

IGOR DE OLIVEIRA MATTOS

Gráfico T*-ATTRIVAR: uma interface para obtenção dos resultados ótimos

Igor de Oliveira Mattos

Gráfico T*-ATTRIVAR: uma interface para obtenção dos resultados ótimos

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): Mestre Mariana Cristina de Oliveira

Coorientador (a): Prof^a. Dra. Marcela Aparecida Guerreiro Machado de Freitas

M444g	Mattos, Igor de Oliveira Gráfico T*-ATTRIVAR: uma interface para obtenção dos resultados ótimos / Igor de Oliveira Mattos – Guaratinguetá, 2022. 63 f : il. Bibliografia: f. 47-48 Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2022. Orientadora: Me. Mariana Cristina de Oliveira Coorientadora: Prof.^a Dr^a Marcela Aparecida Guerreiro Machado de Freitas 1. Gráficos em engenharia. 2. Interfaces de usuário (Sistemas de computação). 3. Controle de processos - Métodos estatísticos. I. Título. CDU 658.511.3
-------	---

Luciana Máximo Bibliotecária
CRB-8/3595

IGOR DE OLIVEIRA MATTOS

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 ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

Prof. Dr. MAURICIO CESAR DELAMARO
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Mariana Cristina de Oliveira

Me. MARIANA CRISTINA DE OLIVEIRA
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. FERNANDO AUGUSTO SILVA MARINS
UNESP-FEG

Suelio Alves de Moura

Me. SUELIO ALVES DE MOURA
UNESP-FEG

DADOS CURRICULARES

IGOR DE OLIVEIRA MATTOS

NASCIMENTO	04.02.1999 – Pindamonhangaba / SP
FILIAÇÃO	Edenilson Ferreira de Mattos Carla Andrea de Oliveira Mattos
2017/2022	Graduação em Engenharia de Produção Mecânica Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

dedico este trabalho à minha família e amigos,
de modo especial à minha mãe e meus irmãos,
por todo o apoio e carinho durante esse período.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos;

à minha orientadora, Prof^a. Mariana Cristina de Oliveira e à minha coorientadora Prof^a. Dra. Marcela Aparecida Guerreiro Machado de Freitas que jamais deixaram de me incentivar. Sem a orientação de ambas, a dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível;

à minha mãe Carla e aos meus irmãos, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos;

às funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar;

aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá pela dedicação e alegria no atendimento.

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

O presente trabalho visou gerar uma interface gráfica para a determinação dos limites do gráfico de controle Trinomial* ATTRIVAR (T*-ATTRIVAR) a partir de parâmetros estabelecidos pelo usuário para o processo produtivo. O modelo T*-ATTRIVAR é uma alternativa do modelo Trinomial ATTRIVAR (T-ATTRIVAR). O modelo T-ATTRIVAR surgiu como uma alternativa híbrida para o monitoramento de processos, possuindo uma primeira etapa de inspeção por atributo e uma segunda etapa de inspeção por variável, sendo uma alternativa razoável por diminuir os custos de inspeção enquanto possui um bom desempenho. O gráfico de controle T*-ATTRIVAR difere do modelo T-ATTRIVAR por somente analisar na etapa de inspeção por variável os itens recusados na etapa de inspeção por atributo, dessa forma reduzindo ainda mais o tempo de inspeção. No primeiro estágio as amostras são submetidas a uma inspeção por atributo, se o número de amostras reprovadas for maior do que uma quantidade especificada pelo usuário, as amostras rejeitadas são inspecionadas em uma segunda etapa de inspeção por atributo. Nessa segunda etapa são medidas as características X da amostra e é feita a média $\bar{X}$ para dessa forma definir se o processo se encontra em controle ou fora de controle. A interface voltada ao usuário foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação R, que é a principal linguagem de programação para dados estatísticos no meio acadêmico, e o ambiente utilizado para o desenvolvimento foi o RStudio.

PALAVRAS-CHAVE: Gráfico de controle. ATTRIVAR. Gráfico de controle híbrido Trinomial*.

ABSTRACT

The present work aimed to create a graphical interface for determining the limits of the control chart Trinomial* ATTRIVAR (T*-ATTRIVAR) from parameters established by the user for the production process. The T*-ATTRIVAR model is an alternative to the Trinomial ATTRIVAR model (T-ATTRIVAR). The T-ATTRIVAR model emerged as a hybrid alternative for process monitoring, with a first stage of inspection per attribute and a second stage of inspection per variable, being a reasonable alternative for reducing inspection costs while having a good performance. The T*-ATTRIVAR control chart differs from the T-ATTRIVAR model by only analyzing in the variable inspection stage the items rejected in the attribute inspection stage, thus reducing even more the inspection time. In the first stage the samples are submitted to an inspection by attribute, if the number of rejected samples is greater than a quantity specified by the user, the rejected samples are inspected in a second stage of inspection by attribute. In this second step the X characteristics of the sample are measured and the average $\bar{X}$ is taken to define whether the process is in control or out of control. The user interface was developed using the R programming language, which is the main programming language for statistical data in the academia, and the environment used for development was RStudio.

KEYWORDS: Control chart. ATTRIVAR. Hybrid control chart Trinomial*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quantidade de artigos publicados que contém “ <i>control chart</i> ” no título	18
Figura 2 – Quantidade de artigos publicados que contém “ <i>mixed control chart</i> ”	18
Figura 3 – Quantidade de artigos publicados que contém “ <i>ATTRIVAR</i> ” no título	19
Figura 4 – Quantidade de artigos que contém “ <i>quality control</i> ” e “ <i>user interface</i> ” no título .	20
Quadro 1 – Classificação da Pesquisa	21
Figura 5 – Exemplo de funcionamento de um gráfico de controle	24
Figura 6 – Gráfico de $\bar{X}$ com erro tipo I	26
Figura 7 – Gráfico de $\bar{X}$ com erro tipo II	26
Figura 8 – Fluxograma do gráfico B-ATTRIVAR	30
Figura 9 – Fluxograma do gráfico T-ATTRIVAR	32
Figura 10 – Fluxograma da etapa 2	36
Figura 11 – Fluxograma da etapa 3	38
Figura 12 – Fluxograma da etapa 4	39
Figura 13 – Esboço inicial da interface	43
Figura 14 – Interface desenvolvida	44
Figura 15 – Alerta da Interface	45

LISTA DE FIGURAS

Tabela 1 – Comparação dos Resultados ($\% \bar{X}_{máx} = 10\%$)	41
Tabela 2 – Comparação dos Resultados ($\% \bar{X}_{máx} = 15\%$)	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATTRIVAR - Attribute plus variable
T-ATTRIVAR - Trinomial ATTRIVAR
T*-ATTRIVAR - Trinomial* ATTRIVAR
B-ATTRIVAR - Binomial ATTRIVAR
B*-ATTRIVAR - Binomial* ATTRIVAR
CEP - Controle Estatístico de Processos

LISTA DE SÍMBOLOS

n	Tamanho amostral
μ	Média do processo
σ	Desvio-padrão do processo
δ	Deslocamento da média
α	Probabilidade de alarme falso – Erro tipo 1
β	Probabilidade de não detecção – Erro tipo 2
NMA	Número médio de amostras até o sinal
NMA ₀	Número médio de amostras até o sinal com processo em controle
NMA ₁	Número médio de amostras até o sinal com processo fora de controle
CL _y	Limite de controle por atributo
W _y	Alerta de controle por atributo
LDI	Limite discriminante inferior
LDS	Limite discriminante superior
LSI	Limite inferior de controle
LSC	Limite superior de controle
LC	Limite central
$\bar{X}$	Média amostral
Y _D	Número de itens fora da especificação
% $\bar{X}_{m\acute{a}x}$	Percentual máximo de amostras inspecionadas por variável

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E QUESTÕES DE PESQUISA	14
1.2	OBJETIVOS	16
1.3	DELIMITAÇÕES E JUSTIFICATIVAS	16
1.4	MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA	20
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	GRÁFICOS DE CONTROLE	23
2.2	GRÁFICOS DE CONTROLE POR VARIÁVEL	24
2.3	GRÁFICOS DE CONTROLE POR ATRIBUTO	27
2.4	GRÁFICO DE CONTROLE ATTRIVAR	28
2.4.1	Gráfico de controle Binomial-ATTRIVAR	29
2.4.2	Gráfico de controle Trinomial ATTRIVAR	30
2.4.3	Gráfico de controle Trinomial* ATTRIVAR	32
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.1	PARÂMETROS E ESTRUTURA DA PROGRAMAÇÃO	34
3.2	DETALHAMENTO DAS ETAPAS DESENVOLVIDAS	34
3.2.1	Delimitação de Wy e CLy	35
3.2.2	Delimitação dos limites por atributo	36
3.2.3	Delimitação dos limites por variável	37
3.2.4	Delimitação dos erros α e β e n ajustado	39
3.3	RESULTADOS OBTIDOS.....	40
3.4	IMPLEMENTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE	42
4	CONCLUSÃO	46
4.1	VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS E RESPOSTAS ÀS QUESTÕES DE PES- QUISA.....	46
4.2	SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DO TRABALHO.....	46
	REFERÊNCIAS	47
	APÊNDICE A – CÓDIGO COMPUTACIONAL EM LINGUAGEM R	49

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E QUESTÕES DE PESQUISA

Segundo Costa, Epprecht e Carpinetti (2005), em 1924 Walter A. Shewart produziu e executou a utilização dos gráficos de controle, que acabaram por se tornar uma das ferramentas mais relevantes do Controle Estatístico de Processos, tendo destaque pela aptidão de detectar alterações no processo produtivo de maneira rápida e eficiente.

Costa, Epprecht e Carpinetti (2005) definem que os gráficos de controle têm como utilização monitorar os parâmetros de um processo e detectar a presença de causas especiais, sendo causa especial definido como um modo de operação anormal do processo ou problema, como por exemplo, o desajuste de uma máquina, que deve ser identificado e corrigido.

De acordo com Costa e Machado (2006), os gráficos mais utilizados para o monitoramento de processos univariados são os gráficos de $\bar{X}$ e R. Para Leoni e Costa (2018) os gráficos T^2 e $\bar{X}$ são as ferramentas padrão para controlar o vetor médio, no entanto, devido às medições serem demoradas e dispendiosas, elas podem ser evitadas com a utilização de gráficos de atributos.

Os gráficos de atributos funcionam com o número de peças de amostra não conformes; a construção de dispositivos de inspeção “passa-não-passa” permite, com o mínimo esforço, classificar os itens de amostra como conformes ou não conformes (LEONI; COSTA, 2018).

Segundo Ho e Quinino (2013), ao se observar a eficiência do gráfico de controle por variável e comparar com a eficiência da inspeção por atributo, o gráfico de controle por variável terá melhor desempenho. Entretanto, ao observar um tamanho da amostra maior, o gráfico por atributo tem uma melhora significativa em seu desempenho, podendo chegar a equiparar-se ao gráfico de inspeção por variáveis.

Recentemente, o foco das novas estratégias de controle tem sido a redução do custo com inspeção, para isso estão sendo propostos novos gráficos de controle que combinam a inspeção por atributo e variável. A inspeção realizada por atributo não é só mais barata como mais fácil, no entanto, os gráficos de controle por atributo demandam amostras grandes, visando sanar esse problema, explora-se a ideia da amostragem em dois estágios, por atributo no primeiro e por variável no segundo.

Os primeiros a proporem a estratégia que combina a inspeção por atributo e variável foram Sampaio, Ho e Medeiros (2014), visando a utilização para o monitoramento da média de

processos univariados. Ao se adotar essa estratégia, pode ser usada nas duas etapas de inspeção a mesma amostra ou amostras diferentes.

Ho e Aparisi (2016) acabaram por desenvolver o gráfico de controle ATTRIVAR (*attribute plus variable*), a partir da proposição de Sampaio, Ho e Medeiros (2014), em que o monitoramento acontece em duas etapas, a primeira por atributo, por meio do dispositivo “passa-não-passa”, e a segunda sendo uma inspeção por variável.

Em um primeiro momento as amostras são inspecionadas por atributo, após a inspeção caso o número de amostras não conformes seja maior que um limite estabelecido, é realizada a segunda etapa de inspeção em que essas amostras são novamente inspecionadas, mas dessa vez utilizando a dimensão da variável X , sendo depois calculada a média da amostra. A resposta de se o processo está ou não em controle é estabelecida a partir dos limites de controle. Dessa forma, o gráfico de controle ATTRIVAR acaba utilizando das características positivas de ambas as estratégias, utilizando o custo inferior do gráfico de controle por atributo e a maior efetividade do gráfico de controle por variável.

A partir do gráfico de controle ATTRIVAR, Simões, Costa e Machado (2020) propuseram os gráficos de controle Binomial ATTRIVAR (B-ATTRIVAR) e Trinomial ATTRIVAR (T-ATTRIVAR). Segundo Simões, Costa e Machado (2020) o gráfico de controle B-ATTRIVAR é semelhante ao gráfico de controle *Mixed* que foi proposto por Aslam et al. (2015) tendo como mudança o fato de que no gráfico *Mixed* o limite discriminante inferior não é utilizado. O gráfico de controle B-ATTRIVAR é igual ao ATTRIVAR-1 proposto por Ho e Aparisi (2016), entretanto devido ao gráfico ATTRIVAR-1 não garantir os valores ótimos, o gráfico B-ATTRIVAR sempre leva um tempo menor para detectar perturbações no processo.

Já o gráfico T-ATTRIVAR possui três classificações na etapa de inspeção por atributo, que estão conectadas ao dispositivo “passa-não-passa”, a primeira é a classificação A, onde são inseridos os itens defeituosos X menores que o limite discriminante inferior, depois a classificação B, onde são inseridos os itens defeituosos cuja característica X é superior ao limite discriminante superior, e, por fim, a classificação AB, onde são inseridos todos os outros itens restantes.

