



CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO PARA O MONITORAMENTO DE PRODUTOS NÃO-CONFORMES NA FABRICAÇÃO DE BISCOITOS

Felipe Simões Cayres (Universidade Federal da Bahia (UFBA))

felipe.cayres@gmail.com

Bruno Permínio Tenório Santos (Universidade Federal da Bahia (UFBA))

perminio_bruno@hotmail.com

Angelo Marcio Oliveira Santanna (Universidade Federal da Bahia (UFBA))

angelo.santanna@ufba.br

Ava Santana Barbosa (Universidade Federal da Bahia (UFBA))

avasb@ufba.br

O controle estatístico de processos fornece informações essenciais para avaliar o desempenho de um processo, uma vez que permite investigar fatores críticos para a qualidade, diagnosticar possíveis não conformidades dos produtos, e sinalizar prováveis fontes de variabilidade, permitindo correções no processo. O presente trabalho tem como objetivo implementar as cartas de controle para monitoramento da fração de produtos não-conformes em uma indústria alimentícia de grande porte. Ademais, foi realizado um estudo comparativo com as cartas de controle abordadas na literatura e analisado o desempenho operacional. Foram coletados dados do peso do produto da etapa de forneamento do processo de fabricação de biscoitos e calculadas as estimativas estatísticas, os limites das cartas de controle e os índices de capacidade do processo. Foram aplicadas cartas de controle para monitoramento da fração de produtos não-conformes para detecção de alterações na razão entre os pesos do produto, com o valor de average run length aceitável. Os resultados obtidos demonstram que a carta de controle com distribuição Beta possui uma maior sensibilidade na detecção de alterações de não-conformidades dos produtos em comparação as outras carta de controle para atributos. A análise de desempenho e da capacidade do processo estão aderentes aos resultados dos indicadores de qualidade da empresa, entretanto, a utilização de uma carta de controle mais robusta para o monitoramento permite um melhor diagnóstico do processo.

Palavras-chave: Controle estatístico de processo, cartas de controle, produtos não-conformes, industria alimentícia.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos seis anos a indústria de alimentos brasileira cresceu 81% e o faturamento em 2020 foi de 497,3 bilhões de reais (ABIA, 2020), embora, quem lidera o ranking de faturamento é o setor de derivados da carne com 27%. A indústria de biscoitos, no qual esse artigo está inserido é responsável por 4,4%. O Brasil é o 4º maior produtor de biscoitos do mundo, perdendo apenas para China, Estados Unidos e Índia nessa ordem (ABIMAPI, 2016). Para se manter entre os maiores produtores, as indústrias de alimentos buscam melhorar seus produtos e otimizar seus meios de produção, se tornando mais competitivas. Um dos principais fatores neste caminho para oferecer maior competitividade é a gestão da qualidade, com investimento em tecnologia e melhoria dos processos produtivo, como a implementação do Controle Estatístico do Processo (SANTOS & ANTONELLI, 2011).

Segundo Montgomery (2016), a qualidade está relacionada a menor variabilidade do processo e do produto. Ou seja, quanto menor a variabilidade, mais estável é o processo produtivo, evitando retrabalho e reduzindo custos. Como é possível verificar na definição de qualidade, um processo de produção com menos variabilidade propicia níveis melhores de qualidade nos resultados da produção e redução de custos (COSTA *et al.*, 2008). O controle estatístico do processo (CEP) apresenta ferramentas para estabelecer a estabilidade e melhoria no processo, que são usadas para o monitoramento e detecção de alterações na características de qualidade do produto, diminuir desperdícios e aumentar a produtividade. Esse aumento na produtividade significa minimizar as variações nas especificações dos produtos. Lim & Antony (2013) verificou que a utilização do controle estatístico de processo proporciona os seguintes benefícios: redução da variabilidade, redução de custo, diagnóstico preventivo, aumento de conhecimento, melhoria na tomada de decisão, aumento da satisfação dos consumidores, crescimento do negócio, predição do comportamento do processo, aumento da confiança do consumidor e redução de desperdício.

