas regras de decisão. Neste trabalho, por meio de uma pesquisa exploratória e experimental, o objetivo foi o estudo de diferentes regras adicionais (*synthetic*, *side sensitive* e *SS Synthetic*) sob diversas perturbações no processo e tamanho de amostra, tanto na média (\bar{X}) como na variabilidade (R) de processos univariados. Os valores de *NMA* foram coletados por meio de simulações em um programa computacional na linguagem FORTRAN. Os resultados mostraram a eficiência dos gráficos de controle sob a ação das regras adicionais, com um estudo mais aprofundado de cada regra no gráfico \bar{X} e análises da ação no gráfico R e nos dois gráficos em conjunto; comparando todas as performances e identificando a melhor combinação de parâmetros para obter um maior poder de detecção dos gráficos de controle com resultados mais precisos.

PALAVRAS-CHAVE: Gráficos de controle. Processo univariado. Regras de decisão.

SUZUMURA, L. O. **Considerations regarding Control charts (\bar{X} and R) with additional decision rules for univariate processes monitoring.** 2016. Graduate Work (Graduate in Industrial Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

ABSTRACT

The Shewhart control chart is a statistical process monitoring tool, and many strategies are currently being proposed to improve the control charts efficiency, such as the new decision rules deployment. In this work, through an exploratory and experimental research, the objective was the study of different additional rules (synthetic, side sensitive and SS Synthetic) under different perturbations in the process and sample size, both in the average (\bar{X}) and in the variability (R) of univariate processes. The NMA values were collected through simulations in a computer software, the FORTRAN language. The results indicated the efficiency of the control charts under the action of the additional rules, with more detailed study of each rule in chart \bar{X} and analyzes of the action in the chart R and in the two graphs combined; comparing all the performances and identifying the best combination of parameters to obtain control charts with a greater power of detection and more accurate results.

KEYWORDS: Control charts. Univariate process. Decision rules.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação de um gráfico de controle sob controle e fora de controle.....	17
Figura 2 – Gráfico de \bar{X} com ocorrência de um alarme falso.....	18
Figura 3 – Gráfico de \bar{X} com ocorrência de um alarme verdadeiro	18
Figura 4 – Causa especial altera a média e aumenta a variabilidade do processo.....	20
Figura 5 – Processo inicial de refinamento do limite de controle	23
Figura 6 – Processo de refinamento do Limite Superior de Controle	24
Figura 7 – Processo de refinamento do α	25
Figura 8 – Processo de refinamento da simulação de NMA teórico e simulado.....	26
Figura 9 – NMA de $\bar{X} + R$ para cada regra sob condições diferentes	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores teóricos e simulados obtidos com o uso da regra synthetic	27
Tabela 2 – Valores teóricos e simulados obtidos com o uso da regra side-sensitive	28
Tabela 3 – Valores teóricos e simulados obtidos com o uso da regra Synthetic SS	29
Tabela 4 – Valores de NMA e Percentual de redução para os gráficos de R (n=4)	29
Tabela 5 – Valores de NMA e Percentual de redução para os gráficos de R (n=5)	30
Tabela 6 – Valores de NMA para os gráficos de $\bar{X} + R$ com ou sem regras de decisão (n=4)	31
Tabela 7 – Valores de NMA para os gráficos de $\bar{X} + R$ com os sem regras de decisão (n=5)	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEP	Controle Estatístico de Processos
LC	Limite de Controle
LM	Limite Médio
LSC	Limite Superior de Controle
LIC	Limite Inferior de Controle
NMA	Número Médio de Amostras

LISTA DE SÍMBOLOS

X_i	Variável de interesse i
n	Número de observações em uma amostra
NMA	Número médio de amostras até o sinal
NMA_0	Número médio de amostras até o sinal enquanto o processo está sob controle
NMA_T	Número médio de amostras até o sinal teórico
NMA_S	Número médio de amostras até o sinal, encontrado experimentalmente
α	Probabilidade de alarme falso- erro do tipo I
β	Probabilidade de não-detecção- erro do tipo II
p_d	Poder de detecção do gráfico de controle
\bar{X}	Média amostral
\bar{X}_i	Média amostral da variável de interesse i
μ	Média do processo
μ_{0i}	Média de X_i com o processo em controle
W	Fator de abertura dos limites de controle
k	Fator de abertura dos limites de controle
L	Distância entre os dois pontos que caíram na região de ação
d	Magnitude de perturbação na média do processo
λ	Magnitude do aumento na variabilidade do processo
δ	Perturbações da média em relação ao seu valor-alvo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO	15
1.2	METODOLOGIA.....	16
1.3	JUSTIFICATIVA	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	GRÁFICOS DE CONTROLE.....	17
2.1.1	Alarmes nos gráficos de controle	18
2.1.2	Desempenhos dos gráficos de controle	19
2.1.3	Gráficos de controle para \bar{X} e R	19
2.2	GRÁFICOS DE CONTROLE COM REGRAS ESPECIAIS DE DECISÃO	20
2.2.1	Regra especial de decisão “<i>Synthetic</i>”	20
2.2.2	Regra especial de decisão “<i>Side sensitive</i>”	20
2.2.3	Regra especial de decisão “<i>Side sensitive Synthetic</i>”	21
3	MÉTODO DE PESQUISA	21
3.1	REFINAMENTO E RACIONALIZAÇÃO DA PESQUISA	22
4	RESULTADOS ENCONTRADOS	27
4.1	ESTUDO UNIVARIADO DE PROCESSOS	27
4.1.1	Desempenho das regras especiais no Gráfico de \bar{X}	27
4.1.2	Desempenho das regras especiais no Gráfico de R	29
4.1.3	Desempenho das regras especiais no Gráfico em conjunto (\bar{X} e R)	30
5	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

O controle estatístico de processos (CEP) é um tema que tem sido cada vez mais explorado e estudado, devido a sua importância, principalmente relacionado a demanda em eficiência em controle de processos através de um conjunto de ferramentas, utilizado para controle da estabilidade do processo e, conseqüentemente, na redução de sua variabilidade (MONTGOMERY, 2004).

O gráfico de controle de Shewhart, uma das ferramentas mais poderosas de controle de processos, foi criado no início da década de 30 por Walter A. Shewhart com uma proposta de aplicar os métodos estatísticos em indústrias de manufatura e de serviço (LEONI, 2014).

Por ser uma ferramenta de simples utilização, o Controle de Qualidade foi rapidamente disseminado nas indústrias em busca da competitividade industrial e melhorias de performance, mas ao mesmo tempo, pela facilidade da construção desses gráficos, muitas vezes não havia a devida atenção para o detalhamento e intervenção profunda em causas especiais nos processos, e assim, a ferramenta não desempenhava como o esperado, fazendo com que os custos de produção aumentassem e a eficiência do processo diminuísse (COSTA et al, 2004).

Tendo em vista essa falta de sensibilidade a alterações de pequenas magnitudes, diversas regras especiais vem sendo propostas para buscar a maior eficiência possível dos gráficos de controle.