De acordo com Simões, Costa e Machado (2020) a ideia principal do gráfico T-ATTRIVAR é de já utilizar no processo de inspeção por atributo a informação de qual o sentido da perturbação da média, dessa forma permite a diminuição do número de alarmes falsos e dos custos do processo. A partir das ideias desenvolvidas no gráfico T-ATTRIVAR foi proposto o estudo do gráfico de controle Trinomial*-ATTRIVAR (T*-ATTRIVAR), cuja diferença do T-

ATTRIVAR se dá pelo fato de que no T*-ATTRIVAR apenas as amostras reprovadas na fase de inspeção por atributo são analisadas na fase de inspeção por variável.

Esse gráfico pode ser aplicado em processos da indústria manufatureira, sendo utilizado tanto na validação de processos produtivos como também no monitoramento e controle do processo em questão.

Apesar da relevância acadêmica dos trabalhos para a inspeção em processos produtivos, ambos não possuem registros acadêmicos em aplicações práticas, dessa forma buscando viabilizar a utilização do gráfico T*-ATTRIVAR fez-se necessário a criação de uma interface para o usuário, de maneira que seja possível inserir os parâmetros de entrada do processo, e obter como resposta os limites dos dois estágios e o tamanho de amostra ideal para o processo. Frente a isso, o presente trabalho é motivado pelas seguintes questões:

- Como criar a interface de dimensionamento para os limites do gráfico de controle Trinomial*-ATTRIVAR?
- Como calcular os limites do gráfico de controle Trinomial*-ATTRIVAR a partir das informações inseridas pelo usuário?
- Como realizar a aplicação do gráfico de controle Trinomial*-ATTRIVAR em um processo produtivo real?

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho possui como objetivo principal gerar uma interface capaz de fornecer o dimensionamento dos limites para o gráfico de controle T*-ATTRIVAR, utilizando especificações inseridas pelo usuário para um determinado processo produtivo. Já os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Gerar uma interface em linguagem de programação R capaz de determinar o número médio de amostras até o alerta, os limites de controle por atributo e por variável, e os limites discriminantes.
- Permitir a inserção de parâmetros e restrições necessários, obtendo como output a melhor projeção do gráfico T*-ATTRIVAR para ele.

1.3 DELIMITAÇÕES E JUSTIFICATIVAS

Este trabalho não apresenta restrições geográficas ou físicas, pois a programação e desenvolvimento da interface será realizada por meio da linguagem de programação R.

Para o progresso desse trabalho pressupõe-se que o usuário tem conhecimento das restrições dos parâmetros de distribuição normal do processo em questão, ter definido valores toleráveis de erro estatístico, e, além disso, ter definido o valor da proporção de inspeções por variável máximo.

A qualidade tornou-se um fator decisivo na escolha de produtos e/ou serviços. Oferecer produtos e serviços de alta qualidade é, portanto, um dos principais objetivos de uma empresa moderna (SAMPAIO; HO; MEDEIROS, 2014).

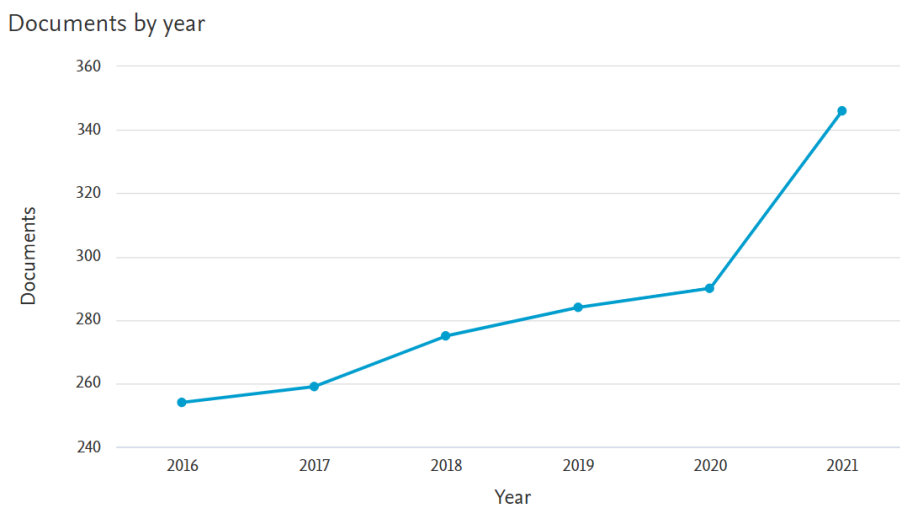
Segundo Costa, Epprecht e Carpinetti (2005) os gráficos de controle são uma das principais ferramentas de controle estatístico de processos (CEP) e sua utilização auxilia na redução da variabilidade de um processo, além de gerar melhoria do desempenho e eficiência do processo em questão.

Quando a medição de uma característica de qualidade específica é cara e demorada, é razoável considerar se um gráfico de controle baseado na inspeção por atributos pode ser mais apropriado para monitorizar uma média ou variância de processo (HO; QUININO, 2013). Dessa forma para ter bom controle da produção e ainda assim, diminuir custos e poupar tempo foi proposto por Ho e Aparisi o gráfico de controle ATTRIVAR.

Os gráficos de controle ATTRIVAR apresentam algumas vantagens operacionais em comparação com os gráficos tradicionais $\bar{X}$. Pouparam tempo na inspeção porque é desnecessário fazer medições numéricas das amostras em cada inspeção. Além disso, o custo de uma inspeção por atributos é inferior a uma medição; em alguns processos, a medição das variáveis monitorizadas pode ser muito cara, destrutiva ou difícil (HO; APARISI, 2016).

A partir da análise na base de dados Scopus é possível perceber que os gráficos de controle são muito estudados, buscando novas estratégias para melhorar a qualidade dos produtos de forma mais rápida, com menor custo de inspeção e com alta eficiência. A Figura 1 demonstra o histórico de publicações dos últimos 5 anos na base Scopus (2021) em que a palavra “*control chart*” está presente no título do artigo, podendo ser percebido o crescimento nas publicações voltadas para gráficos de controle.

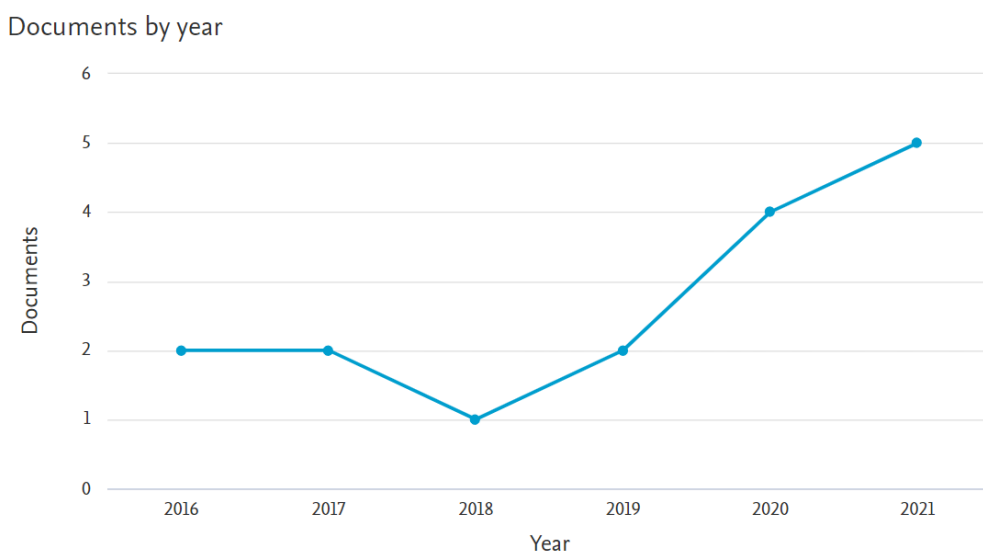
Figura 1 – Quantidade de artigos publicados que contém “*control chart*” no título



Fonte: Scopus (2021).

Nos últimos anos modelos híbridos, que abrangem tanto a inspeção por atributos quanto por variáveis para o monitoramento da média de um processo, estão cada vez sendo mais estudados, entretanto ainda carecem de mais estudos. A Figura 2 reforça a necessidade de termos ainda mais estudos na área ao apresentar as publicações que contém “*mixed control chart*”.

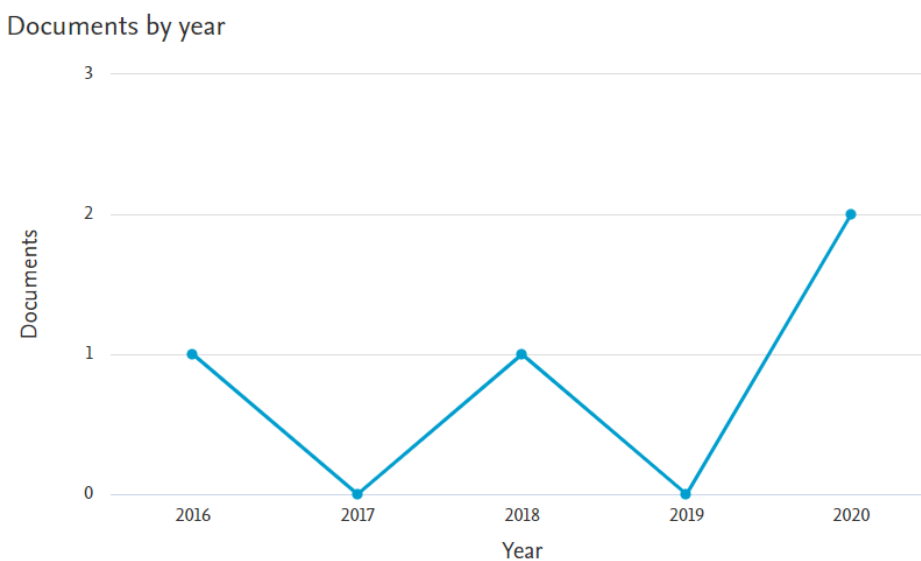
Figura 2 – Quantidade de artigos publicados que contém “*mixed control chart*”



Fonte: Scopus (2021).

A partir do modelo híbrido proposto por Sampaio, Ho e Medeiros (2014), Ho e Aparisi (2016) propuseram o modelo ATTRIVAR (attribute plus variable), como citado anteriormente, diminuindo o número de inspeções e aumentando a eficiência do controle do processo. Entretanto devido a ser uma estratégia de controle recente, o tema ainda tem muito a ser explorado, na Figura 3 é apresentado o número de publicações com ATTRIVAR presente no título.

Figura 3 – Quantidade de artigos publicados que contém “ATTRIVAR” no título

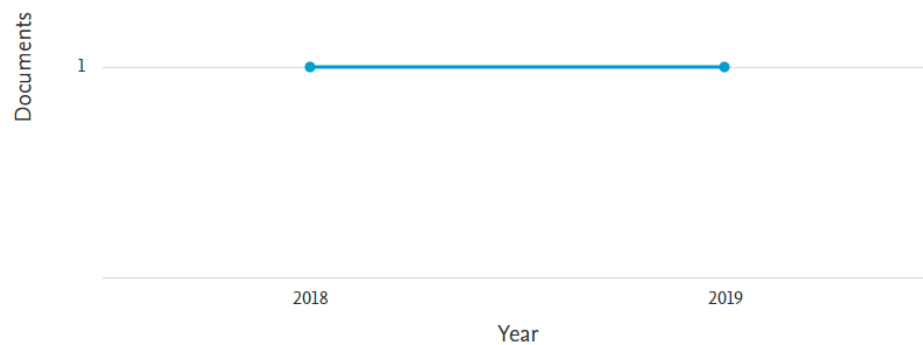


Fonte: Scopus (2021).

Devido a este estudo propor a produção de uma interface para o dimensionamento dos limites de um gráfico de controle T*-ATTRIVAR, também foi buscado o número de artigos com “quality control” e “user interface” presentes no título.

Figura 4 – Quantidade de artigos que contém “*quality control*” e “*user interface*” no título

Documents by year



Fonte: Scopus (2021).

Dessa forma, é possível perceber que o presente estudo proposto poderá ser de grande importância para o desenvolvimento acadêmico em controle de qualidade além de contribuir para a literatura no tema desenvolvido, podendo também futuramente contribuir para a viabilização da aplicação de conceitos estatísticos em processos produtivos por pessoas sem especialização na área.

1.4 MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA

De acordo com Prodanov e Freitas (2013), uma pesquisa pode ser classificada com base em diferentes pontos de vista, sendo eles: da natureza da pesquisa, dos seus objetivos, dos procedimentos técnicos utilizados e da forma de abordagem do problema. O Quadro 1 mostra a classificação dessa pesquisa quanto à seus objetivos, natureza, procedimentos técnicos e forma de abordagem.

Quadro 1 – Classificação da pesquisa

Natureza	Aplicada
Objetivo/Fins	Exploratória
Quanto à abordagem	Quantitativa
Procedimentos técnicos	Experimental

Fonte: Adaptado de Kothari e Garg (2014).

Quanto à natureza a pesquisa é classificada como aplicada, pois de acordo com Prodanov e Freitas (2013), considera-se uma pesquisa como aplicada quando objetiva gerar conhecimentos para a aplicação prática, buscando solucionar um problema específico e envolvendo verdades e interesses universais.

Já quanto ao seu objetivo é classificada como exploratória, para Prodanov e Freitas (2013), uma pesquisa é considerada como exploratória quando tem como finalidade proporcionar mais informações sobre o assunto a ser investigado, possibilitando sua definição e delineamento.

Quanto à forma de abordagem, classifica-se essa pesquisa como quantitativa, segundo Prodanov e Freitas (2013), a abordagem quantitativa considera tudo que pode ser quantificável traduzindo em números as opiniões e informações, requerendo a utilização de técnicas e recursos estatísticos.

Quanto aos procedimentos técnicos utilizados esta pesquisa é classificada como uma pesquisa experimental, para Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionando as variáveis capazes de influenciar e a partir disso definir a forma de controle e observação dos efeitos produzidos no objeto.

A interface criada neste trabalho foi voltada para utilização em todo processo produtivo em que a característica da qualidade a ser analisada apresente uma distribuição normal, com possibilidade de inspeção em ambas as etapas, tanto por atributo quanto por variável. Essas inspeções podem ocorrer, por exemplo, pelo uso de um dispositivo “passa-não-passa” na etapa de atributo e pelo uso da medição ou pesagem de um item do processo.