A negligência no monitoramento das características de qualidade em um processo produtivo acarretará custos relativos a falhas. Por isso, é necessário detectar um potencial de produtos não-conformes, pois menores serão os custos procedentes da má qualidade, poupando relevantes recursos para empresa. Em processos produtivos, em especial no processo de fabricação de biscoitos, são vários os defeitos que podem surgir de uma causa especial atuando no processo. As causas especiais geram alteração na média da característica de qualidade, produzindo variações em níveis inaceitáveis (MONTGOMERY, 2016).

O presente trabalho tem como objetivo implementar as cartas de controle para monitoramento da fração de produtos não-conformes em uma indústria do ramo de alimentos de grande porte, comparando com as cartas abordadas na literatura e analisando seus desempenhos operacionais.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Controle Estatístico de Processo

O controle estatístico de processo possui um conjunto de ferramentas aplicadas para analisar a variabilidade e o padrão do comportamento do processo, tornando-o possível de monitorar. De acordo com Pires (2000), o CEP utiliza cartas de controle de processo que auxilia na identificação de causas comuns ou especiais em um processo. Ribeiro & Caten (2012) destacam que a avaliação e a redução sistemática da variabilidade do processo, contribui para a melhoria contínua e resultados de alta confiabilidade. De acordo com Santos & Antonelli (2011), através da utilização do CEP é possível obter excelentes resultados, ao apontar que esta ferramenta pode ser aplicada em todas as etapas do processo, e assim é possível monitorar a qualidade constantemente, além de identificar variáveis desestabilizadoras. A utilização dessa ferramenta é uma vantagem devido à facilidade de uso e operação, além do baixo custo de implantação, necessitando apenas de um *software* para facilitar a tabulação dos dados (SILVA *et al.* 2016). As cartas de controle podem ser utilizadas para avaliar tanto variáveis quanto atributos. Variáveis são aspectos possíveis de serem quantificados, representados de forma numérica como resistência mecânica, tempo de espera, etc. Atributos, são itens que devem ser classificados como conformes ou não conformes de acordo com alguma especificação pré-definida, então se faz a análise do número de itens que não atenderam a especificação, sendo classificada como aprovado/reprovado, funciona/não funciona (COSTA *et al.*, 2008).

Alencar (2007) aponta as cartas de controle são gráficos temporais que apresentam valores de medição da variável de interesse no eixo vertical e os pontos no tempo nos quais as medições são efetuadas no eixo horizontal. Este gráfico apresenta uma linha central (LC), assim como limite inferior de controle (LIC) e limite superior de controle (LSC), de forma que os limites serão em $\mu \pm 3\sigma$, que são chamados de limites 3σ . Os dados contidos entre estes limites têm um intervalo de confiança de 99,73%, de forma que a probabilidade do erro conhecido como erro tipo I (processo dito fora de controle devido a um falso alarme, quando na verdade está sob controle) acontecer é de $\alpha = 0,27\%$ (MONTGOMERY, 2016). Caso alguma medição ultrapasse os limites, o processo é tido como fora de controle, fazendo-se necessário analisar as possíveis causas e intervir de forma a manter o processo controlado.

2.2. Cartas de Controle para Fração de Não-Conformes

As cartas de controle p e a np são as principais ferramentas do CEP para monitorar características de qualidade do tipo atributos. Para que seja realizada a aplicação das cartas de controle, os parâmetros observados devem seguir a distribuição de probabilidade Normal. Entretanto, as cartas de controle para atributos seguem a distribuição Binomial, e a aproximação pela distribuição Normal é indicada quando os parâmetros são $np \geq 10$ e $0,1 \leq p \leq 0,9$ (XIE *et al.*, 2002). Fora deste intervalo de valores para os parâmetro, a aplicação não é indicada devido a assimetria da distribuição Binomial e a aproximação para a distribuição Normal gera estimativa de valores negativos ou maiores que 1 (MONTGOMERY, 2016).