O estudo em questão terá como base, o uso dos gráficos \bar{X} e R com as regras especiais *Synthetic* (WU & SPEDDING 2000), *Side sensitive* e *Side sensitive Synthetic* (MACHADO & COSTA 2014).

1.1 OBJETIVO

O principal objetivo desse trabalho foi de analisar a ação e propriedades das regras especiais nos gráficos de controle sob diferentes condições. O autor desenvolveu e submeteu um artigo no Congresso de Iniciação Científica em 2013, com foco nas regras especiais *Synthetic* (WU & SPEDDING 2000), *Side sensitive* e *Side sensitive Synthetic* (MACHADO & COSTA 2014) com ação no gráfico \bar{X} de processos univariados, e neste estudo consideramos as seguintes condições: utilizando a regra básica de Shewhart, utilizando a regra especial *Synthetic*, *Side sensitive* e, por fim, utilizando a regra especial *Side sensitive Synthetic*. As

regras foram aplicadas aos gráficos da média e da amplitude, tanto individualmente como simultaneamente.

Sendo assim, a partir dos resultados obtidos pelo presente trabalho, futuras pesquisas de Controle Estatísticos de Processos poderão utilizá-las como base.

1.2 METODOLOGIA

O estudo em questão apresenta 5 capítulos, sendo a primeira etapa a Introdução ao tema, seguido do Capítulo 2 que dispõe da revisão bibliográfica completa, abordando todos os conceitos e teorias necessárias para o entendimento do trabalho. Explica-se o funcionamento dos gráficos de controle em conceitos gerais e detalhamentos específicos, como o poder de detecção, comportamento do gráfico da média e também da amplitude; além de abordar as teorias das regras especiais de decisão *Synthetic*, *Side sensitive* e *Side sensitive Synthetic*.

O capítulo 3 foi composto pelo método de pesquisa, no qual apresenta a racionalização das simulações realizadas no software FORTRAN e as etapas de estruturação do trabalho, com o cronograma para cumprimento e acompanhamento de todas as fases.

O capítulo 4 apresenta os resultados das simulações com todas as condições propostas pelo trabalho, destacando-se a ação e performance das regras especiais nos gráficos da média, da amplitude e também nos dois gráficos em conjunto.

O último capítulo é dedicado as conclusões sobre o trabalho, no qual há avaliação e comparação da eficiência das regras especiais em todas as condições propostas.

1.3 JUSTIFICATIVA

Diante de um cenário globalizado e competitivo, as empresas buscam incessantemente inovações com o menor custo possível, mantendo uma boa referência de qualidade nos produtos (DOS SANTOS, et al., 2009), isto reflete a demanda e interesse em conceitos que possam otimizar e garantir cada vez mais precisão no controle de processos.

Então, é de extrema importância o aprofundamento da ação de regras especiais nos gráficos de controle, visto que este tem o poder de diminuir a variabilidade e identificar mais rapidamente um erro ou perturbação presente nos processos industriais.

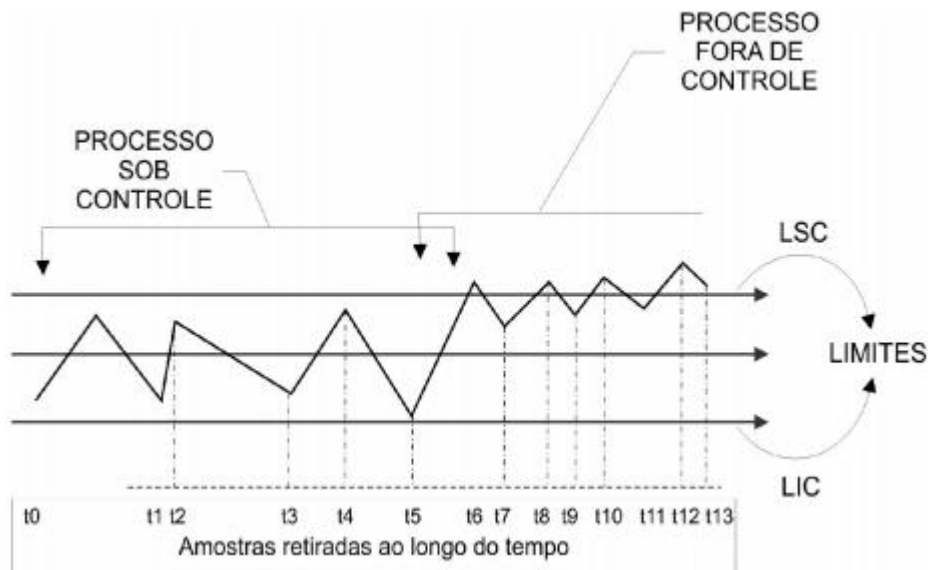
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 GRÁFICOS DE CONTROLE

O gráfico de controle proposto por Shewhart é uma ferramenta importante no controle estatístico de processos, e é utilizado para detectar causas especiais, ou seja, para determinar se o processo está se comportando como esperado ou se existem variações.

Em sua estrutura, são gráficos temporais que apresentam os valores de medição da variável de interesse no eixo vertical e os pontos no tempo em que as medições são efetuadas no eixo horizontal, bem como são interpretados em função de linhas horizontais, chamados de limite superior de controle (LSC), linha média (LM) e limite inferior de controle (LIC) (ALENCAR, et al., 2005). A Figura 1 é um exemplo de situação de leitura dos gráficos, sob controle e fora de controle.

Figura 1 – Representação de um gráfico de controle sob controle e fora de controle



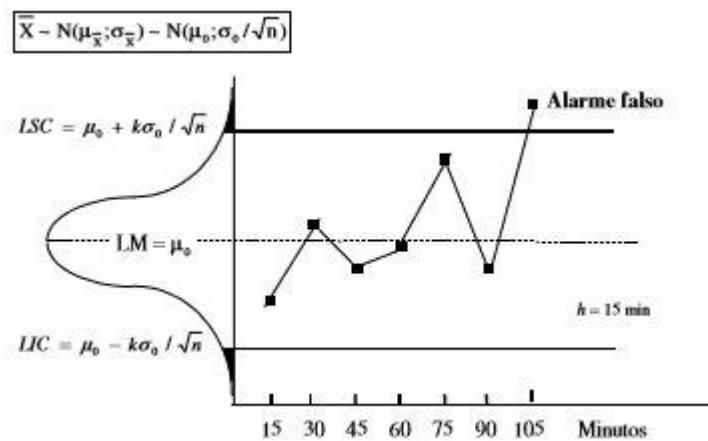
Fonte: (CARNEIRO NETO, 2003).

Através da interpretação dos gráficos, inicialmente com as medições de variáveis de interesse em pontos espaçados no tempo e o registro dos resultados pode-se avaliar possíveis desvios de fabricação, determinando prováveis problemas e tentando gerar possíveis soluções (LIMA, et al., 2006; ANTONY & TANER, 2003).