Para o funcionamento da interface utilizou-se como parâmetros de entrada inicialmente o tamanho da amostra n , o desvio padrão σ , a média μ e a porcentagem máxima de itens a serem analisados na etapa de inspeção por variável $\% \bar{X}_{máx}$. A partir das entradas inseridas pelo usuário é possível obter na etapa de inspeção por atributo do processo os valores para o alerta e limite de controle $\bar{W}_y$ e CL_y , respectivamente, os limites discriminantes superior e inferior, LDS e LDI e a porcentagem de itens a serem analisados do processo $\% \bar{X}$ da simulação.

Durante a etapa de inspeção por variável, deve-se utilizar como parâmetros de entrada os erros α e β e o valor para média de deslocamento da média δ do processo. A partir desses parâmetros são obtidos para as diferentes combinações de W_y e CL_y o valor de α da simulação e o valor do fator de abertura dos limites k , para que dessa forma seja possível disponibilizar o melhor resultado para o gráfico Trinomial* ATTRIVAR.

Para o desenvolvimento de toda a parte de simulação numérica e obtenção dos valores discutidos anteriormente foi utilizada a linguagem computacional R no ambiente de desenvolvimento RStudio. Foi feita a escolha dessa linguagem de programação por se tratar de uma linguagem muito utilizada para problemas estatísticos, sendo utilizada no meio acadêmico tanto nacional quanto internacional, além disso essa escolha também foi feita por essa linguagem possuir um ambiente de desenvolvimento disponível gratuitamente e com ampla utilização de pacotes e funcionalidades possíveis de serem instalados.

Para desenvolver a interface gráfica foi utilizado o pacote Shiny, sendo esse um dos principais pacotes para o desenvolvimento de interfaces e *dashboards*, facilitando o desenvolvimento de interfaces interativas na linguagem R.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além da introdução, o trabalho contém mais 3 capítulos. O Capítulo 2 expõe a revisão bibliográfica, onde encontra-se toda a base teórica, apresentando os conceitos por trás do controle estatístico de processos, dos gráficos de controle tanto por atributos quanto por variáveis, além dos gráficos de controle ATTRIVAR.

O Capítulo 3 traz a discussão e análise dos resultados, apresentando os parâmetros e estrutura da programação, além de detalhar as etapas desenvolvidas, os resultados obtidos e o desenvolvimento da interface ao usuário. Por fim, no Capítulo 4 apresenta-se as sugestões de trabalhos futuros a serem desenvolvidos e as conclusões deste trabalho seguida das referências utilizadas para a realização do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 GRÁFICOS DE CONTROLE

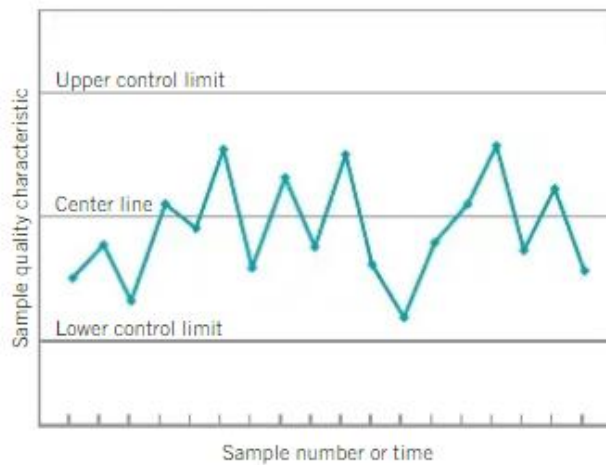
Segundo Montgomery (2009) o Controle Estatístico de Processos (CEP) é uma coleção de ferramentas utilizadas para estabilizar e melhorar um processo de forma a reduzir sua variabilidade. Pode ser dividido em sete ferramentas, sendo elas a folha de controle, o gráfico de Pareto, o histograma, o diagrama de dispersão, o diagrama de concentração de defeito, o diagrama de causa e efeito e o gráfico de controle.

De acordo com Aslam et al. (2015), os gráficos de controle são ferramentas poderosas para monitorar o processo de fabricação sendo muito importantes por serem utilizados para produzir o produto de acordo com os limites de especificação indicados, reduzir o custo de inspeção e indicar a causa da variação no processo, além do já citado monitoramento do processo.

Um gráfico utilizado para monitorar a característica de qualidade por atributo, ou seja, classificando as amostras em conformes e não conformes, é denominado gráfico de controle por atributo. Por outro lado, um gráfico que é utilizado para monitorar a característica variável de interesse, ou seja, monitorando a média das amostras, é chamado de gráfico de controle por variável. (ASLAM et al., 2015)

De acordo com Montgomery (2009) o gráfico contém uma linha central que representa o valor médio, correspondente ao estado em controle do processo. Também são apresentadas três linhas horizontais, o limite superior de controle (*LSC*), o limite inferior de controle (*LIC*) e o limite central (*LC*), esses conceitos ficam melhor apresentados na Figura 5. Os limites de controle são escolhidos de maneira a garantir que, se o processo estiver sob controle, todos os pontos de amostra ficarão entre eles.

Figura 5 – Exemplo de funcionamento de um gráfico de controle



Fonte: Montgomery (2009).

Desde que os pontos se encontrem dentro dos limites de controle, assume-se que o processo está sob controle e nenhuma ação é necessária. Entretanto, se um ponto se encontra fora dos limites de controle o processo é interpretado como fora de controle, sendo necessária uma investigação e correção para encontrar e eliminar a causa ou causas responsáveis por essa variação.

2.2 GRÁFICOS DE CONTROLE POR VARIÁVEL

De acordo com Montgomery (2009), uma única característica de qualidade mensurável, como uma dimensão, peso ou volume, é chamada de variável, sendo que ao tratar de uma característica de qualidade considerada uma variável, é necessário monitorar tanto a média da característica quanto sua variabilidade, sendo esse controle realizado por meio de um gráfico de controle por variável.

Os gráficos de controle funcionam por meio da observação amostral, quando uma das amostras se encontra acima do limite superior de controle (*LSC*) ou abaixo do limite inferior de controle (*LIC*), há a sinalização de uma perturbação e, conseqüentemente, deve ser realizada uma investigação do processo de forma a garantir a eliminação da fonte de perturbação, em meio a ambos os limites se encontra o limite central, normalmente representando o valor de μ_0 para o caso do gráfico de controle de $\bar{X}$.

Os limites LSC , LIC e LC são apresentados pelas equações (1), (2) e (3), em que n é o tamanho da amostra, μ_0 é a média, k é o fator de abertura dos limites do gráfico de $\bar{X}$ e σ_0 é o desvio-padrão.

$$LSC = \mu_0 + k * \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$LC = \mu_0 \quad (2)$$

$$LIC = \mu_0 - k * \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Segundo Costa (2007), o gráfico pode ser observado como testes de hipóteses sendo realizados em sequência, sendo testado sempre as seguintes hipóteses:

$$H_0: \text{Processo está em controle} \quad (4)$$

$$H_1: \text{Processo não está controle} \quad (5)$$

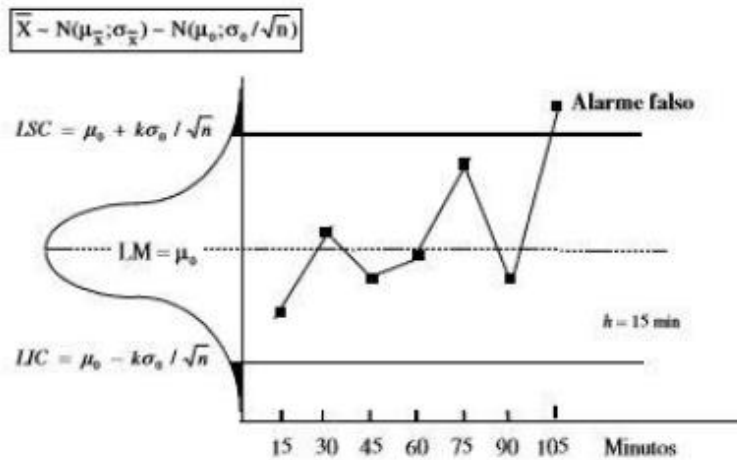
A partir disso, segundo Montgomery (2009), dois tipos de erros podem ser cometidos ao testar hipóteses. Se a hipótese H_0 é rejeitada quando verdadeira, ocorreu um erro do tipo α . Se a hipótese H_0 não for rejeitada quando falsa, foi cometido um erro de tipo β . As probabilidades destes dois tipos de erros ocorrerem são indicadas como:

$$\alpha = P\{\text{Erro do Tipo I}\} = P\{\text{Rejeitar } H_0 | H_0 \text{ verdadeiro}\} \quad (6)$$

$$\beta = P\{\text{Erro do Tipo II}\} = P\{\text{Não rejeitar } H_0 | H_0 \text{ falso}\} \quad (7)$$

Segundo Costa, Epprecht e Carpinetti (2005), caso a hipótese H_0 seja verdadeira, isto é, o processo apresenta-se em controle, todos os pontos devem cair dentro dos limites especificados do processo, entretanto devido à existência da probabilidade α certos valores podem estar fora desses limites, ocorrendo um alarme falso, essa situação é ilustrada pela Figura 6.

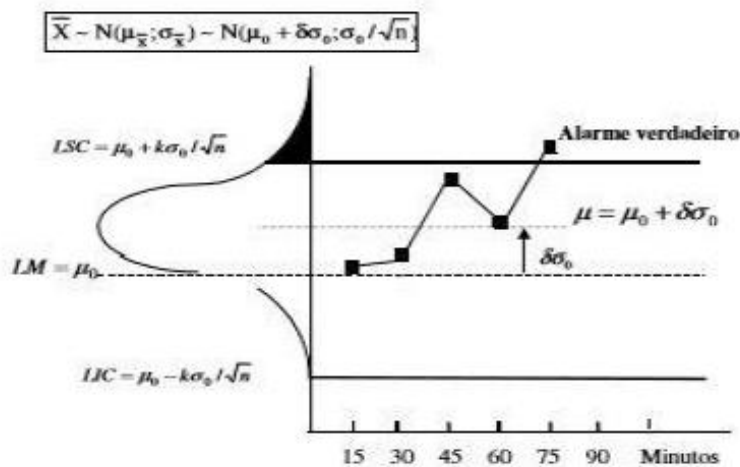
Figura 6 – Gráfico de $\bar{X}$ com erro tipo I



Fonte: Adaptado de Costa, Epprecht e Carpinetti (2005).

Já quando a hipótese H_1 é verdadeira, segundo Costa, Epprecht e Carpinetti (2005) idealmente o primeiro ponto observado deveria já se encontrar fora dos limites especificados, para garantir a rápida identificação do processo como fora de controle, entretanto devido à probabilidade β essa sinalização do alarme pode não ocorrer. Essa situação é ilustrada pela Figura 7, onde é possível observar que a média do processo se encontra deslocada durante o processo, entretanto só sendo sinalizado o alarme verdadeiro na última amostra.

Figura 7 – Gráfico de $\bar{X}$ com erro tipo II



Fonte: Adaptado de Costa, Epprecht e Carpinetti (2005).

De acordo com Ho e Aparisi (2016), o gráfico de controle por variável exige a mensuração da característica de qualidade X em todos os itens da amostra. Devido às repetidas mensurações essa inspeção acaba por ser mais custosa, sendo em muitos casos necessária a utilização de uma equipe especializada para lidar com as amostras.

2.3 GRÁFICO DE CONTROLE POR ATRIBUTO

Segundo Montgomery (2009), nem todas as características de qualidade podem ser representadas numericamente. Nesses casos, os itens inspecionados devem ser classificados como conforme ou não conforme, também pode ser utilizada a terminologia defeituosa ou não defeituosa. As características de qualidade deste tipo são chamadas atributos.

Quando a medição de uma característica de qualidade específica é cara e demorada, é razoável considerar se um gráfico de controle baseado na inspeção de atributos pode ser mais apropriado para monitorar um meio ou desvio de processo (HO; QUININO, 2013).

Montgomery (2009) observou que a inspeção por variável é normalmente mais cara e demorada em uma observação por unidade do que a inspeção por atributos. Portanto, pode ser mais apropriado para comparar a eficácia entre os gráficos baseando-se no custo de inspeção idêntico por unidade de tempo.

Um dos gráficos de controle por atributo mais utilizados é conhecido como gráfico de controle np , ou seja, o gráfico de controle do número de itens reprovados, isso se dá pelo fato de ser de mais fácil entendimento do que o gráfico de fração de não conformes (MONTGOMERY, 2009).

De acordo com Montgomery (2009), os limites LSC_{np} e LIC_{np} são definidos segundo as expressões 8 e 9, sendo n o tamanho da amostra, k_{np} o fator de abertura do limite do gráfico np e p a proporção de itens reprovados.

$$LSC_{np} = np + k_{np}\sqrt{np(1-p)} \quad (8)$$

$$LIC_{np} = np - k_{np}\sqrt{np(1-p)} \quad (9)$$

Para Ho e Aparisi (2016), o gráfico de controle np é uma ferramenta simples que fornece uma regra de decisão baseada na inspeção de informações porque permite ao usuário decidir se o processo está em controle ou fora de controle, tendo como vantagem resumir rapidamente alguns aspectos relacionados com a qualidade do produto, permitindo a classificação dos

produtos em conforme ou não conforme com base em critérios de qualidade, além de ser de fácil entendimento, permitindo que pessoas não familiarizadas com o conceito o entendam.

Entretanto, também de acordo com Ho e Aparisi (2016), os gráficos np só são úteis quando uma proporção significativa da produção é composta de não-conformes e os tamanhos das amostras muito grandes.

2.4 GRÁFICO DE CONTROLE ATTRIVAR

Os gráficos de controle ATTRIVAR tem como proposta a utilização de uma etapa de inspeção por atributos, onde é utilizado um dispositivo “passa-não-passa” seguido de uma inspeção por variável, esse gráfico de controle foi criado por Ho e Aparisi (2016), inspirado nas propostas de Sampaio, Ho e Medeiros (2014).