O grande fator limitante da Carta p está na aplicação quando a fração de produtos não-conformes é pequena, e é uma situação bastante comum em processos produtivos com alto nível de qualidade. Quando isto ocorre, há uma assimetria na distribuição dos dados que é Binomial, de forma que as tentativas de analisar o valor de p com limites de controle simétricos irá disparar diversos alarmes falsos, dada a discrepância entre a forma da distribuição dos dados e a distribuição Normal (JOEKES *et al.*, 2015). Outra limitação das cartas p é calcular limites de controles que extrapolem o intervalo $[0,1]$, o que prejudica a detecção de variações nas características estudadas (BERMISIS *et al.* 2014).

Com objetivo de aprimorar o desempenho das Cartas p propostas por Shewhart (1924) quando utilizadas em processos que produzam frações de produtos não-conformes pequenas e de alta qualidade, alguns autores propuseram novas abordagens (ver Tabela 1). Chen (1998) utilizou a correção assintótica de primeira ordem de Cornish-Fisher, e assim foi possível atingir limites de controle equivalentes aos obtidos com base na distribuição Binomial exata, conforme Equações (3) e (4). Laney (2002) elaborou uma carta de controle p que tornou possível considerar os efeitos da variação do tamanho dos subgrupos. Este gráfico não considera apenas a variação dentro do subgrupo ou entre subgrupos, utiliza toda a variação dos dados, conforme Equações (5) e (6). Wang (2009) utilizou um intervalo de confiança ajustado proposto por Agresti-Collum para construir uma região de controle aprimorada. O intervalo proposto permitiu reduzir o erro tipo I quando a fração de não-conformes é pequena, conforme Equações (7) e (8).

Sant’Anna & Caten (2012) verificaram que a aproximação da distribuição Binomial para a distribuição Normal é inapropriada para pequenos valores de p , e propuseram a carta de controle Beta, que se baseia na distribuição de probabilidade Beta. Em comparação com outras três cartas que seguem a aproximação pela distribuição Normal, os resultados mostraram

superioridade da carta de controle Beta em monitorar a distribuição assimétrica dos dados comumente encontrada em cenários industriais, conforme Equações (9) e (10). Joeques & Barbosa (2013) investigaram a correção da Carta p utilizando dois ajustes pela correção assintótica de Cornish-Fisher, dando continuidade ao estudo de Chen (1998). Os autores relataram que o processo foi utilizado com intuito de melhorar a aproximação pela distribuição normal corrigindo a não-normalidade na assimetria, conforme Equações (11) e (12).

As equações apresentadas na Tabela 1 permitem calcular os limites de controle das respectivas cartas de controle para fração de produtos não-conformes propostas na literatura, sendo: n o tamanho da amostra; \bar{p} média das frações; w , w_1 , w_2 constantes que definem a largura dos limites de controle; \tilde{x} e \tilde{n} são valores calculados utilizando k e α .

Ano	Autor	Periódico	Limites
1924	Shewhart	<i>Technical Journal</i>	1) $LIC = \bar{p} - w \cdot \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$ 2) $LSC = \bar{p} + w \cdot \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
1998	Chen	<i>Journal of Quality Technology</i>	3) $LIC = \bar{p} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n} + \frac{4(1-2\bar{p})}{3n}}$ 4) $LSC = \bar{p} + 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n} + \frac{4(1-2\bar{p})}{3n}}$
2002	Laney	<i>Quality Engineering</i>	5) $LIC = \bar{p} - 3\sigma_{pi}\sigma_z$ 6) $LSC = \bar{p} + 3\sigma_{pi}\sigma_z$
2009	Wang	<i>Computational Statistics and Data Analysis</i>	7) $LIC = \frac{\tilde{x}}{\tilde{n}} - k \frac{\sqrt{\tilde{x}(1-\frac{\tilde{x}}{\tilde{n}})}}{\tilde{n}}$ 8) $LSC = \frac{\tilde{x}}{\tilde{n}} + k \frac{\sqrt{\tilde{x}(1-\frac{\tilde{x}}{\tilde{n}})}}{\tilde{n}}$
2012	Sant'Anna & Caten	<i>Expert Systems with Applications</i>	9) $LIC = \bar{p} - w_1 \sqrt{s^2(\bar{p})}$ 10) $LSC = \bar{p} - w_2 \sqrt{s^2(\bar{p})}$
2013	Joeques & Barbosa	<i>Control Engineering Practice</i>	11) $LIC = LIC_3 - \frac{[p(1-p)+2]}{6n^2[p(1-p)/n]^{1/2}}$ 12) $LSC = LSC_4 + \frac{[p(1-p)+2]}{6n^2[p(1-p)/n]^{1/2}}$