2.1.1. Alarmes dos gráficos de controle

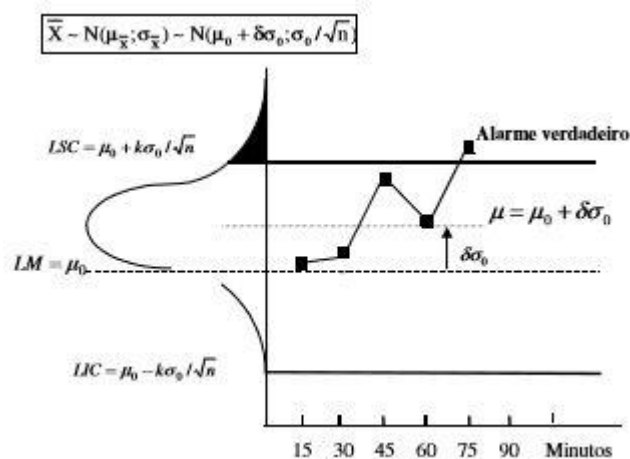
Segundo Machado (2009) existem dois tipos de erros possíveis de ocorrer no monitoramento de processos por meio dos gráficos de controle de médias \bar{X} . Quando um gráfico de controle indica um sinal, face a não ocorrência de mudança no processo, tal sinal é caracterizado pela ocorrência de um alarme falso. O primeiro é o risco ALFA que é a probabilidade de, erroneamente, considerar o processo fora de controle, mesmo quando este está em controle. O segundo é risco BETA que é a probabilidade de, erroneamente, considerar o processo em controle, quando o mesmo está fora de controle. As figuras 3 e 4 retratam os dois erros, respectivamente.

Figura 2 – Gráfico de \bar{X} com ocorrência de um alarme falso



Fonte: (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

Figura 3 – Gráfico de \bar{X} com ocorrência de um alarme verdadeiro



Fonte: (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

2.1.2. Desempenhos dos gráficos de controle

Ao aprofundar no funcionamento dos gráficos de controles, pode-se ajustar os parâmetros dependendo da análise que se necessita realizar. O desempenho dos gráficos de controle é dado pelo número médio de amostras até o sinal (NMA), caso o processo esteja sob controle estatístico, o cálculo do número médio de amostras até o sinal se dá por $NMA_0 = 1/\alpha$. Espera-se que este valor seja alto, indicando que há a ocorrência de poucos alarmes falsos. Já para quando o processo está fora de controle, o cálculo passa a ser $NMA = 1/p_d$, sendo p_d o poder de detecção e $p_d = 1-\beta$ (MACHADO, 2009).

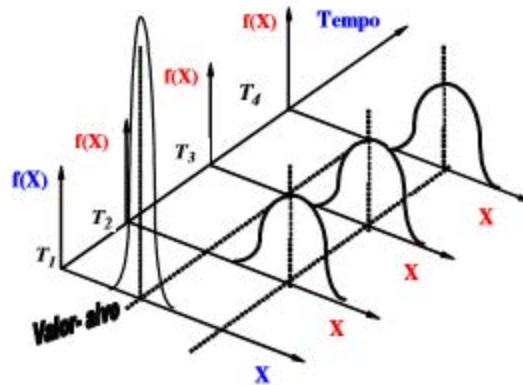
O desempenho depende do tamanho da amostra n , do intervalo de tempo h entre retirada de amostras e do fator k de abertura dos limites de controle, sendo que a variação destes tem diferentes influências sobre o desempenho dos gráficos de controle e sobre os riscos α e β , além de afetar o custo de inspeção (COSTA; MACHADO; 2003, 2003a).

2.1.3. Gráficos de controle para \bar{X} e R

Neste estudo, os principais gráficos de controle analisados são o \bar{X} e R, sendo que o controle da média do processo é usualmente feito através do gráfico de controle para médias (\bar{X}) e o controle da variabilidade do processo pode ser monitorada através do gráfico de controle para a amplitude (R). Exemplificando melhor a função de cada gráfico, observa-se que através do gráfico de \bar{X} , monitora-se a variabilidade entre amostras e através do gráfico de R monitora-se a variabilidade dentro da amostra (ASFQC, 1986; Thompson & Koronacki, 1993).

O funcionamento dos gráficos funcionam através da análise periódica de amostras, sendo que a cada intervalo de tempo h retira-se uma amostra de tamanho n para análise. Para cada amostra, é calculada a média \bar{X} dos valores medidos e a amplitude amostral R, que é a diferença entre o maior e o menor valor da amostra. Quando mudanças na média do processo acarretam alteração na variabilidade, é aconselhável utilizar os dois gráficos em conjunto para melhor análises do processo. A figura 5 ilustra o caso em que uma causa especial desloca sua distribuição e também aumenta sua dispersão.

Figura 4 - Causa especial altera a média e aumenta a variabilidade do processo



Fonte: (COSTA et al, 2004).

2.2 GRÁFICOS DE CONTROLE COM REGRAS ESPECIAIS DE DECISÃO

2.2.1 Regra especial de decisão “*Synthetic*”

Quando a regra especial de decisão está em uso, o gráfico de controle sinaliza somente quando um segundo ponto cai na região de ação, e sob a condição de que o número de amostras entre os dois pontos que caíram na região de ação, não seja superior a um valor inteiro L . O gráfico com regra especial de decisão é conhecido como Synthetic Control Chart e foi proposto por Wu e Spedding (2000).

2.2.2 Regra especial de decisão “*Side sensitive*”

Quando a regra especial de decisão *Side-sensitive* está em uso, o gráfico de controle sinaliza quando os dois pontos ocorrem na região de ação superior ou inferior, e sob a condição de que o número de amostras entre os dois pontos que caíram na região de ação, não seja superior a um valor inteiro L , ver Machado e Costa (2013). Por outro lado, esta regra especial não sinaliza quando os pontos fora dos limites de controle estão em lados opostos da linha média.

2.2.3 Regra especial de decisão “*Side sensitive Synthetic*”

Wu et al. (2010) propuseram um esquema que combina o gráfico baseado na regra de dois pontos na região de ação e o gráfico de \bar{X} , denominado gráfico Syn- \bar{X} . O gráfico Syn- \bar{X} tem região de advertência e região de ação. O gráfico sinaliza quando um ponto amostral cai na região de ação e/ou $NA < L$, onde NA é o número de amostras conformes entre duas amostras consecutivas não-conformes. A amostra é considerada não-conforme quando o seu valor amostral gerar um ponto na região de advertência.

A fim de se obter um gráfico ainda mais eficiente, Machado e Costa (2014) propuseram o *Side-sensitive Synthetic \bar{X} Chart*, gráfico de Syn- \bar{X} com regra especial de decisão *side-sensitive* (gráfico de \bar{X} SS synthetic). Esta regra propõe que a intervenção ocorra quando dois pontos forem plotados, com curta distância entre eles, fora dos limites de controle, dessa vez sendo os dois pontos do mesmo lado com relação à linha média (LM), ou seja, acusa o alarme quando dois pontos, distantes de um valor menor ou igual a um valor inteiro L , forem ambos plotados acima do limite superior controle (LSC) ou ambos plotados abaixo do limite inferior de controle (LIC). O fator de abertura dos limites de controle é dado por k .