A proposta de Sampaio, Ho e Medeiros (2014) foi a do uso do gráfico de controle $np_x - \bar{X}$. Quando esse gráfico é utilizado as amostras são divididas em duas subclassificações, a primeira subclassificação é inspecionada por atributo, já a outra é inspecionada por variável. Os itens da primeira subclassificação são então considerados como aprovados ou reprovados, caso o número de itens reprovados seja maior do que um limite estabelecido faz-se necessária a inspeção da segunda subclassificação, resultando em um valor $\bar{X}$ que demonstra se o processo deve ser parado para investigação ou ser considerado em controle.

Ho e Aparisi (2016) propuseram o emprego do gráfico ATTRIVAR-1, no qual as amostras que foram utilizadas na etapa de inspeção por atributos são novamente utilizadas na inspeção por variável, e do gráfico ATTRIVAR-2, na qual é utilizada uma amostra na etapa de inspeção por atributos e para a realização da inspeção por variável é retirada uma nova amostragem.

Segundo Simões, Costa e Machado (2020), quando empreendido para o monitoramento da média da característica de qualidade de um processo, o gráfico de controle ATTRIVAR possui ordem definida de processo, sendo primeiro coletadas amostras de tamanho n que posteriormente são levados à uma inspeção por atributo classificando cada item como aprovado ou reprovado.

A partir disso a quantidade de itens reprovados Y_D , é utilizada para construir um gráfico por atributo. Se o valor de Y_D for maior ou igual ao limite de controle (CL_y), considera-se o processo como fora de controle. Já se Y_D for menor do que o limite de alarme (Wy), o processo é classificado como sob controle. Caso $Y_D \geq Wy$ e $Y_D < CL_y$, faz-se necessária uma investigação da amostra utilizada, sendo os itens dessa amostra mensurados e sendo calculada a média amostral $\bar{X}$.

Ao observar gráfico de $\bar{X}$, o processo acaba por ser classificado como fora de controle se $\bar{X} < LIC$ ou $\bar{X} > LSC$ e classificado como sob controle se $LIC \leq \bar{X} \leq LSC$.

Vale a pena ressaltar que a inspeção do tipo atributo sempre acaba por truncar a distribuição X e, por isso, o desenvolvimento matemático para obter a distribuição $\bar{X}$ não é trivial. (SIMÕES; COSTA; MACHADO, 2020)

2.4.1 Gráfico de Controle Binomial ATTRIVAR

Segundo Simões, Costa e Machado (2020), o gráfico de controle Binomial ATTRIVAR (B-ATTRIVAR) é um gráfico em que todos os itens da amostra acabam primeiramente passando por uma inspeção por atributo e, caso seja necessário, uma segunda inspeção por variável, onde são medidas suas características de qualidade X , esse gráfico possui as mesmas características do gráfico ATTRIVAR-1.

O gráfico de controle B-ATTRIVAR proposto por Simões, Costa e Machado (2020) possui o seguinte procedimento:

- Uma amostra cujo tamanho é igual a n é retirada e submetida a um sistema “passa-não-passa”. A partir disso é calculado o total Y_D , ou seja, os itens reprovados a partir dos limites discriminantes superior e inferior (LDS , LDI).
- Caso $Y_D \geq CL_y$, o processo é determinado como estando fora de controle, se $Y_D < W_y$, o processo é determinado como em controle. Já caso $W_y \leq Y_D < CL_y$, faz-se necessária uma maior análise para decidir a classificação do processo e a amostra seguirá para uma segunda etapa onde será inspecionada por variável.
- A inspeção por variável consiste na medição das amostras seguido do cálculo do valor de $\bar{X}$. O processo é considerado fora de controle se $\bar{X} < LIC$ ou $\bar{X} > LSC$. Se $LIC \leq \bar{X} \leq LSC$, o processo está em controle.

As fórmulas para a realização do cálculo dos limites tanto por variável (LIC/LSC) quanto por atributo (LDS/LDI) são respectivamente:

$$LSC = \hat{\mu}_0 + k \frac{\hat{\sigma}_0}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

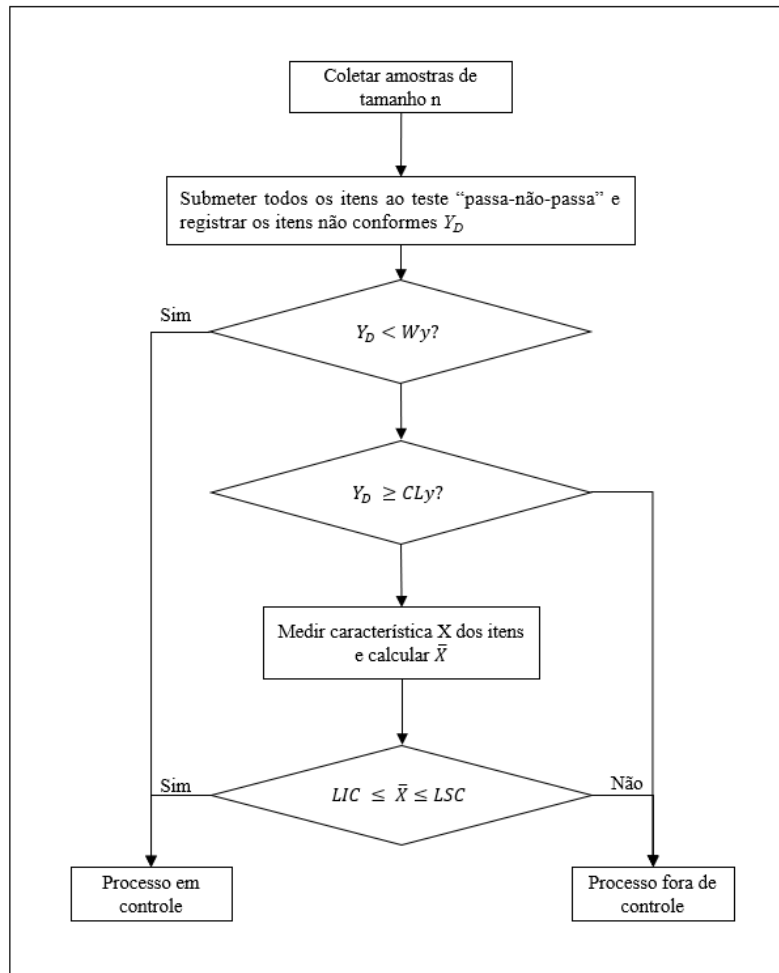
$$LIC = \hat{\mu}_0 - k \frac{\hat{\sigma}_0}{\sqrt{n}} \quad (11)$$

$$LDS = \hat{\mu}_0 + w \hat{\sigma}_0 \quad (12)$$

$$LDI = \hat{\mu}_0 - w \hat{\sigma}_0 \quad (13)$$

Sendo k o fator de abertura dos limites de controle, $\hat{\mu}_0$ e $\hat{\sigma}_0$ a média e o desvio-padrão do processo e w o fator de abertura dos limites discriminantes.

Figura 8 – Fluxograma do gráfico B-ATTRIVAR



Fonte: Adaptado de Simões, Costa e Machado (2020).

A Figura 8 apresenta o fluxograma de funcionamento do gráfico B-ATTRIVAR para melhor identificação dos processos pelo leitor. Vale ressaltar que Segundo Ho e Aparisi (2016), o gráfico de controle B-ATTRIVAR acaba por ter uma utilização mais vantajosa ao compararmos com o gráfico $\bar{X}$ por economizar tempo na inspeção.

2.4.2 Gráfico de Controle Trinomial ATTRIVAR

Segundo Simões, Costa e Machado (2020), o gráfico de controle Trinomial ATTRIVAR difere do Binomial ATTRIVAR por fazer distinção entre as amostras que são reprovadas por

apresentarem valores da dimensão X maiores que LDS ou menores que LDI . Essa distinção se faz importante pelo fato de que uma alteração que amplifica a média de um processo acaba por aumentar a probabilidade de classificar um item como defeituoso, enquanto um desvio capaz de reduzir a média do processo diminui a probabilidade de um item ser classificado como defeituoso.

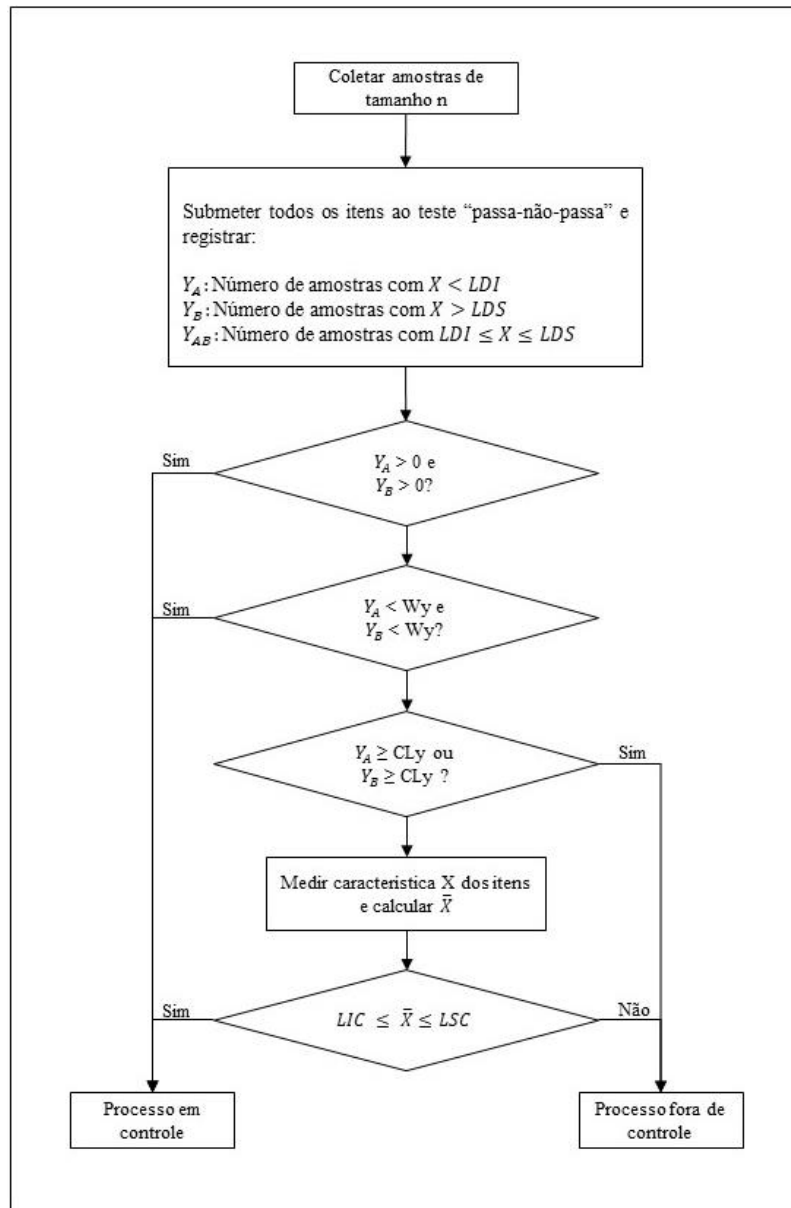
A lógica de aplicação do gráfico é a mesma do B-ATTRIVAR, ou seja, primeiramente é realizada uma inspeção por atributo e depois de obtidos os resultados, caso seja inevitável, é realizada uma inspeção por variável. Além disso, outra semelhança é o fato de em ambos os estágios ser utilizada a mesma amostra.

Conforme Simões, Costa e Machado (2020), no gráfico T-ATTRIVAR na etapa de inspeção por atributo, a amostra de tamanho n tem seus itens classificados em três subclassificações, a subclassificação A, na qual a dimensão X do item está abaixo do LDI do dispositivo “passa-não-passa”; a subclassificação B, na qual a dimensão X está acima do LDS do dispositivo; e a subclassificação AB, em que $LDI \leq \bar{X} \leq LDS$. A partir dessa diferenciação, o número de itens em cada categoria é classificado como Y_A , Y_B e Y_{AB} .

Simões, Costa e Machado (2020) apontaram que o processo é considerado como em controle se $Y_A > 0$ e $Y_B > 0$; ou se $Y_B < W_y$ e $Y_A = 0$; ou se $Y_A < W_y$ e $Y_B = 0$; é considerado fora de controle caso $Y_B \geq CL_y$ e $Y_A = 0$; ou se $Y_A \geq CL_y$ e $Y_B = 0$; e para situações fora das regras já citadas as amostras são encaminhadas para a segunda etapa de inspeção, onde é medida a característica X dos objetos inspecionados e calcula-se a média $\bar{X}$ da amostra.

O processo é classificado sob controle no segundo estágio se $LIC \leq \bar{X} \leq LSC$, se essa regra não é atingida o processo é classificado como fora de controle e deve ser interrompido e a causa da variação ser investigada.

Figura 9 – Fluxograma do gráfico T-ATTRIVAR



Fonte: Adaptado de Simões, Costa e Machado (2020).

A Figura 9 apresenta o fluxograma de funcionamento do gráfico T-ATTRIVAR para melhor identificação dos processos pelo leitor.

2.4.3 Gráfico de Controle Trinomial* ATTRIVAR

A partir do gráfico T-ATTRIVAR uma nova versão foi criada, sendo ela o gráfico T*-ATTRIVAR, cuja principal diferença se dá pelo fato de que apenas as amostras vistas como não conformes na etapa de inspeção por atributo serão analisadas na etapa de inspeção por variável,

essa estratégia visa diminuir o custo de aplicação, analisando a perda de eficiência devido à diminuição dos itens inspecionados na segunda etapa.

O gráfico T*-ATTRIVAR tem o funcionamento da etapa de atributo semelhante ao gráfico T-ATTRIVAR, onde segundo Simões, Costa e Machado (2020), uma amostra de tamanho n é coletada e seus itens são classificados em três subclassificações por um dispositivo “passa-não-passa”; os itens que possuem $X < LDI$ são rejeitados pelo passo “não-passa” e alocados na subclassificação A, os itens que possuem $X > LDS$ são rejeitados pelo passo “passa” e alocados na subclassificação B e, por fim, os itens com $LDI \leq X \leq LDS$ são alocados na subclassificação AB. A partir disso a quantidade de itens em cada categoria é classificado como Y_A , Y_B e Y_{AB} .