Tabela 1 – Cartas de controle e suas respectivas equações

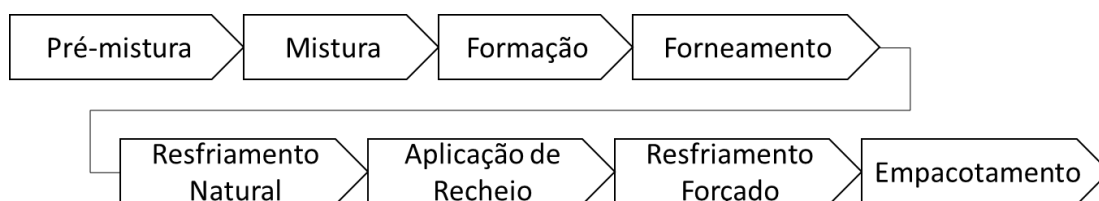
2.3. Análise de Sensibilidade

Para avaliar a sensibilidade e o desempenho das cartas de controle em detectar alterações no processo, geralmente é utilizando o método conhecido como tamanho médio de amostra, do inglês *Average Run Length* (ARL) (MONTGOMERY, 2016). Basicamente, o valor do ARL representa a média do número de pontos que deve ser plotado até que se tenha uma indicação de processo fora de controle (COSTA *et al.*, 2008). Para o processo sob controle, calcula-se ARL_0 , que utiliza a probabilidade de ocorrência do erro tipo I (α), de forma que $ARL_0 = \frac{1}{\alpha}$, onde $\alpha = 1 - P(LCI \leq x \leq LCS | P = P_0)$, e P_0 é média da variável para o processo sob controle. Quando o processo está fora de controle, calculamos ARL_1 até que uma verdadeira causa especial seja identificada, utilizando a probabilidade de ocorrência do erro tipo II (β), que é a probabilidade de a carta de controle não identificar uma mudança no processo fora de controle. Assim, o $ARL_1 = \frac{1}{1-\beta}$, onde $\beta = P(LCI \leq x \leq LCS | P = P_1)$ com $P_1 = P_0 + \lambda$, onde λ é a mudança introduzida no processo e P_1 é média da variável para o processo fora de controle (LIZARELLI *et al.*, 2016). Para cartas com ARL_0 equivalentes, aquele com menor (ARL_1) será considerado o melhor. Um pequeno valor de (ARL_1) indica uma menor quantidade de amostras coletadas para uma correta detecção de mudanças nas características monitoradas (SANT’ANNA & CATEN, 2012).

3. ESTUDO DE CASO

O processo de fabricação de biscoitos é semicontínuo, ocorrendo na etapa da masseira a produção de bateladas de massa e as fases posteriores são intermitentes (ver Figura 1). Até a etapa de Aplicação de Recheio ocorre o processo de estruturação do biscoito, onde é possível alterar características como: comprimento, largura, espessura e peso, indispensáveis para uma boa performance do processo de embalagem na etapa de Empacotamento.