3 MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa, tanto para efeito científico como profissional, envolve a abertura de horizontes e a apresentação de diretrizes fundamentais, que podem contribuir para o desenvolvimento do conhecimento (OLIVEIRA, 2002).

A pesquisa científica é uma atividade que se volta para o esclarecimento de situações problema ou novas descobertas. Para tal, é indispensável o uso de processos científicos que por sua vez são bem diversos, dependendo do campo de conhecimento. Pode ser caracterizada por tipologias e desta forma, segue abaixo a divisão das classificações da pesquisa:

- a) Do ponto de vista da sua natureza;
- b) Quanto à abordagem do problema;
- c) Referente aos objetivos;
- d) De acordo com os procedimentos técnicos.

O presente estudo adota:

a) Característica Básica, do ponto de vista da natureza, no qual objetiva produzir conhecimentos novos, úteis para o avanço da ciência sem aplicação prática prevista. Envolve verdades e interesses universais (GIL, 1999). O que reforça esta característica é que o estudo foi baseado em modelos teóricos e não foi aplicado em nenhum estudo de caso prático.

b) Característica Quantitativa, quanto à abordagem do problema, onde a pesquisa é focada na mensuração de fenômenos, envolvendo a coleta e análise de dados numéricos e aplicação de testes estatísticos. (COLLIS; HUSSEY, 2005). Essa característica é reforçada por se tratar de valores gerados por simulações da linguagem computacional no FORTRAN.

c) Característica Exploratória, quanto aos objetivos, que proporciona maior proximidade com o problema visando torná-lo explícito ou definir hipóteses. Procura aprimorar ideias ou descobrir intuições.

d) Característica Experimental, do ponto de vista ao procedimento, que ao determinar 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, 1999).

Após a definição da pesquisa, foram seguidas as etapas abaixo pelo autor, para a realização do estudo:

- I. Revisão bibliográfica
- II. Estudo e simulações em linguagem FORTRAN
- III. Abordagem das Regras especiais de decisão
- IV. Geração dos resultados
- V. Análise dos resultados e performance das regras especiais de decisão
- VI. Elaboração de artigos científicos
- VII. Trabalho de Graduação

3.1 REFINAMENTO E RACIONALIZAÇÃO DA PESQUISA

Para obter resultados precisos nas simulações em linguagem FORTRAN, foi necessário um refinamento contínuo para ajustar os parâmetros dos programas realizados.

Inicialmente, adotou-se $NMA0 = 200,0$ e os deslocamentos inicialmente são nulos, ou seja, o processo está sob controle. Sendo que o valor de LC era desconhecido, então, foi necessário que um refinamento de LC fosse realizado (Figura 5).

Figura 5 - Processo inicial de refinamento do limite de controle

```

USE MSIMSL
USE MSFLIB

INTEGER NOUT, N, J
REAL NMA, NEXP, I, LSC, MAX, MIN, C, TOTAL, NA, RM

CALL UMACH (2,NOUT)
WRITE(*,*)'Digite o NMA desejado: '
READ(*,*) NMA
WRITE(*,*)'Digite o N desejado: '
READ(*,*) N
LSC=0

DO
C=0
TOTAL=0
NEXP=0

DO
RM=0
MAX=0
MIN=2.0

DO J=1,N,1
NA=RNNOF()
IF (NA>MAX) THEN
MAX=NA
ENDIF
IF (NA<MIN) THEN
MIN=NA
ENDIF
ENDDO

RM=MAX-MIN
IF (RM>LSC) THEN
C=C+1
ENDIF
TOTAL=TOTAL+1
IF (C>9999) EXIT
ENDDO

NEXP=TOTAL/C
PRINT*, NEXP

IF (NEXP>NMA+200 .OR. NEXP<NMA-200) THEN
I=1.0
ELSE IF (NEXP>NMA+20 .OR. NEXP<NMA-20) THEN
I=2.0
ELSE IF (NEXP>NMA+1 .OR. NEXP<NMA-1) THEN
I=3.0
ENDIF

IF (NEXP<NMA+1) THEN
LSC=LSC+10**(-I)
ENDIF
IF (NEXP>NMA-1) THEN
LSC=LSC-10**(-I)
ENDIF
IF (NEXP<NMA+1 .AND. NEXP>NMA-1) EXIT

ENDDO

PRINT*, 'LSC: ', LSC
END

```

Fonte: O próprio autor (FORTRAN)

Após a fase de refinamento de Limites de controle, o foco foi no desenvolvimento das regras adicionais de decisão. Então foi necessário ajustar outros parâmetros como o Limite Superior de Controle (Figura 6), o parâmetro α (Figura 7), até chegar aos valores de NMA teóricos e simulados, além do erro apresentado entre esses valores (Figura 8).

Figura 6 - Processo de refinamento do Limite Superior de Controle

```

USE MSIMSL
USE MSFLIB

INTEGER NOUT, N, J
REAL NMA, NEXP, I, LSC, MAX, MIN, C, TOTAL, NA, RM

CALL UMACH (2,NOUT)
WRITE(*,*)'Digite o NMA desejado: '
READ(*,*) NMA
WRITE(*,*)'Digite o N desejado: '
READ(*,*) N
LSC=0

DO
C=0
TOTAL=0
NEXP=0

DO
RM=0
MAX=0
MIN=2.0

DO J=1,N,1
NA=RNNOF( )
IF (NA>MAX) THEN
MAX=NA
ENDIF
IF (NA<MIN) THEN
MIN=NA
ENDIF
ENDDO

RM=MAX-MIN
IF (RM>LSC) THEN
C=C+1

ENDIF
TOTAL=TOTAL+1
IF (C>9999) EXIT
ENDDO

NEXP=TOTAL/C
PRINT*, NEXP

IF (NEXP>NMA+200 .OR. NEXP<NMA-200) THEN
I=1.0
ELSE IF (NEXP>NMA+20 .OR. NEXP<NMA-20) THEN
I=2.0
ELSE IF (NEXP>NMA+1 .OR. NEXP<NMA-1) THEN
I=3.0
ENDIF

IF (NEXP<NMA+1) THEN
LSC=LSC+10**(-I)
ENDIF
IF (NEXP>NMA-1) THEN
LSC=LSC-10**(-I)
ENDIF
IF (NEXP<NMA+1 .AND. NEXP>NMA-1) EXIT

ENDDO

PRINT*, 'LSC: ', LSC
END

```

Fonte: O próprio autor (FORTRAN)