Segundo Simões, Costa e Machado (2020), se $Y_A > 0$ e $Y_B > 0$; $Y_A = 0$ e $Y_B < W_y$; ou $Y_A < W_y$ e $Y_B = 0$, classifica-se o processo como em controle. Já se $Y_A = 0$ e $Y_B \geq CL_y$; ou $Y_A \geq CL_y$ e $Y_B = 0$, classifica-se o processo como fora de controle.

Em qualquer outra situação, os valores da característica de qualidade X dos itens rejeitados na primeira etapa (Y_D) são mensurados e a média $\bar{X}$ é calculada, esses valores são então submetidos à análise a partir dos limites de controle superior e inferior, dados pelas seguintes equações:

$$LSC = \hat{\mu}_0 + k \frac{\hat{\sigma}_0}{\sqrt{Y_D}} \quad (14)$$

$$LIC = \hat{\mu}_0 - k \frac{\hat{\sigma}_0}{\sqrt{Y_D}} \quad (15)$$

Se o valor de $\bar{X}$ estiver dentro do limite $LIC \leq \bar{X} \leq LSC$, em que LIC e LSC são os limites de controle de $\bar{X}$, então classifica-se o processo como em controle, se não classifica-se o processo como fora de controle.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PARÂMETROS E ESTRUTURA DA PROGRAMAÇÃO

Para desenvolver a lógica computacional desse trabalho foi indispensável estabelecer quais os parâmetros de entrada e saída do projeto. Devido ao fato do objetivo do estudo ser gerar uma interface para o dimensionamento dos limites nas duas etapas de inspeção do gráfico Trinomial* ATTRIVAR foi definido que as saídas na etapa de inspeção por atributo deveriam ser o alerta e o limite de controle W_y e CL_y e os limites discriminantes por atributo superior e inferior LDS e LDI. Já para a etapa de inspeção por variável as saídas deveriam ser o fator de abertura dos limites k , pois os valores dos limites de controle por variável variam de acordo com as amostras, os erros α e β da simulação e o tamanho de amostra n .

A partir da definição dos parâmetros de saída foram definidos os parâmetros de entrada necessários para obtenção dos resultados. Dessa forma foram definidos como parâmetros de entrada o desvio padrão σ do processo produtivo com distribuição normal e a média μ , o valor máximo de erro α e β , o desvio da média δ do processo, o tamanho inicial da amostra n e a porcentagem máxima permitida de amostras analisadas na etapa de inspeção por variável $\% \bar{X}_{m\acute{a}x}$.

Vale ressaltar que os valores de erro α e β relacionam-se diretamente com os valores obtidos para NMA_0 e NMA_1 , isto é, eficiência na detecção de um desvio no processo, e o conceito de alarme falso.

Para o pleno funcionamento da programação computacional foi também necessário criar uma estrutura de funcionamento, de forma a garantir uma sequência de simulações e cálculos que garantam a ausência de erro e pleno funcionamento da lógica do modelo T*-ATTRIVAR, de maneira a no fim apresentar os parâmetros de saída.

De maneira a facilitar o desenvolvimento e melhor entendimento do processo a programação foi quebrada em 4 etapas, sendo na etapa 1 realizada a definição de W_y e CL_y , na etapa 2 é realizada a delimitação dos limites por atributo, na etapa 3 é realizada a obtenção do fator de abertura dos limites k e do erro α da simulação, e, por fim, na etapa 4 é realizada a obtenção do erro β e saída final de todos os parâmetros obtidos.

3.2 DETALHAMENTO DAS ETAPAS DESENVOLVIDAS

Para desenvolver a programação de uma forma correta foi necessário pensar em como a

lógica da estratégia T*-ATTRIVAR funciona e como tornar essa lógica automatizada de forma a realizar uma sequência de simulações que retornassem valores válidos. Para facilitar o desenvolvimento da programação descrita foi necessário então primeiro gerar uma ideia geral dessa lógica e depois quebra-la em quatro etapas, para que dessa forma o programa acaba-se por se tornar mais facilmente ajustado.

A primeira etapa é definida pela obtenção de W_y e CL_y a partir da inserção do número de amostras pelo usuário por meio de um *loop*. A segunda etapa é definida pela simulação da etapa de atributo do processo de maneira a obter os limites discriminantes por atributo (LDI e LDS), a porcentagem máxima permitida de amostras analisadas na etapa de inspeção por variável $\% \bar{X}$ e armazenar os valores simulados para que sejam posteriormente reutilizados.

A terceira etapa é definida pela simulação da etapa de variável do processo, de maneira a obter os limites de controle por variável (LIC e LSC) que se ajustam ao α definido pelo usuário, e por fim a quarta e última etapa é definida pela repetição da etapa de atributos, entretanto dessa vez as amostras são novamente simuladas com uma variação na média δ de forma a verificar se o erro β simulado é menor que o erro β de entrada do usuário.

Caso o valor do erro β simulado seja maior que o erro β de entrada do usuário para todas as combinações será necessária a inserção de um tamanho de amostra n maior do que o anterior e a repetição do processo do início.

Vale ressaltar que apesar de divididos em etapas distintas, os valores obtidos em cada etapa são essenciais para o funcionamento geral do programa, ou seja, os valores de W_y e CL_y serão utilizados nas etapas posteriores, o mesmo vale para os valores de LDI e LDS e LIC e LSC.

3.2.1 Delimitação de W_y e CL_y

Na primeira etapa do programa, como dito anteriormente, foi desenvolvido um código para obter todas as combinações possíveis de W_y e CL_y a partir do número de amostras inseridos pelo usuário. Essa etapa faz-se necessária porque para diferentes combinações de W_y e CL_y existem diferentes valores de LDI e LDS, apesar de possuírem o mesmo tamanho de amostra.

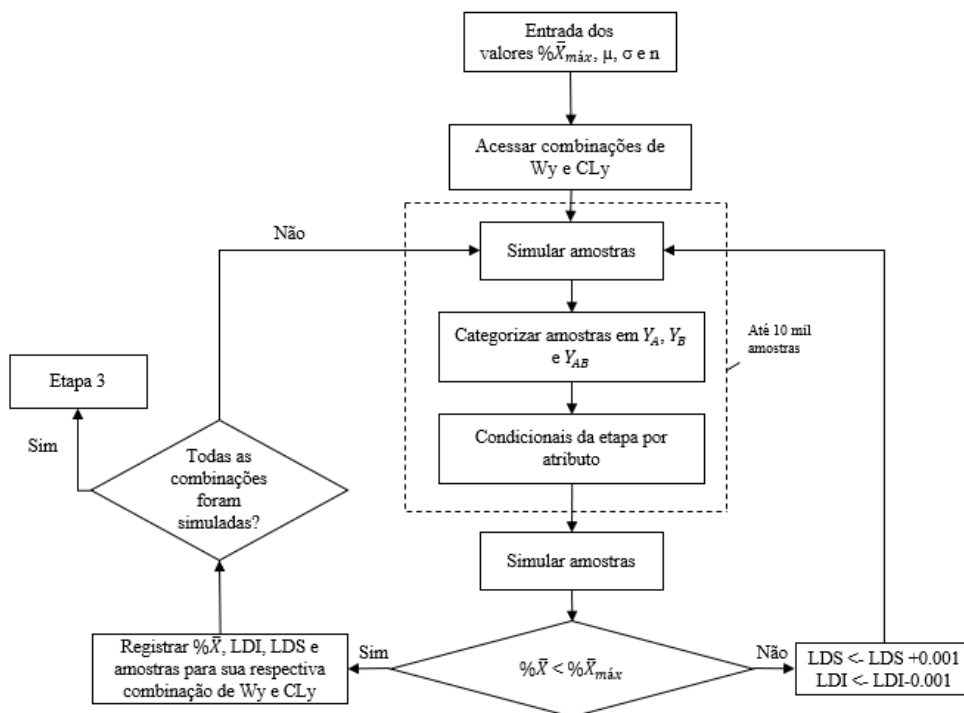
O trecho do programa responsável por essa etapa é dado utilizando um *loop* externo responsável pela definição de todos os possíveis W_y , indo de 1 até $\frac{n}{2}$, arredondando para baixo, enquanto o *loop* interno é responsável pela definição de todos os possíveis CL_y , indo de $\frac{n}{2}$, arredondado para cima, até n .

Portanto em um exemplo em que seja inserido um número de amostras $n = 5$, tem-se como resposta que W_y varia de 1 até 2, enquanto CL_y varia de 3 até 5. Dessa forma tem-se nesse exemplo seis possíveis combinações de W_y e CL_y .

3.2.2 Delimitação dos limites por atributo

Nessa etapa do programa tem-se como finalidade obter os limites discriminantes superior e inferior para uma porcentagem de amostras que vão para a segunda etapa $\% \bar{X}_{m\acute{a}x}$ definido pelo usuário. A partir dos valores de W_y e CL_y obtidos anteriormente teremos diferentes LDS e LDI, apesar do mesmo tamanho de amostra ser utilizado. A Figura 10 apresenta um fluxograma que resume as subetapas da etapa 2.

Figura 10 – Fluxograma da etapa 2



Fonte: Produção do próprio autor.

Para a obtenção desses limites é realizada a simulação de dez mil amostras geradas a partir dos valores inseridos pelo usuário para μ e σ de uma distribuição normal. Baseado nesses valores também é gerado o primeiro valor para os limites discriminantes superior e inferior obtidos a partir da média adicionada e subtraída por um desvio padrão, respectivamente.

Para cada amostra simulada é gerada uma classificação em Y_A , Y_B e Y_{AB} a partir dos limites discriminantes anteriormente definidos, com essa categorização realizada são aplicadas as condicionais descritas na seção 2.4.3.

Logo, se $Y_A > 0$ e $Y_B > 0$; ou $Y_A = 0$ e $Y_B < W_y$; ou $Y_A < W_y$ e $Y_B = 0$, o processo é classificado como em controle. Já se $Y_A = 0$ e $Y_B \geq CL_y$; ou $Y_A \geq CL_y$ e $Y_B = 0$, classifica-se o processo como fora de controle.

Para os demais casos possíveis de obtenção, a amostra é considerada como apta a continuar para o segundo estágio de inspeção e contabilizada para obtenção de um valor de $\% \bar{X}$ da simulação.

Após a simulação de todas as dez mil amostras e suas respectivas categorizações e posterior submetimento às condicionais é calculado o valor de $\% \bar{X}$ da simulação utilizando a divisão entre o número total de amostras consideradas aptas a seguir para a segunda etapa de inspeção e o total de amostras simuladas. Caso o valor obtido para $\% \bar{X}$ da simulação seja maior do que o valor de $\% \bar{X}_{m\acute{a}x}$ inserido pelo usuário, é aumentado o valor de LDS em 0.001 e diminuído o valor de LDI na mesma quantidade, seguido de uma nova simulação agora com os limites discriminantes atualizados.

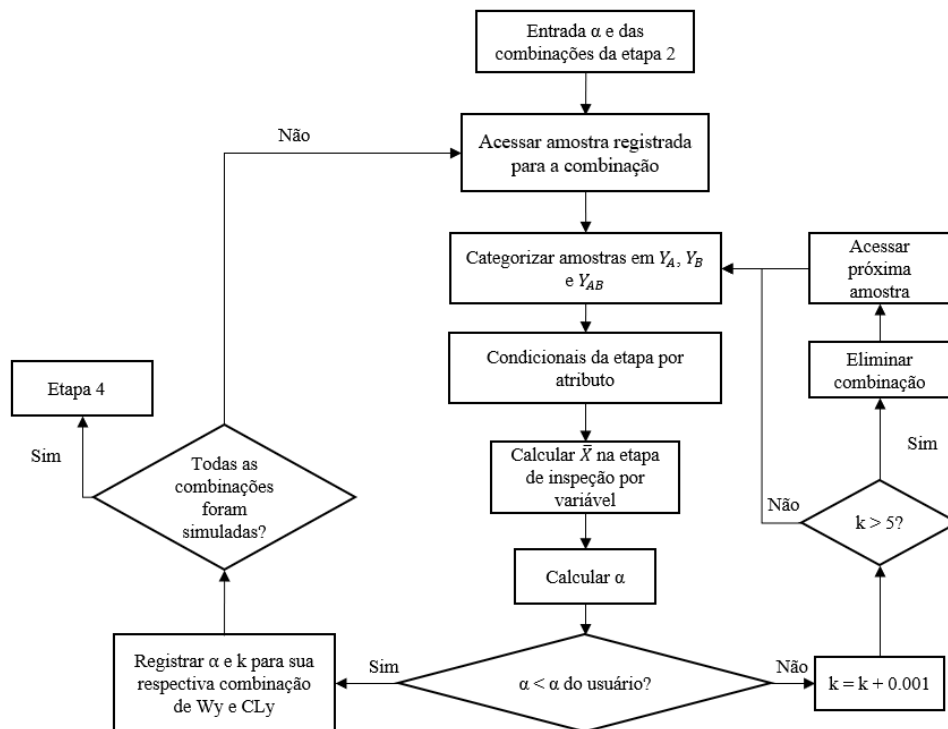
O valor de acréscimo dos limites discriminantes superior e inferior foi definido dessa forma por conta de a menor das alterações nesses limites acabarem por causar mudanças significativas nos resultados obtidos para as outras variáveis.

Esse processo é repetido até que o valor de $\% \bar{X}$ da simulação seja menor ou igual ao valor de $\% \bar{X}_{m\acute{a}x}$, a partir do momento em que essa condição é atingida os valores dos limites discriminantes, $\% \bar{X}$ e também as amostras simuladas, são registradas junto aos seus respectivos W_y e CL_y .