Figura 1 – Fluxograma do processo de fabricação de biscoitos



Fonte: Autor (2018)

Para gerenciar as etapas desse processo de fabricação são utilizados indicadores operacionais. Os indicadores são divididos em: disponibilidade, qualidade e performance. O biscoito considerado para o trabalho foi do tipo tortinha produzido por uma indústria alimentícia de grande porte (ver Figura 2a). Os dados foram coletados in situ a partir da retirada de amostras a cada quinze minutos na etapa de Forneamento do processo de fabricação do biscoito. O parâmetro de análise deste estudo foi o peso cru e peso assado do biscoito, aferida por uma balança digital de alta precisão (ver Figura 2b). Ademais, foi mensurado a espessura do biscoito, aferida por um paquímetro digital (ver Figura 2c). Os dados do perfil técnico para uma melhor performance da embalagem são 25 biscoitos com 8,8mm de espessura e 40mm de diâmetro cada.

Os dados em estudo são de um processo produtivo de biscoitos onde investigou-se a razão do peso entre os biscoitos assados e crus, $p = \frac{\text{peso biscoito assado (g)}}{\text{peso biscoito cru (g)}}$. A característica de qualidade monitorada neste estudo foi a razão entre os pesos assado e cru (p), e observado a perda de peso acima da especificação no processo de cozimento.

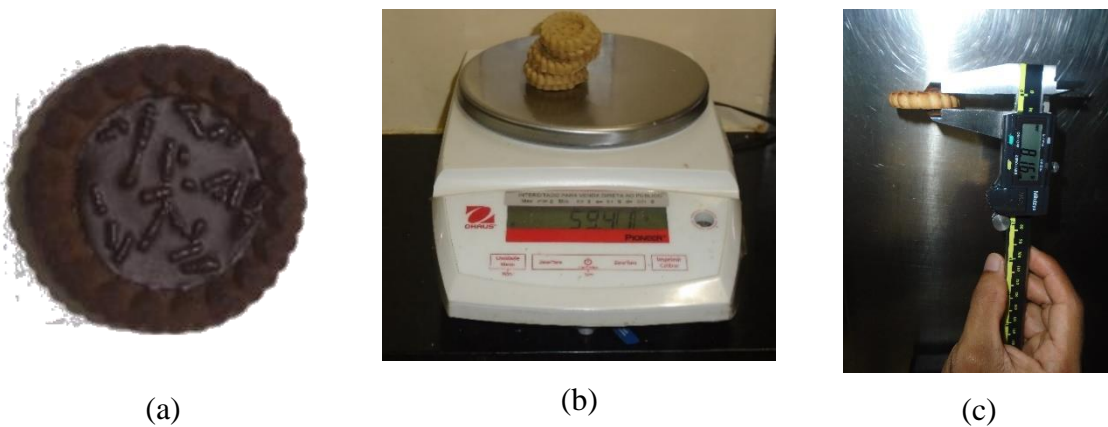


Figura 2 – Biscoito do tipo tortinha (a), Balança digital (b) e Paquímetro digital (c).

Após o levantamento dos dados realizado pela operação foram analisado as estimativas dos parâmetros de mínimo, máximo, média, desvio-padrão e coeficiente de variação. Em seguida, as cartas de controle foram aplicadas e comparadas com os resultados obtidos para as perdas de qualidade. A Tabela 2 ilustra as estimativas estatísticas da razão entre os pesos dos biscoitos.

Variável	Mín.	Máx.	Média	Desvio	C.V
Razão peso (p)	0,8348	0,8883	0,8572	0,00791	0,923%

Tabela 2 – Sumário estatístico da variável razão do peso (p)