Figura 7 - Processo de refinamento do α

```

USE MSIMSL
USE MSFLIB

INTEGER NOUT, N, J
REAL LSC, LIC, W, MAX, MIN, VALOR, AMP, X, XM,
& ALPHA1, NMA, ALPHA2, TOTAL, A, C, ALPHA
CALL UMACH(2, NOUT)

WRITE(*,*)'Digite o N: '
READ(*,*) N
LSC=1.604
LIC=-1.604
W=5.19199
C=0
TOTAL=0
A=0

DO
X=0
AMP=0
MAX=0
MIN=2

DO J=1,N,1
VALOR=RNNOF()
X=X+VALOR
IF (VALOR>MAX) THEN
MAX=VALOR
ENDIF
IF (VALOR<MIN) THEN
MIN=VALOR
ENDIF
ENDDO

AMP=MAX-MIN
XM=X/N

IF (AMP>W) THEN
C=C+1
ENDIF
IF (XM>LSC .OR. XM<LIC) THEN
A=A+1
ENDIF
TOTAL=TOTAL+1
IF (C>9999 .AND. A>9999) EXIT
ENDDO

ALPHA2=C/TOTAL
ALPHA1=A/TOTAL
ALPHA=ALPHA2+ALPHA1
NMA=1/ALPHA

PRINT*, ALPHA2
PRINT*, ALPHA1
PRINT*, NMA

END

```

Fonte: O próprio autor (FORTRAN)

Figura 1- Processo de refinamento da simulação de NMA teórico e simulado

```

USE MSIMSL
USE MSFLIB

INTEGER NOUT, N, J, G
REAL LSC, LIC, W, MAX, MIN, VALOR, AMP, X, XM, PD, LC, LB,
& ALPHA1, NMA, ALPHA2, TOTAL, A, D, C, ALPHA, NMAte, erro
PARAMETER (PD=0.04156)
CALL UMACH(2, NOUT)
!n=4,lb=1,2,xm=0,5

WRITE(*,*)'Digite o N: '
READ(*,*) N
WRITE(*,*)'Digite o Delta: '
READ(*,*) D
WRITE(*,*)'Digite o Lambda: '
READ(*,*) LB
!Calculando LSC,LIC e LC
LSC= 1.62
LIC=-1.62
LC=5.25
W=LC
C=0
TOTAL=0
A=0

DO G=1,10000,1
X=0
AMP=0
MAX=0
MIN=0

DO J=1,N,1
VALOR=D+RNNOF()*LB
X=X+VALOR
IF (VALOR>MAX) THEN
MAX=VALOR

ENDIF
IF (VALOR<MIN) THEN
MIN=VALOR
ENDIF
ENDDO

AMP=MAX-MIN
XM=X/N

IF (AMP>W .OR. AMP<0) THEN
C=C+1
ENDIF
IF (XM>LSC .OR. XM<LIC) THEN
A=A+1
ENDIF
TOTAL=TOTAL+1
IF (C>9999 .AND. A>9999) EXIT
ENDDO

ALPHA2=C/10000
ALPHA1=A/10000
ALPHA=(ALPHA2+ALPHA1-(ALPHA1*ALPHA2))
NMA=1/ALPHA

NMAte=1/PD
erro=(ABS(NMAte-NMA)/NMAte)*100

WRITE(*,*)'O NMA simulado eh:', NMA
WRITE(*,*)'O NMA teorico eh:', NMAte
WRITE(*,*)'O erro apresentado eh:', erro

END

```

Fonte: O próprio autor (FORTRAN)

4 RESULTADOS ENCONTRADOS

4.1 ESTUDO UNIVARIADO DE PROCESSOS

Ao iniciar a pesquisa no tema de Controle Estatístico de Processos (CEP), a direção da pesquisa foi seguida para o aprofundamento das regras especiais de decisão nos gráficos de controle da média e amplitude; para o melhor entendimento e comparação de resultados entre as performances das regras, foram analisados somente processos univariados.

Para o cálculo do erro entre os resultados obtidos com as simulações e os resultados teóricos utilizou-se a seguinte expressão:

$$Erro = 100\% \frac{|NMA_T - NMA_S|}{NMA_T} \quad (1)$$

onde NMA_T é o número médio de amostras até o sinal teórico e NMA_S é o número médio de amostras até o sinal obtido via simulação. Com o processo fora de controle, quanto menor o NMA, mais rápido o gráfico sinaliza um desajuste do processo.

4.1.1 Desempenho das regras especiais no Gráfico de \bar{X}

A regra especial de decisão *Synthetic*, proposta por Wu e Spedding (2000) para o gráfico de \bar{X} , acusa o alarme somente quando dois pontos ocorrerem fora dos limites de controle, distantes de um valor menor ou igual a um valor inteiro L , sendo L é um valor inteiro especificado pelo usuário (SUZUMURA, 2013).

A Tabela 1 apresenta os valores NMA_S , NMA_T e o erro calculado com base na expressão (1), onde k é o fator de abertura dos limites de controle e d é a magnitude de perturbação na média do processo.

Tabela 1 - Valores teóricos e simulados obtidos com o uso da regra *synthetic*.

Variação (d)	L=1 e k = 1,944			L=5 e k = 2,263			L=10 e k = 2,386		
	NMA t	NMA s	Erro	NMA t	NMA s	Erro	NMA t	NMA s	Erro
0	389,6	390,12	0,13%	414,9	412,87	0,49%	423,7	432,23	2,01%
0,3	271,2	273,99	1,03%	266,9	271,42	1,69%	266,1	272,31	2,33%
0,5	161,7	160,39	0,08%	146,7	147,82	0,76%	143,7	146,84	2,18%
1,0	38,4	38,92	1,36%	31,8	31,58	0,68%	31,5	31,17	1,04%
1,5	12,1	12,29	1,62%	10,4	10,54	1,37%	10,8	10,99	1,84%
2,0	5,5	5,57	1,36%	5,1	5,13	0,57%	5,4	5,69	5,42%
2,5	3,3	3,41	3,19%	3,2	3,35	4,72%	3,4	3,62	6,43%

Fonte: (SUZUMURA, 2013).

A partir da análise da Tabela 1, observa-se que com a manipulação do “L” (número de amostras entre os dois pontos que caíram na região de ação) e do fator “d” (variação da média) há uma variação nos valores do NMA_S , indicando que com o aumento de “L” e a diminuição de “d” o erro calculado diminui, ou seja, possui uma baixa diferença entre o valor do NMA simulado e do teórico, atestando maior eficiência da ação do gráfico \bar{X} . O limite é dado de acordo com o fator de abertura W .

A Tabela 2 apresenta os valores NMA_S , NMA_T e o erro calculado com base na expressão (1); e notam-se menores valores de NMA, e a diminuição do erro entre os valores teóricos e simulados, podendo concluir que são valores mais exatos. O gráfico de \bar{X} com a regra especial de decisão *side-sensitive* sinaliza mais rápido do que o gráfico de \bar{X} com a regra *synthetic*, verificando essa característica ao observar valores das duas tabelas (Tabela 1 e Tabela 2) sob ação dos mesmos fatores. No caso L=1 e d=2,5, nota-se uma diminuição do erro entre o NMA_S e NMA_T , sendo que essa diminuição pode ser observada entre a maioria dos valores analisados considerando os mesmos parâmetros (SUZUMURA, 2013).