3.2.3 Delimitação dos limites por variável e erro α

Nessa etapa do programa tem-se como objetivo definir os valores do fator de abertura dos limites e do erro α para a etapa de inspeção por variável, de forma a respeitar o valor máximo da probabilidade de erro α inserida pelo usuário. Como para o gráfico T*-ATTRIVAR faz-se necessária a utilização da mesma amostra para as duas etapas as amostras simuladas na primeira etapa que foram registradas são novamente utilizadas nessa etapa. A Figura 11 apresenta um fluxograma que resume as subetapas da etapa 3.

Figura 11 – Fluxograma da etapa 3



Fonte: Produção do próprio autor.

Em primeiro momento as amostras já simuladas passam pelo mesmo tratamento já descrito na seção 4.2.2, ou seja, as dez mil amostras são novamente categorizadas em Y_A , Y_B , e Y_{AB} , e submetidas às condicionais, entretanto nesse momento há uma diferença.

A partir do momento em que uma amostra necessita passar pelo segundo estágio de inspeção é determinado o valor de LSC e LIC para aquela amostra seguindo as equações (14) e (15) da seção 2.4.3, uma vez que esses valores serão variáveis, devido ao fato de que somente os valores rejeitados da amostra são inspecionados. Para o primeiro valor de LSC e LIC é utilizado um valor padrão para o fator de abertura dos limites sendo $k = 2$.

Após a utilização de todas as dez mil amostras já simuladas anteriormente é calculado o valor do erro α , cujo valor é dado pela razão entre as amostras recusadas nos dois estágios de inspeção, ou seja, amostras fora de controle, e o número total de amostras simulado, cujo valor é de dez mil.

Nesse caso se o valor de α encontrado for maior do que o valor de α inserido pelo usuário faz-se necessário o aumento do valor de k em 0.001 e a repetição da análise das amostras com agora o novo valor de k e, conseqüentemente, o novo valor de LSC e LIC.

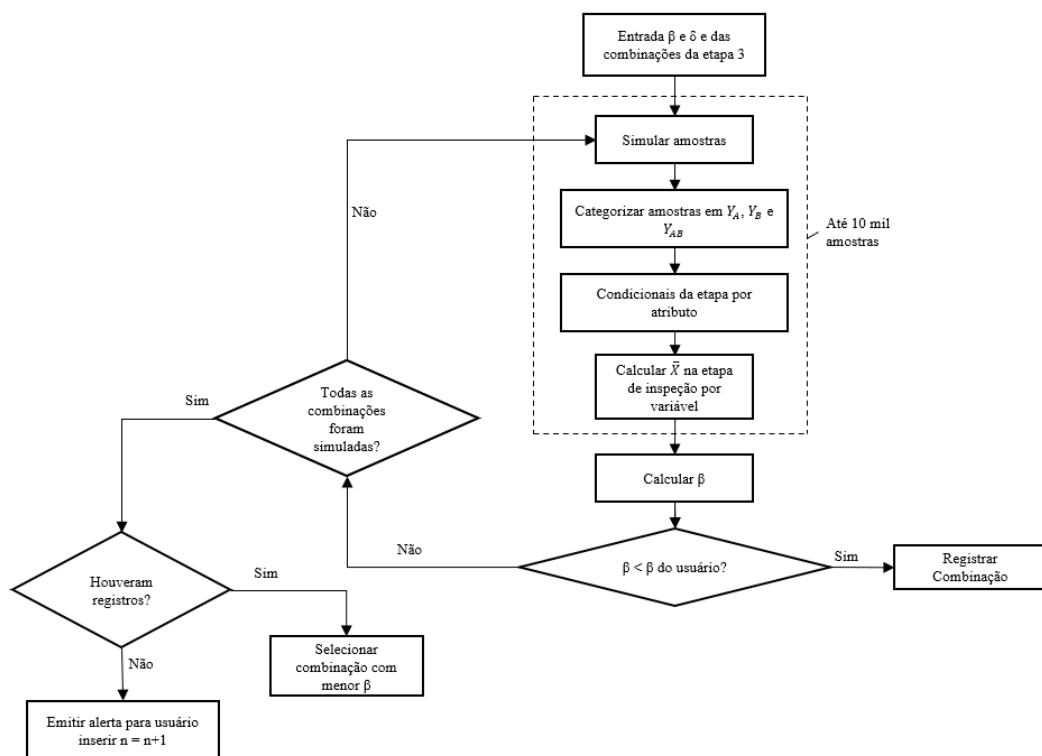
Quando o valor de α encontrado for menor que o valor de α inserido pelo usuário então os valores de k e α são gravados junto a seus respectivos W_y e CL_y . Caso o valor de k seja

incrementado até tornar-se $k = 5$, então a combinação é recusada e o processo começa para uma nova combinação de W_y e CL_y .

3.2.4 Delimitação do erro β e n ajustado

Nessa etapa do programa tem-se como objetivo definir o valor do erro β do projeto a partir dos valores obtidos anteriormente e do valor de δ e β inseridos pelo usuário.

Figura 12 – Fluxograma da etapa 4



Fonte: Produção do próprio autor.

Durante essa etapa são simuladas dez mil novas amostras, dessa vez levando em consideração o valor de desvio da média δ fornecido pelo usuário, de forma a categorizar novamente essas amostras em Y_A , Y_B , e Y_{AB} , respeitando os limites discriminantes obtidos anteriormente. Em seguida são aplicadas as condicionais e calculado o valor da média amostras para as amostras que foram à segunda etapa e necessitaram de nova validação, com os valores de k também obtidos na etapa anterior.

Após a passagem por esse processo é calculado o valor de β para aquela combinação, esse valor é obtido pela subtração do número total de amostras pelo número de amostras reprovadas

em ambos os estágios de inspeção, após isso esse valor é dividido pelo número total de amostras.

Se após esse cálculo o valor de β encontrado for menor do que o valor de β inserido pelo usuário a combinação é considerada aceita pela lógica computacional e o valor de β é registrado junto às outras informações já obtidas para o seu determinado W_y e CL_y , entretanto caso essa condição não seja realizada a combinação é reprovada e é feita uma nova simulação para a próxima combinação existente.

Após a simulação de todas as combinações faz-se a verificação da existência de combinações que foram aprovadas durante o processo.

Caso exista mais de uma combinação aprovada é necessário verificar qual delas tem o menor valor de β e essa será utilizada, caso não existam combinações válidas então o tamanho da amostra deve ser aumentado, dessa forma o valor de n inserido deve ser incrementado em 1 e deve-se realizar toda a simulação novamente com esse novo valor de n , até que seja registrado ao menos uma combinação nessa última etapa, esse incremento do valor de n deve ser feito manualmente após o alerta do programa.

3.3 RESULTADOS OBTIDOS

Esta seção visa demonstrar e validar os resultados obtidos durante o processo de desenvolvimento do código computacional presente neste trabalho, de maneira a entender e garantir a qualidade dos resultados obtidos a partir dos diferentes valores inseridos.

Como trata-se de um código computacional vale ressaltar que dificilmente os valores encontrados são iguais aos obtidos na literatura, dessa forma utilizou-se como comparativo de eficiência a diferença entre os valores de NMA_1 do gráfico T-ATRIVAR obtido por Simões, Costa e Machado (2020).

Para a obtenção dos resultados o tamanho, a média e o desvio padrão de teste foram respectivamente, $n = 5$, $\mu = 0$ e $\sigma = 1$; a probabilidade $\alpha = 0.27\%$ de forma a obter o NMA_0 próximo a 370 amostras quando o processo se encontra em controle e o $\% \bar{X}_{máx}$ de 10% e 15%; além disso, o valor do desvio da média δ varia entre os valores 0, 0.25, 0.50, 1.00, 1.50 e 2, já o valor de β varia de acordo com o desvio δ .

A partir da determinação dos parâmetros do projeto e utilizando os resultados obtidos pela simulação e comparando-os aos resultados obtidos por Simões, Costa e Machado (2020), foi-se criada uma tabela para melhor visualização dos resultados e comparação entre os valores de NMA_1 obtidos em cada estratégia. Vale ressaltar que nessa tabela as linhas destacadas em cor laranja são o melhor projeto obtido para aquela combinação de valores de δ .

Tabela 1 – Comparação dos Resultados ($\% \bar{X}_{m\acute{a}x} = 10\%$)

T*-ATTRIVAR - 10%										
δ	Wy	CLy	$\% \bar{X}_{m\acute{a}x}$	LDS	k	α	β	NMA1	NMA Simões	Varição
0,25	1	3	9,88%	2,291	3,61	0,27%	99,56%	227,27	140,20	62%
0,25	1	4	10,00%	2,284	3,50	0,27%	99,45%	181,81	138,45	31%
0,25	1	5	9,88%	2,295	3,46	0,27%	99,35%	153,85	138,64	11%
0,25	2	4	9,83%	1,317	3,66	0,27%	99,20%	128,21	151,18	-15%
0,25	2	5	9,94%	1,318	3,52	0,27%	99,07%	107,53	135,28	-21%
0,50	1	3	9,93%	2,296	3,57	0,27%	98,49%	66,23	36,48	82%
0,50	1	4	9,99%	2,288	3,54	0,27%	98,35%	60,61	36,20	67%
0,50	1	5	9,99%	2,292	3,62	0,27%	98,70%	76,92	35,88	114%
0,50	2	4	9,79%	1,331	3,64	0,27%	97,91%	47,85	39,51	21%
0,50	2	5	9,80%	1,325	3,51	0,27%	96,92%	32,47	34,33	-5%
1,00	1	3	9,92%	2,282	3,56	0,27%	91,64%	11,96	5,08	136%
1,00	1	4	9,88%	2,283	3,61	0,27%	92,55%	13,42	5,04	166%
1,00	1	5	9,91%	2,291	3,69	0,27%	93,26%	14,84	5,06	193%
1,00	2	4	9,83%	1,319	3,68	0,27%	84,23%	6,34	5,11	24%
1,00	2	5	9,75%	1,331	3,60	0,27%	83,61%	6,10	4,66	31%
1,50	1	3	9,78%	2,279	3,55	0,27%	69,89%	3,32	1,74	91%
1,50	1	4	9,55%	2,288	3,52	0,27%	68,38%	3,16	1,73	83%
1,50	1	5	9,89%	2,278	3,57	0,27%	70,44%	3,39	1,73	96%
1,50	2	4	9,58%	1,327	3,69	0,27%	49,69%	1,99	1,68	18%
1,50	2	5	9,98%	1,323	3,59	0,27%	49,71%	1,99	1,62	23%
2,00	1	3	9,98%	2,293	3,68	0,27%	39,00%	1,64	1,13	45%
2,00	1	4	9,97%	2,295	3,62	0,27%	37,80%	1,60	1,13	41%
2,00	1	5	9,98%	2,288	3,54	0,27%	34,57%	1,53	1,13	35%
2,00	2	4	9,72%	1,32	3,77	0,27%	15,55%	1,18	1,10	8%
2,00	2	5	9,93%	1,33	3,68	0,27%	15,82%	1,19	1,09	9%

Fonte: Produção do próprio autor.

A partir das simulações são obtidos os valores para δ , $\% \bar{X}_{m\acute{a}x}$, α e β de acordo com os limites especificados nas entradas do usuário. Além disso são calculados os valores de limite de alarme (Wy) e limite de controle (CLy) do gráfico de atributo, o limite discriminante superior (LDS), o valor de fator de abertura dos limites k e o NMA₁. Todos esses resultados foram inseridos na Tabela 1, na coluna final encontra-se a diferença percentual entre os valores obtidos na simulação do gráfico T*-ATTRIVAR e aquele obtido pela simulação do gráfico T-ATTRIVAR de Simões, Costa e Machado (2020).

Observa-se que para um maior número de limite de alarme do gráfico de atributo (Wy) a variação dos valores encontrados torna-se menor, em alguns casos o gráfico de controle T*-ATTRIVAR acaba sinalizando um alerta verdadeiro antes mesmo do gráfico T-ATTRIVAR.

Isso pode ocorrer pelo fato de que ao aumentarmos o valor de Wy forçamos a inspeção de amostras mais assertivas na etapa de inspeção por variável, uma vez que dessa forma analisamos ao invés de um valor mínimo de uma amostra defeituosa analisamos no mínimo amostras com duas delas.

Tabela 2 – Comparação dos Resultados ($\% \bar{X}_{m\acute{a}x} = 15\%$)

T*-ATTRIVAR - 15%										
δ	Wy	CLy	$\%X_{m\acute{a}x}$	LDS	k	α	β	NMA1	NMA Simões	Variação
0,25	1	3	14,84%	2,215	3,69	0,27%	99,55%	222,22	141,05	58%
0,25	1	4	14,92%	2,113	3,68	0,27%	99,50%	200,00	135,30	48%
0,25	1	5	14,68%	2,126	3,61	0,27%	99,46%	185,19	135,40	37%
0,25	2	4	14,85%	1,147	3,77	0,27%	99,32%	147,06	189,89	-23%
0,25	2	5	14,94%	1,149	3,61	0,27%	99,31%	144,93	134,48	8%
0,50	1	3	14,47%	2,12	3,73	0,27%	99,07%	107,53	36,20	197%
0,50	1	4	14,73%	2,121	3,79	0,27%	99,13%	114,94	34,54	233%
0,50	1	5	14,43%	2,132	3,65	0,27%	98,84%	86,21	34,55	150%
0,50	2	4	14,57%	1,149	3,90	0,27%	97,76%	44,64	55,55	-20%
0,50	2	5	14,65%	1,152	3,59	0,27%	97,60%	41,67	33,96	23%
1,00	1	3	14,63%	2,114	3,70	0,27%	92,49%	13,32	4,87	173%
1,00	1	4	14,74%	2,117	3,61	0,27%	91,40%	11,63	4,73	146%
1,00	1	5	14,73%	2,12	3,68	0,27%	92,30%	12,90	4,73	173%
1,00	2	4	14,95%	1,141	3,81	0,27%	82,12%	5,59	3,15	77%
1,00	2	5	14,83%	1,152	3,59	0,27%	82,41%	5,69	4,57	24%
1,50	1	3	14,92%	2,123	3,69	0,27%	69,52%	3,28	1,66	98%
1,50	1	4	14,90%	2,112	3,70	0,27%	69,41%	3,27	1,64	99%
1,50	1	5	14,94%	2,105	3,56	0,27%	65,67%	2,91	1,64	78%
1,50	2	4	14,99%	1,148	3,86	0,27%	46,87%	1,88	1,89	0%
1,50	2	5	14,73%	1,153	3,55	0,27%	45,13%	1,82	1,59	15%
2,00	1	3	14,80%	2,107	3,64	0,27%	31,11%	1,45	1,10	32%
2,00	1	4	14,63%	2,122	3,62	0,27%	31,72%	1,47	1,10	33%
2,00	1	5	14,63%	2,123	3,69	0,27%	32,20%	1,47	1,10	34%
2,00	2	5	14,82%	1,154	3,66	0,27%	13,89%	1,16	1,08	7%

Fonte: Produção do próprio autor.