3.1. Monitoramento do processo de fabricação

Neste trabalho foram utilizadas 06 (seis) cartas de controle propostos por Shehwart (1924), Chen (1998), Laney (2002), Wang (2009), Sant’Anna & Caten (2012) e Joekes & Barbosa (2013) para monitorar a razão entre o peso assado e peso cru (p) de um processo de fabricação de biscoitos do tipo tortinha. Todas as cartas de controle foram calculadas para a probabilidade de ocorrer falso alarmes de $\alpha=0,0027$ (Erro tipo I). O valor da constante w adotado para o cálculo dos limites de controle das cartas de Shewhart (1924), Chen (1998), Laney (2002) e Joekes & Barbosa (2013) foi $w = 3$, enquanto que, para a carta de Sant’Anna & Caten (2012) os valores das constantes w_1 e w_2 foram 3,2 e 2,8 respectivamente. A Tabela 3 apresenta os valores os limites de controle calculado utilizando as equações apresentadas na Tabela 2. A Figura 3 apresenta as cartas de controle para a razão entre o peso assado e peso cru.

Limites	<i>SHEW</i>	<i>CHEN</i>	<i>LANEY</i>	<i>J&B</i>	<i>WANG</i>	<i>S&C</i>
<i>LCI</i>	0,8103	0,8084	0,8128	0,8083	0,8107	0,8325
<i>LCS</i>	0,9042	0,9023	0,9065	0,9022	0,9037	0,8800

Tabela 3 – Estimativas dos Limites das Cartas de Controle analisadas para a variável *peso*

Fonte: Autor, 2021.

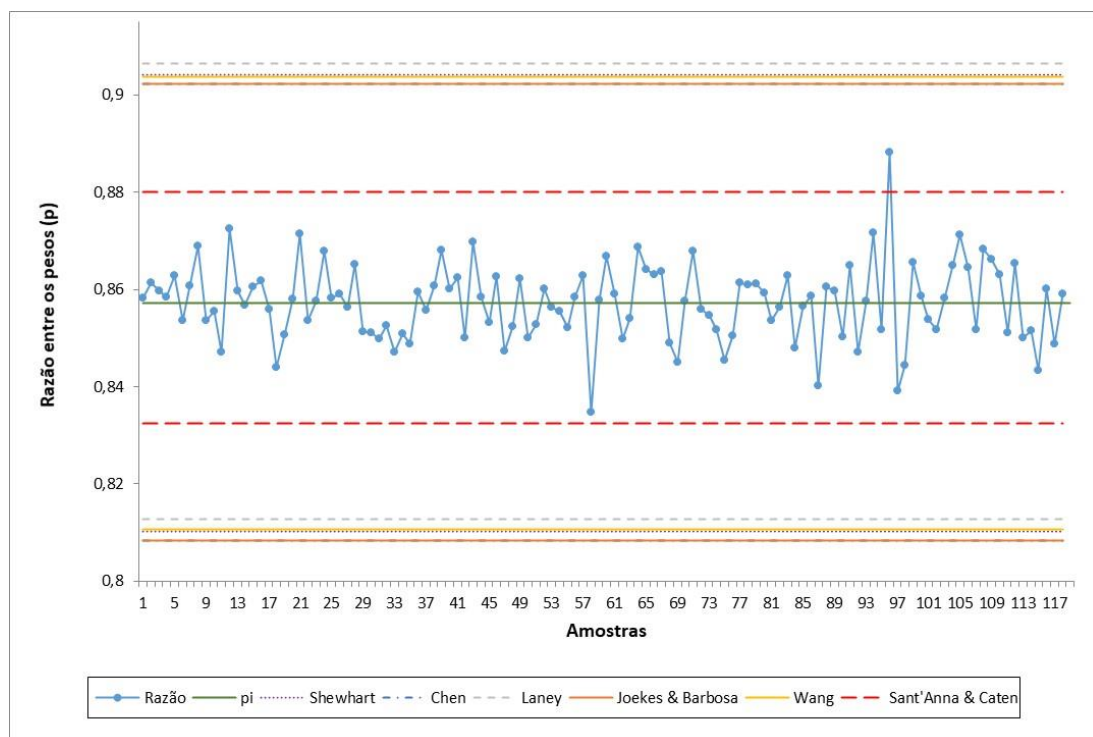


Figura 3 – Cartas de controle para monitoramento da razão entre o peso assado e peso cru.