Tabela 2 - Valores teóricos e simulados obtidos com o uso da regra *side-sensitive*

Variação (d)	L=1 e k = 1,794			L=5 e k = 2,130			L=10 e k = 2,258		
	NMA t	NMA s	Erro	NMA t	NMA s	Erro	NMA t	NMA s	Erro
0	390,0	388,16	0,47%	415,8	421,21	1,30%	424,9	444,35	4,57%
0,3	216,7	214,25	1,13%	208,4	211,26	1,37%	207,7	210,67	1,43%
0,5	112,8	111,39	1,24%	101,7	100,63	1,05%	100,7	103,05	2,34%
1,0	26,4	26,26	0,53%	22,9	22,67	0,98%	23,4	23,79	1,67%
1,5	9,3	9,24	0,61%	8,4	8,51	1,28%	9,0	9,09	0,98%
2,0	4,6	4,67	1,68%	4,4	4,55	3,59%	4,8	4,91	2,21%
2,5	3,0	3,01	0,33%	3,0	3,08	2,93%	3,2	3,34	4,43%

Fonte: (SUZUMURA, 2013).

A ação da regra de decisão *synthetic side-sensitive* \bar{X} foi registrada na Tabela 3, a qual apresenta os valores de NMA_S , NMA_T e o erro calculado com base na expressão (1); notam-se também três casos de variação L , e observa-se que mesmo com a ação do erro sistemático apresentado na geração de números aleatórios e com pequeno aumento na porcentagem do erro, este ainda é considerado baixo, dentro da faixa permitida. (SUZUMURA, 2013).

Tabela 3 - Valores teóricos e simulados obtidos com o uso da regra *synthetic side-sensitive* \bar{X}

$k=3,5000$									
Variação ($d\sqrt{n}$)	$L=1$ e $w=1,8227$			$L=5$ e $w=2,1400$			$L=10$ e $w=2,2614$		
	NMA_t	NMA_s	Erro	NMA_t	NMA_s	Erro	NMA_t	NMA_s	Erro
0	370,4	374,92	1,22%	370,4	382,50	3,27%	370,4	379,50	2,39%
0,3	207,9	212,52	2,22%	192,4	198,79	3,32%	189,2	199,61	5,50%
0,5	108,7	109,45	0,69%	95,9	98,07	2,27%	94,2	97,57	3,57%
1,0	25,3	25,71	1,64%	22,0	21,22	3,54%	22,4	23,27	3,91%
1,5	8,7	9,01	3,60%	8,0	8,21	2,62%	8,5	8,81	3,52%
2,0	4,2	3,92	6,70%	4,1	3,82	6,74%	4,4	4,54	3,08%
2,5	2,6	2,52	2,85%	2,7	2,63	2,33%	2,8	2,7	3,51%

Fonte: (SUZUMURA, 2013).

4.1.2 Desempenho das regras especiais no Gráfico de R

Como alterações na média não influenciam a amplitude da amostra tratada, os valores foram analisados somente com relação à dispersão do processo. A Tabela 4 apresenta os valores de NMA_s para os gráficos de R com e sem a regra *Synthetic* para $n=4$, acompanhados do percentual de redução do NMA para cada um dos casos de mudança na variabilidade do processo. A magnitude do aumento na variabilidade do processo é dada por λ (Iniciação Científica CNPQ/UNESP, ZAMBELLI, G., 2015).

Tabela 4 – Valores de NMA e Percentual de redução para os gráficos de R ($n=4$)

L	2			5			7		
W	4,938	3,77		4,938	3,98		4,938	4,055	
λ	R	R_{Synth}	%	R	R_{Synth}	%	R	R_{Synth}	%
1	369,53	370,54		369,53	371,3		369,53	370,88	
1,25	38,21	31,72	16,99	38,21	26,8	29,86	38,21	20,9	45,3
1,5	11,06	9,49	14,2	11,06	7,36	33,45	11,06	6,83	38,25
1,75	5,22	4,46	14,56	5,22	3,51	32,76	5,22	2,95	43,49
2	3,35	2,83	15,52	3,35	2,22	33,73	3,35	2,09	37,61

Fonte: (Iniciação Científica CNPQ/UNESP, ZAMBELLI, G., 2015).

De acordo com a Tabela 4, a regra especial *Synthetic* se mostra mais eficiente quando se trata do gráfico da amplitude, apresentando uma redução maior no *NMA*, conforme o valor de L aumenta, chegando a uma redução de até 45% no *NMA*, com $L=7$ (redução de 38,21 para 20,9).

De maneira análoga, a Tabela 5, que contém valores obtidos para uma amostra de tamanho $n=5$, nos mostra que a regra especial *Synthetic* é mais eficiente na detecção de desajustes no processo. A rapidez na detecção está presente para os três valores de L , porém a maior melhora se dá com o maior valor de L . Tem-se uma melhora de até 40%, neste caso, com uma redução do *NMA* de 8,97 para 5,35 (também de 40% para a redução de 4,29 para 2,56). (Iniciação Científica CNPQ/UNESP, ZAMBELLI, G., 2015).

Tabela 5 - Valores de *NMA* e Percentual de redução para os gráficos de R ($n=5$)

L	2			5			7		
W	5,12	3,988		5,12	4,195		4,938	4,265	
λ	R	R Synt	%	R	R Synt	%	R	R Synt	%
1	374,31	370,96		374,31	371,35		374,31	370,99	
1,25	32,27	26,43	18,1	32,27	22,43	30,49	32,27	21,26	34,11
1,5	8,97	7,28	18,84	8,97	5,62	37,35	8,97	5,35	40,35
1,75	4,29	3,41	20,51	4,29	2,71	36,83	4,29	2,56	40,32
2	2,73	2,2	19,41	2,73	1,83	32,47	2,73	1,83	32,47

Fonte: (Iniciação Científica CNPQ/UNESP, ZAMBELLI, G., 2015).

4.1.3 Desempenho das regras especiais no Gráficos em conjuntos (\bar{X} e R)

Com o intuito de se obter um gráfico ainda mais eficiente, propôs-se a utilização simultânea dos gráficos de \bar{X} e R para a detecção de perturbações no processo, com a adição de regras especiais de decisão.

Nesta seção são comparados os valores de *NMA* para os gráficos simultâneos de \bar{X} e R com cada uma das regras de decisão, para amostras de tamanho $n=4$ e $n=5$. As Tabelas 6 e 7 mostram resultados semelhantes no que diz respeito à eficiência de cada uma das regras de decisão. Os valores destacados nas tabelas são os mínimos valores de *NMA* encontrado para uma mesma condição (mesmo δ e λ). Pode-se perceber que a melhor escolha é entre a regra *Synthetic* e a regra *Side-sensitive Synthetic* para desajustes do processo até uma faixa de $\delta=1,5$ (para $n=4$) e de $\delta=2$ (para $n=5$), com uma mudança na dispersão com valor de $\lambda=1,5$. Por outro lado, para maiores desajustes no processo, o gráfico conjunto de \bar{X} e R sem a utilização de nenhuma das duas regras especiais deve ser escolhido. Isso mostra que, dadas as opções, é

necessário investigar as características do processo particular que estará sob observação para saber qual regra aplicar para que o controle seja feito da maneira mais eficiente possível. Essa relação pode ser melhor evidenciada na Figura 9, que apresenta as curvas para as diferentes regras sob efeito de diferentes perturbações no processo (Iniciação Científica CNPQ/UNESP, ZAMBELLI, G., 2015).