Ao observar os resultados da Tabela 2, que utiliza um valor de $\% \bar{X}_{m\acute{a}x}$ maior, acabamos por perceber resultados similares à Tabela 1 do ponto de vista de comparação aos valores obtidos por Simões, Costa e Machado (2020). Novamente nota-se que o desempenho com menor variação é encontrado quando utilizamos um maior número para Wy.

3.4 IMPLEMENTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE

Para garantir a utilização eficiente do usuário e a obtenção do melhor projeto para o gráfico de controle T*-ATTRIVAR sem a necessidade do usuário saber programar ou fazer os cálculos matemáticos para obtenção desses resultados foi necessária a criação de uma interface que facilitaria a interação entre o usuário e o processo.

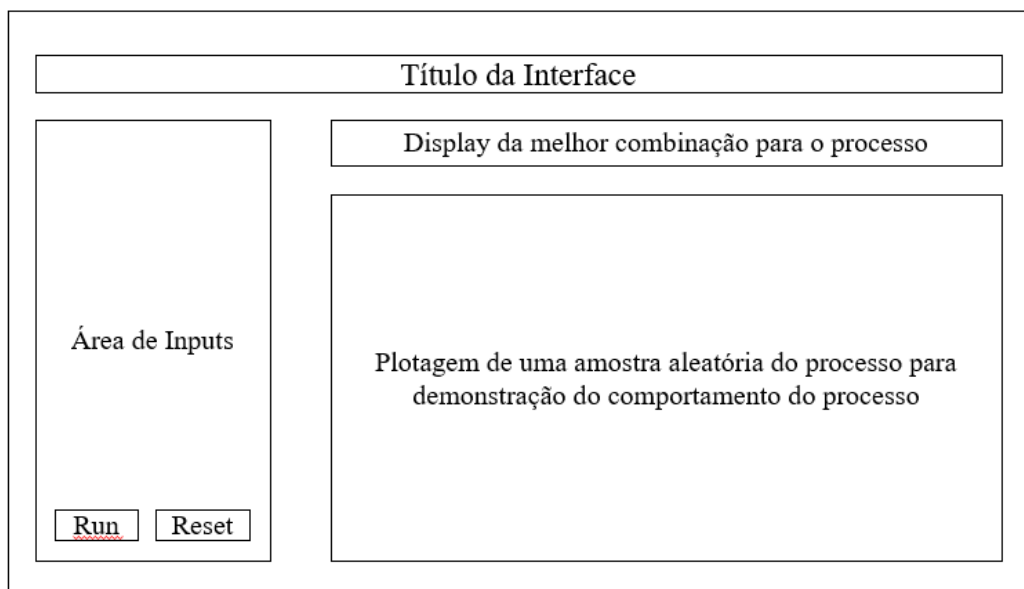
Conforme explicado anteriormente na seção 3.2 os parâmetros de entrada necessários para o funcionamento da interface são a média μ , o desvio padrão σ , o tamanho da amostra n e a porcentagem máxima de itens a serem analisados na etapa de inspeção por variável, $\% \bar{X}_{m\acute{a}x}$,

os valores de probabilidade dos erros α e β e o valor para média de deslocamento da média δ do processo.

A partir desses parâmetros de entrada a interface é capaz de apresentar os valores dos limites discriminantes inferior e superior (LDI e LDS), o alerta de controle (Wy) e o limite de controle (CLy) da etapa por atributo, o valor do fator de abertura k e o número de amostras até o alerta NMA_1 .

A Figura 13 apresenta um esboço inicial da interface a ser desenvolvida, no topo encontra-se o título da interface, enquanto na esquerda está uma área para utilização dos campos de inputs e os botões de reset e execução da interface, já a direita encontra-se um espaço para o display da resposta do projeto e para o gráfico de comportamento de uma das amostras do processo.

Figura 13 – Esboço inicial da interface

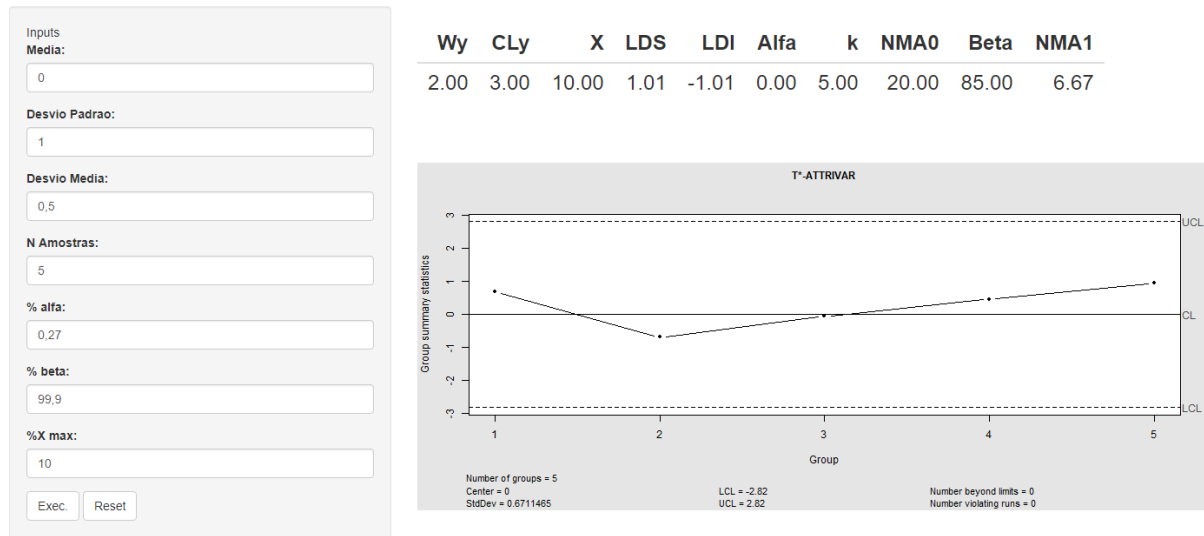


Fonte: Produção do próprio autor.

A partir da utilização do pacote Shiny foi possível desenvolver essa interface utilizando o esboço como um guia para distribuição das diferentes partes.

Figura 14 – Interface desenvolvida

Simulador para grafico de controle T*-ATTRIVAR

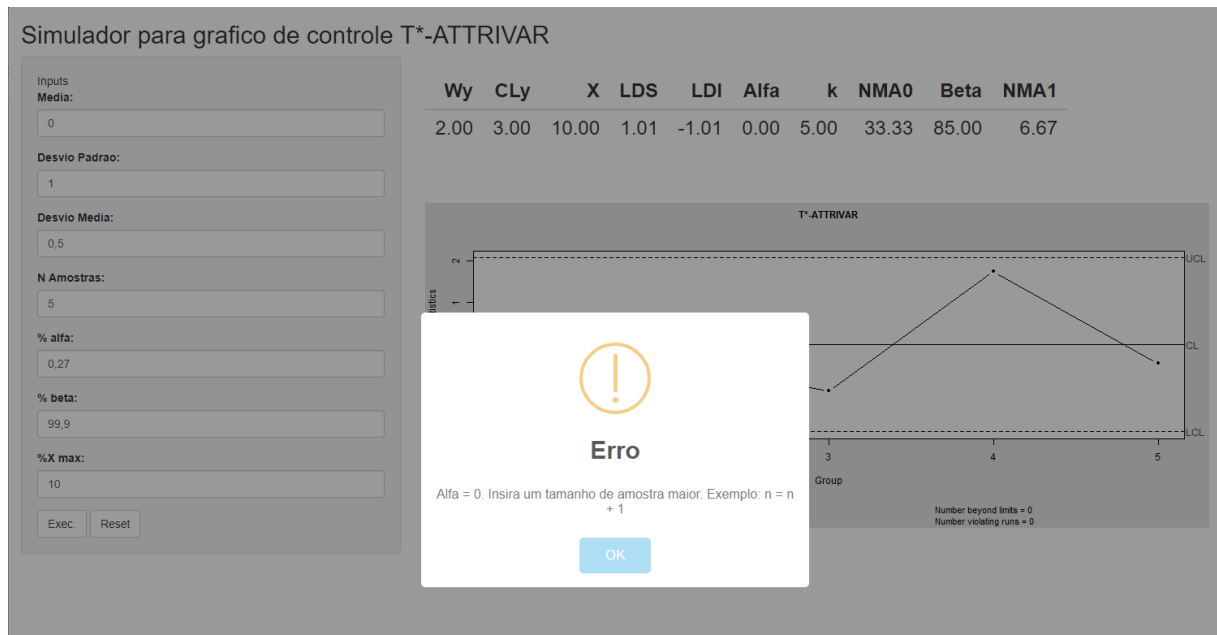


Fonte: Produção do próprio autor.

Como é possível observar na Figura 14, temos valores pré-estabelecidos na área de inputs de forma a garantir que todas as variáveis serão preenchidas mesmo se esquecidas pelo usuário, enquanto os outputs gerados pelos cálculos matemáticos na programação acabam por serem apresentados em uma única linha acima. Abaixo dos outputs é preenchido o gráfico para a demonstração do comportamento da amostra sorteada.

Além disso visando um possível erro caso o projeto do usuário não seja satisfeito pelos inputs escolhidos por ele foi criado um botão de alerta para a inserção do incremento de um valor n de amostras ajustado.

Figura 15 – Alerta da Interface



Fonte: Produção do próprio autor.

O funcionamento da interface se dá da seguinte forma: após o usuário determinar os inputs a serem utilizados pela interface o cálculo matemático será inicializado ao clicar-se no botão *Exec.* O tempo de execução dos cálculos pela interface varia de acordo com as especificações da máquina utilizada pelo usuário e dos parâmetros de entrada utilizados.

Após o fim da execução do programa o melhor projeto encontrado será projetado pela interface no canto superior direito, em caso do projeto desejado pelo usuário não for passível de realização será projetado uma resposta com α igual a zero e será emitido um alerta para realização de um ajuste no tamanho n da amostra pelo usuário.

Mesmo com o projeto não sendo bem sucedido será projetado um gráfico de controle para exibição do comportamento de uma amostra aleatória do processo com seus devidos limites.

4 CONCLUSÃO

4.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS E RESPOSTAS ÀS QUESTÕES DE PESQUISA

Ao fim do trabalho é possível concluir que o objetivo principal do estudo foi cumprido, visto que durante a sua produção foi criada uma interface capaz de fornecer o dimensionamento dos limites para o gráfico de controle T*-ATTRIVAR, a partir de valores inseridos pelo usuário para um determinado processo produtivo.

Durante a criação da interface também foi possível garantir o cumprimento dos objetivos específicos, visto que a lógica computacional permite a obtenção do número médio de amostras até o alerta, os limites de controle por atributo e por variável, apesar dos limites de controle por variável não serem disponibilizados no resultado final por não serem fixos, e os limites discriminantes, sendo todos esses outputs gerados a partir de parâmetros de restrição inseridos pelo usuário.

Além disso, a interface desenvolvida para utilização do usuário também fornece como resposta a melhor combinação para o funcionamento do gráfico de controle Trinomial ATTRIVAR*.

Apesar de durante o processo de realização desse trabalho não ter sido possível aplicar o gráfico Trinomial ATTRIVAR* em um processo produtivo real, todas as variáveis para a utilização dele estão consideradas na lógica computacional da interface.

Junto a isso também foi possível criar um gráfico de controle personalizado na interface, que é gerado de acordo com uma amostra aleatória do processo simulado, dessa maneira demonstrando ao usuário como o processo se comportou durante a etapa de inspeção por atributo.

4.2 SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DO TRABALHO

Este estudo possui espaço para melhorias na frente de programação, visto que é necessário a observação da possibilidade de diminuição do percentual de variação dos projetos comparados e a redução do tempo de processamento para realização de todas as simulações.

Como forma de continuidade desse trabalho, recomenda-se avaliar a utilização e teste do gráfico T*-ATTRIVAR em um processo produtivo real de forma a melhor definir suas restrições e resultados.

REFERÊNCIAS

- AMIRI, A.; ALLAHYARI, S. Change point estimation methods for control chart postsignal diagnostics: a literature review. **Quality and Reliability Engineering International**, Chinchester, v. 28, n. 7, p. 673–685, 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/qre.1266?src=getftr>. Acesso em: 21 maio 2021.
- APARISI, F.; HO, L. L. M-ATTRIVAR: an attribute-variable chart to monitor multivariate process means. **Quality and Reliability Engineering International**, Chinchester, v. 34, p. 214–228, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/qre.2250?src=getftr>. Acesso em: 25 maio 2021.
- ASLAM, M.; AZAM, M.; KHAN, N.; JUN, C.H. A mixed control chart to monitor the process. **International Journal of Production Research**, London, v. 53, p. 4684-4693, 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2015.1031354?scroll=top&needAccess=true>. Acesso em: 03 jun. 2021.
- COSTA, A.F.B.; EPPRECHT E.K.; CARPINETTI, L.C.R. **Controle estatístico de qualidade**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2005.
- COSTA, A.F.B. **Gráficos de controle de shewhart**: duas décadas de pesquisa. 2007. Tese (Livre-Docência em Engenharia de Qualidade) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/116107>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- COSTA, A. F. B.; FARIA NETO, A. Monitoring the process mean with an ATTRIVAR chart. **Communications in Statistics: theory and method**, New York, v.47, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03610926.2020.1828463>. Acesso em: 21 maio 2021.
- COSTA, A.F.B.; MACHADO, M.A.G. A side-sensitive chart combined with a VSS $\bar{X}$ chart. **Computers and Industrial Engineering**, New York, v. 91, p. 205-214, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835215004040?via%3Dihub>. Acesso em: 03 jun. 2021.
- HO, L. L.; APARISI, F. ATTRIVAR: optimized control charts to monitor process mean with lower operational cost. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 182, p. 472-483, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527316302420?pes=vor>. Acesso em: 02 jun. 2021.
- HO, L. L.; QUININO, R. C. An attribute control chart for monitoring the variability of a process. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 145, p. 263-267, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527313002107?pes=vor>. Acesso em: 02 jun. 2021.