Tabela 6 – Valores de NMA para os gráficos de $\bar{X} + R$ com ou sem regras de decisão (n=4)

<i>L</i>		2			5			7		
<i>k; W</i>		2.211;3.948			2.377;4.158			2.435;4.225		
λ	δ	$\bar{X} + R$	$\bar{X} + R$	$SS \bar{X} + R$	$\bar{X} + R$	$\bar{X} + R$	$SS \bar{X} + R$	$\bar{X} + R$	$\bar{X} + R$	$SS \bar{X} + R$
			Synt	Synt		Synt	Synt		Synt	Synt
1	0	370,95	369,85	367,66	369,39	372,87	369,64	370,2		
	0.5	204,37	190,39	142,36	178,71	132,19	175,62	127,18		
	1	66,93	45,94	32,22	42,61	30,74	41,14	29,78		
	1.5	21,89	13,88	10,69	12,76	10,25	12,95	10,37		
	2	8,74	5,91	5,01	5,85	5,09	5,88	5,2		
1.5	0	10,13	9,99	10,83	9,08	9,62	9	9,34		
	0.5	9,48	9,46	9,89	8,46	8,72	8,49	8,47		
	1	7,23	7,88	7,6	7,08	6,85	7,16	6,95		
	1.5	5,38	5,85	5,54	5,53	5,31	5,56	5,31		
	2	3,76	4,38	4,11	4,22	4,05	4,31	4,06		
2	0	2,93	3,83	3,97	3,74	3,86	3,78	3,89		
	0.5	2,9	3,75	3,88	3,68	3,78	3,71	3,81		
	1	2,68	3,62	3,69	3,52	3,63	3,56	3,64		
	1.5	2,43	3,37	3,35	3,3	3,33	3,34	3,41		
	2	2,18	3,08	3,06	3,07	3,06	3,08	3,07		

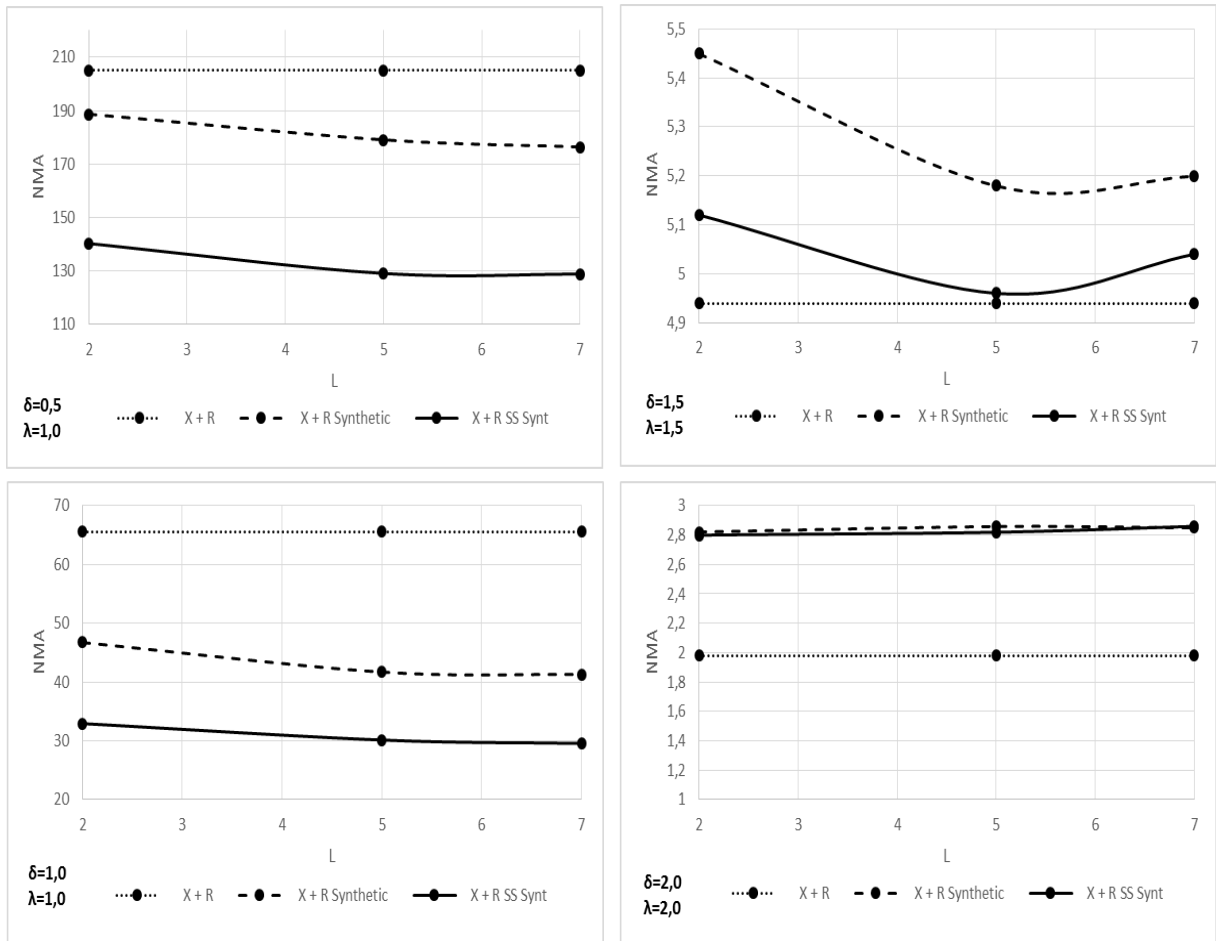
Fonte: (Iniciação Científica CNPQ/UNESP, ZAMBELLI, G., 2015).

Tabela 7 - Valores de NMA para os gráficos de $\bar{X}+R$ com os sem regras de decisão (n=5)

<i>L</i>		2			5		7	
<i>k;W</i>		3.205;5.37	2.213;4.162	2.08;4.162	2.377;4.36	2.253;4.36	2.435;4.43	2.313;4.43
λ	δ	$\bar{X} + R$	$\bar{X} + R$ Synt	$X + R$ SS Synt	$\bar{X} + R$ Synt	$\bar{X} + R$ SS Synt	$X + R$ Synt	$X + R$ SS Synt
1	0	373,77	371,33	370,56	368,98	370,68	372,76	368,69
	0.5	205,04	188,51	140,27	178,98	129,07	176,3	128,83
	1	65,59	46,77	32,92	41,73	30,13	41,31	29,55
	1.5	22,11	13,63	10,85	12,66	10,29	12,89	10,32
	2	8,78	5,78	5,06	5,79	5,05	6	5,25
1.5	0	8,75	8,61	8,87	7,78	7,97	7,8	8,09
	0.5	8,13	7,98	8,19	7,46	7,4	7,33	7,5
	1	6,55	6,87	6,73	6,35	6,21	6,44	6,28
	1.5	4,94	5,45	5,12	5,18	4,96	5,2	5,04
	2	3,61	4,17	3,94	4,08	3,89	4,14	3,95
2	0	2,55	3,34	3,43	3,28	3,34	3,31	3,41
	0.5	2,49	3,26	3,35	3,25	3,32	3,28	3,36
	1	2,34	3,16	3,2	3,15	3,2	3,21	3,24
	1.5	2,19	3,02	3,03	3	3,03	3,02	3,05
	2	1,98	2,82	2,8	2,86	2,82	2,85	2,86

Fonte: (Iniciação Científica CNPQ/UNESP, ZAMBELLI, G., 2015).