HO, L. L.; QUININO, R. C. Combining attribute and variable data to monitor process variability: MIX S2 control chart. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, London, v. 87, p. 3389-3396, 2016. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-016-8702-5?utm_source=getftr&utm_medium=getftr&utm_campaign=getftr_pilot. Acesso em: 25 maio 2021.

KOTHARI, C.; GARG, G. **Research methodology: methods and techniques**. 3. ed. Nova Deli: New Age, 2014.

LEONI, R. C.; COSTA, A. F. B. The shewhart attribute chart with alternated charting statistics to monitor bivariate and trivariate mean vectors. **Computers and Industrial Engineering**, New York, v. 122, p.273–282, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835218302754?pes=vor>. Acesso em: 21 maio 2021.

LEONI, R.C.; COSTA, A.F.B. The performance of the truncated mixed control chart. **Communications in Statistics: theory and methods**, New York, v. 48, p. 4294-4301, 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03610926.2018.1494284>. Acesso em: 12 jun. 2021.

MACHADO, M. A. G.; HO, L. L.; COSTA, A. F. B. Attribute control charts for monitoring the covariance matrix of bivariate processes. **Quality and Reliability Engineering International**, Chinchester, v. 34, n. 2, p. 257–264, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/qre.2253?src=getftr>. Acesso em: 14 jun. 2021.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. 6. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

PRODANOV, C.C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013.

SAMPAIO, E.S.; HO, L.L.; MEDEIROS, P.G. A combined $npx-\bar{X}$ control chart to monitor the process mean in a two-stage sampling. **Quality and Reliability Engineering International**, Chinchester, v. 30, p. 1003–1013, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/qre.1528?src=getftr>. Acesso em: 21 maio 2021.

SHINY. **Shiny from RStudio**. 2020. Disponível em: <https://shiny.rstudio.com/>. Acesso em: 25 jun. 2021.

SIMÕES, F. D.; COSTA, A. F. B.; MACHADO, M. A. G. The Trinomial ATTRIVAR control chart. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 224, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527319303937?pes=vor>. Acesso em: 22 jun. 2021.

APÊNDICE A – CÓDIGO COMPUTACIONAL EM LINGUAGEM R

```

library(shiny)
library(qcc)
library(shinyalert)

ui <- fluidPage(

  titlePanel("T*-ATTRIVAR Control Chart Simulator"),

  sidebarLayout(

    sidebarPanel("Inputs",

      numericInput(inputId = "med", label = "Media:", value = 0, min = 0),
      numericInput(inputId = "desvpad", label = "Desvio Padrao:", value = 1,
        min = 0),
      numericInput(inputId = "delta", label = "Desvio Media:", value = 0.5, min = 0,
        max = 2, step = 0.25),
      numericInput(inputId = "n", label = "NÂ° Amostras:", value = 5, min = 0,
        max = 10, step = 1),
      numericInput(inputId = "alfa", label = "% alfa:", value = 0.27, min = 0,
        step = 0.1),
      numericInput(inputId = "beta", label = "% beta:", value = 99.9, min = 0,
        step = 0.1),
      numericInput(inputId = "xp_inp", label = "%X max:", value = 10, min = 0),

      actionButton("exec", "Exec."),
      actionButton("reset", "Reset")

    ),

    mainPanel(
      tags$h3(tableOutput('saida')),

```

```

tags$br(),
tags$br(),
tags$h4(plotOutput('plot1'))

)

)

)

server <- function(input, output){

  out <- reactiveValues(data = NULL)
  sai <- reactiveValues()

  observeEvent(input$exec,
    {
      output$saida <- renderTable({
        n <- input$n
        xp_inp <- input$xp_inp
        med <- input$med
        desvpad <- input$desvpad
        alfa <- input$alfa
        beta <- input$beta
        delta <- input$delta

        random <- 0
        random2 <- 0
        vec <- 0
        tabfin <- 0
        betawar <- 0

        w <- 0
        cl <- 0

```

```

wy <- 0
cly <- 0
cont1 <- 0
k <- 2
amostragem <- 0
controle <- 0
alerta <- 0

comb <- matrix(0,2,1)
names <- c("Wy","CLy")
row.names(comb) <- names

LDSi <- med+desvpad
LDli <- med-desvpad

for (wy in 1:floor(n/2)){

  for(cly in ceiling(n/2):n){

    cont1 <- cont1+1
    w[c(cont1)] <- wy
    cl[c(cont1)] <- cly

    if( w[c(cont1)] == cl[c(cont1)]){

      w[c(cont1)] <- NA
      cl[c(cont1)] <- NA
      cont1 <- cont1-1

    }
  }
}

comb <- rbind(w,cl)

```

```

LDS <- rep(LDSi,cont1)
LDI <- rep(LDIi,cont1)

cont2 <- 1
YA <- 0
YB <- 0
YAB <- 0
sim <- 1
SEG <- 0
simulado <- 0

my_matrix <- list()
matriz_segamostra <- 0
vetor_xp <- rep(NA, cont1)

for(cont2 in 1:cont1){

  wy_armazem <- w[cont2]
  cly_armazem <- cl[cont2]
  xp_set <- 100

  while( xp_set > xp_inp) {

    while(simulado < 10000) {

      while(sim < n+1){

        dados <- rnorm(1, mean = med, sd = desvpad)
        amostragem[sim] <- dados

        if(amostragem[sim] < LDI[cont2]){

          YA <- YA + 1

```

```

    }

    if(amostragem[sim] > LDS[cont2]){

        YB <- YB + 1

    }

    if(amostragem[sim]>=LDI[cont2] & amostragem[sim]<=LDS[cont2]) {

        YAB <- YAB + 1

    }

    sim <- sim+1

}

matriz_segamostra <- cbind(amostragem, matriz_segamostra)

sim <- 1

if(YA > 0 && YB > 0){

    controle <- controle + 1

} else if (YA == 0 && YB < wy_armazem || YA < wy_armazem && YB ==
0){

    controle <- controle + 1

} else if (YA == 0 && YB >= cly_armazem || YA >= cly_armazem && YB ==
0){

```

```

    alerta <- alerta + 1

  } else {

    SEG = SEG + 1

  }

  simulado = simulado + 1
  YA <- 0
  YB <- 0
  YAB <- 0
  dados <- 0
  amostragem <- 0

}

xp_set <- (SEG/simulado)*100
LDS[cont2] <- LDS[cont2] + 0.001
LDI[cont2] <- -LDS[cont2]
if (xp_set > xp_inp){
  matriz_segamostra <- 0
} else {
  my_matrix[[cont2]] <- matriz_segamostra
  matriz_segamostra <- 0
}
simulado <- 0
controle <- 0
alerta <- 0
SEG <- 0

}

```



```

vetor_xp[c(cont2)] <- xp_set
wy_armazem <- 0
cly_armazem <- 0
cont2 = cont2+1

}

matriz_atb <- rbind(comb,vetor_xp,LDS,LDI)


vet_var1 <- 0
vet_alfa <- rep(0, cont1)
vet_k <- rep(0, cont1)
vet_nma0 <- rep(0, cont1)
LSC <- rep(0, cont1)
LIC <- rep(0, cont1)
p <- 1

NMA0 <- 0
contsepam <- 1
setp <- cont1
vetsegetapa <- 0

for (p in 1:setp){

  wy_var <- matriz_atb["w", p]
  cly_var <- matriz_atb["cl",p]
  matrizcont <- my_matrix[[p]]
  alfa_sim <- 100

  while(alfa_sim > alfa) {

    for (i in 1:(ncol(matrizcont)-1)){

```

```

for (j in 1:nrow(matrizcont)){

  if(matrizcont[j,i] < LDI[p]){

    YA <- YA + 1
    vetsegetapa[contsepam] <- matrizcont[j,i]
    contsepam = contsepam + 1

  }

  if(matrizcont[j,i] > LDS[p]){

    YB <- YB + 1
    vetsegetapa[contsepam] <- matrizcont[j,i]
    contsepam = contsepam + 1

  }

  if(matrizcont[j,i] >= LDI[p] & matrizcont[j,i] <= LDS[p]) {

    YAB <- YAB + 1

  }

}

LSC <- (med + desvpad*(k/sqrt(contsepam-1)))
LIC <- (med - desvpad*(k/sqrt(contsepam-1)))

if(YA > 0 && YB > 0){

  controle <- controle + 1

```

```

} else if (YA == 0 && YB < wy_var || YA < wy_var && YB == 0){

  controle <- controle + 1

} else if (YA == 0 && YB >= cly_var || YA >= cly_var && YB == 0 ){

  alerta <- alerta + 1

} else {

  SEG = SEG + 1

  if(mean(vetsegetapa) < LIC || mean(vetsegetapa) > LSC){

    alerta <- alerta + 1

  } else {

    controle <- controle + 1

  }

}

YA <- 0
YB <- 0
YAB <- 0
vetsegetapa <- 0
contsepam <- 1

}

alfa_sim <- (alerta/(ncol(matrizcont)-1))*100

```

```

k <- (k + 0.001)

if(k > 5) {
  alfa_sim <- 0
}

NMA0 <- (ncol(matrizcont)-1)/alerta
controle <- 0
alerta <- 0
SEG <- 0

}

vet_k[p] <- k
vet_alfa[p] <- alfa_sim
vet_nma0[p] <- NMA0
alfa_sim <- 100
k <- 2

}

vet_var1 <- rbind(matriz_atb, vet_alfa, vet_k, vet_nma0)

p <- 1

contsepam <- 1
setp <- cont1
vetsegetapa <- 0
NMA1 <- 0

vet_beta <- rep(0, setp)
vet_nma1 <- rep(0, setp)
beta_sim <- 100

```

```

for (p in 1:setp){

  wy_var <- matriz_atb["w", p]
  cly_var <- matriz_atb["cl",p]

  while(beta_sim > beta) {

    NMA <-0
    alerta <- 0

    while (simulado < 10000){

      while (sim < n + 1){

        dados <- rnorm(1, mean = (med + delta*desvpad), sd = desvpad)
        amostragem[sim] <- dados

        if(amostragem[sim] < LDI[p]){

          YA <- YA + 1
          vetsegetapa[contsepam] <- amostragem[sim]
          contsepam = contsepam + 1

        }

        if(amostragem[sim] > LDS[p]){

          YB <- YB + 1
          vetsegetapa[contsepam] <- amostragem[sim]
          contsepam = contsepam + 1

        }

```

```

if(amostragem[sim] >= LDI[p] & amostragem[sim] <= LDS[p]) {

  YAB <- YAB + 1

}

sim = sim + 1
}

sim <- 1

LSC <- (med + desvpad*(vet_k[p]/sqrt(contsepam-1)))
LIC <- (med - desvpad*(vet_k[p]/sqrt(contsepam-1)))

if(YA > 0 && YB > 0){

  controle <- controle + 1

} else if (YA == 0 && YB < wy_var || YA < wy_var && YB == 0){

  controle <- controle + 1

} else if (YA == 0 && YB >= cly_var || YA >= cly_var && YB == 0 ){

  alerta <- alerta + 1

} else {

  SEG = SEG + 1

  if(mean(vetsegetapa) < LIC || mean(vetsegetapa) > LSC){

    alerta <- alerta + 1
  }
}

```

```

    } else {

        controle <- controle + 1

    }

}

simulado <- simulado + 1
dados <- 0
amostragem <- 0
YA <- 0
YB <- 0
YAB <- 0
vetsegetapa <- 0
contsepam <- 1

}

beta_sim <- ((simulado-alerta)/simulado)*100
NMA1 <- simulado/alerta
simulado <- 0
controle <- 0
alerta <- 0
SEG <- 0

}

vet_beta[p] <- beta_sim
vet_nma1[p] <- NMA1
beta_sim <- 100

}

```

```

vet_varf <- rbind(vet_var1, vet_beta, vet_nma1)

r <- 0
f <- 0

for (r in 1:setp){

  if(vet_varf["vet_alfa",r] == 0) {

    f <- r

  }

}

vet_varf <- vet_varf[,-f]

f <- which.min(vet_varf["vet_beta",])

vet_resposta <- rbind(vet_varf[,f])
names <- c("Wy", "CLy", "X", "LDS", "LDI", "Alfa", "k", "NMA0", "Beta",
"NMA1")

colnames(vet_resposta) <- names
random <- floor(runif(1, min = 1, max = cont2))
random2 <- floor(runif(1, min = 1, max = 10000))

vec <- my_matrix[[random]]
alfaw <- vet_resposta[, "Alfa"]

if(alfaw==0){
  shinyalert(
    title = "Erro",
    text = "Alfa = 0. Insira um tamanho de amostra maior. Exemplo: n = n + 1",

```



```

        type = "warning")
    }

    out$limit <- c(LDI[random],LDS[random])
    out$stabfin <- as.data.frame(vec[,random2])
    out$data <- vet_resposta

    })
  })

observeEvent(input$reset, {
  output$saida <- renderTable({
    out$data <- NULL
  })
})
output$saida <- renderTable({
  if(is.null(out$data)) return()
  out$data
})
output$plot1 <- renderPlot({
  if(is.null(out$stabfin)) return()
  plot <- qcc(out$stabfin, type = "xbar.one", title = "T*-ATTRIVAR", center = 0, limits =
out$limit, plot = TRUE)
})
}

shinyApp(ui = ui, server = server)

```