Figura 9 – NMA de $\bar{X} + R$ para cada regra sob condições diferentes



Fonte: (Iniciação Científica CNPQ/UNESP, ZAMBELLI, G., 2015).

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, o autor focou no desempenho das regras especiais de decisão, onde, inicialmente foram introduzidos os fundamentos do gráfico \bar{X} com regra adicional de decisão para o monitoramento de processos univariados através dos códigos computacionais para melhor entendimento desses gráficos e suas propriedades. Ao comparar os valores simulados obtidos com os teóricos obteve resultados satisfatórios.

Em uma segunda etapa analisou-se, por meio de simulações, os gráficos de controle sob diferentes condições: utilizando a regra básica de Shewhart, utilizando a regra especial *Synthetic* (WU & SPEDDING 2000) e, por fim, utilizando a regra especial *Side-sensitive e Synthetic Side-sensitive* (MACHADO & COSTA 2014). As regras foram aplicadas aos gráficos da média e da amplitude, tanto individualmente como simultaneamente.

Pode-se notar que, para um processo cuja dispersão é inferior a $\lambda=1.5$, para $n=4$, e inferior a $\lambda=2.0$, para $n=5$, a escolha pode ser tanto o $\bar{X} + R$ Synthetic como o $\bar{X} + R$ Side-sensitive Synthetic. Para casos de dispersão superior a esses valores, o gráfico se mostrou mais eficiente sem a utilização dessas regras.

Sendo assim, o objetivo do trabalho foi alcançado. Investigou-se a ação de todas as regras especiais de decisão, os respectivos desempenhos e em quais situações os gráficos de controle são mais eficientes.

O conhecimento adquirido nessa pesquisa poderá ser útil na continuidade de desenvolvimento científico, acadêmico ou no monitoramento de processos fabris. Por fim, sugere-se como continuidade deste trabalho, o estudo para casos bivariados, que considera a aplicação dessas regras para o monitoramento de duas variáveis simultaneamente.

REFERÊNCIAS

- WU, Z.; SPEDDING, T. A. A synthetic control char for detecting small shifts in the process mean. **Journal of Quality Technology**. v. 32, p. 32-38, 2000.
- WU, Z.; OU, Y.; CASTAGLIOLA, P.; KHOO, M.B.C. A Combined Synthetic & Xbar Chart for Monitoring the Process Mean. **International Journal of Production Research**, v. 48, p. : 7423-7436, 2010.
- CARRÉ, R. A. **Gráficos de controle para o monitoramento de processos multivariados autocorrelacionados**. 2012. 52 f. Trabalho de Graduação (graduação em Engenharia de Produção Mecânica), Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.
- COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI; L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 334 p., 2005.
- COSTA, A. F. B.; MACHADO, M. A. G. Estudo das propriedades dos gráficos de controle por meio de simulações. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15, 2003a, Marília. **Anais ...**. Marília: Universidade Estadual Paulista, 2003.
- FRANCO, B. C. et al. Economic design of Shewhart control charts for monitoring autocorrelated data with skip sampling strategies. **International Journal of Production Economics**, v. 151, p. 121–130, mai. 2014.
- SHEWHART, W. A. **Economic control of quality of manufactured product**. New York: D. Van Nostrand Company, 1931.
- TAKAMORI, M. K. **Gráficos de T^2 para o monitoramento de processos bivariados cujo vetor de médias oscila com o tempo**. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 24, 2012, Guaratinguetá. **Anais...** Guaratinguetá: Universidade Estadual Paulista, 2012, 4p.
- SUZUMURA, L. O. **Gráfico de \bar{X} com regra adicional de decisão para o monitoramento da média de processos univariados**. . In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 25, 2013, Guaratinguetá. **Anais...** Guaratinguetá: Universidade Estadual Paulista, 2013.
- LIMA, A.A.N.; LIMA, J.R.; SILVA, J.L.; ALENCAR, J.R.B.; SOARES-SOBRINHO, J.L.; LIMA, L.G.; ROLIM-NETO, P.J. Aplicação do controle estatístico de processo na indústria farmacêutica. **Journal of Basic and Applied Pharmaceutical Sciences**, aceito, 2007.
- COSTA, A. F. B.; MACHADO, M. A. G. The steady-state behavior of the synthetic and side-sensitive synthetic double sampling X charts. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 31, 297-303, 2015.
- COSTA, A. F. B.; MACHADO, M. A. G. A side-sensitive synthetic chart combined with a VSS Xbar chart. **Computer and Industrial Engineering**, v. 91, p. 205-214, 2016.

MACHADO, M. A. G.; COSTA, A. F. B. Some comments regarding the synthetic Xbar chart. *Communications in Statistics. Theory and Methods*, v. 43, p. 2897-2906, 2014.

MACHADO, M.A.G.; COSTA, A.F.B. A side-sensitive synthetic chart combined with an X chart. *International Journal of Production Research*, 52:11, 3404-3416, 2014.

SILVA, R.; KARKOTLI, G. (Orgs.). **Manual de metodologia científica do USJ 2011-1**. São José: Centro Universitário Municipal de São José – USJ, mar. 2011.

OLIVEIRA, J. O. **Item/Capítulo de Método Científico: estrutura e informações principais**. Material de apoio, Trabalho de Formatura, 2016

MACHADO, M. A. G. **Gráficos de controle para o monitoramento de processos multivariados**. 2009. 158f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

MACHADO, M. A. G.; PASIN, M. A. V. **Gráficos de \bar{X} univariados para o monitoramento de processos bivariados cujo vetor de médias oscila com o tempo**. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 24, 2012, **Anais...**Guaratinguetá: Universidade Estadual Paulista, 2012, 4p.

ZAMBELLI, G. **Gráficos de controle com regras especiais de decisão para o monitoramento da média e da dispersão do processo**. Iniciação Científica CNPQ / UNESP, 2015, Universidade Estadual Paulista, 2015.

DOS SANTOS, A. G.; ALBUQUERQUE NETO, H. C.; DE LACERDA, E. F.; LUNA, W. A.; FURLANETTO, E. L. **A importância dos gráficos de controle para monitorar a qualidade dos processos industriais: Estudo de caso numa Indústria Metalúrgica**. **Anais...** Salvador: Universidade Federal de Campina Grande, 2009.