Observa-se na Figura 3 que os limites de controle propostos por Shehwart (1924), Chen (1998), Laney (2002), Wang (2009) e Joeques & Barbosa (2013) apresentam amplitude e região de monitoramento similares. Enquanto que, os limites de controle propostos por Sant’Anna & Caten (2012) apresentam menor amplitude entre os limites e região de monitoramento mais restrito, correspondendo a pequena variação do processo ($dev\text{-}pad = 0,00791g$). Nota-se que, esta carta de controle demonstra maior sensibilidade detectando um ponto fora de controle. Esta comparação pode indicar superioridade da carta proposta por Sant’Anna & Caten (2012) em relação as demais. Assim, é possível verificar que esta carta proposta se mostra maior sensibilidade para monitorar a fração de produtos não-conformes.

A análise de capacidade do processo forneceu os índices de capacidade C_p de 1,53 e C_{pk} de 1,38, considerando os limites de especificação definidos por LIE (0,825g) e LSE (0,895g), estando aderentes aos resultados dos indicadores de qualidade da empresa (ver Figura 4).

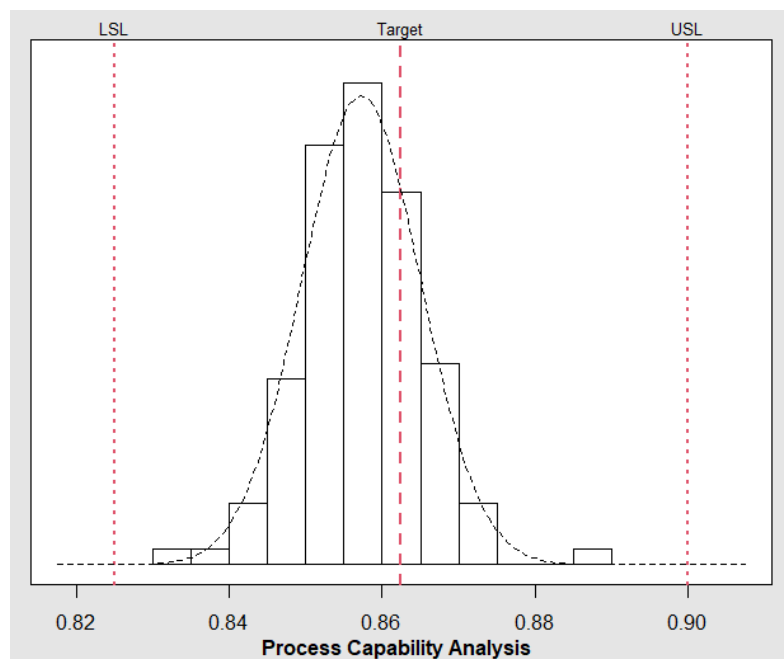


Figura 4 – Análise da capacidade do processo para razão entre o peso assado e peso cru.

3.2. Análise de Sensibilidade

Com intuito de comparar as cartas de controle foi realizada uma análise de sensibilidade calculando a ARL para diferentes valores de p para dois cenários diferentes, o processo sob controle e fora de controle. A análise de sensibilidade foi realizada utilizando o *software* R[®] (R, 2021). A Tabela 4 apresenta a sensibilidade das cartas de controle investigada para baixa fração de produtos não-conformes, como $p = 0,001$ e tamanho de amostra $n = 20$ e 50 .

Observa-se que os limites de controle propostos por Shewhart (1924), Chen (1998), Wang (2009) e J&B (2013) apresentaram desempenho similares para o processo sob controle (ARL_0), gerando alto número de alarmes falsos. Enquanto que, os limites propostos por Laney (2002) apresentaram resultados inconsistentes, não seguindo uma regularidade de desempenho. Os limites de controle propostos por Sant’Anna & Caten (2012) apresentou bom desempenho para o processo sob controle (ARL_0), e maior sensibilidade para detectar falsos alarmes (ARL_1), em comparação com as outras cartas.

Os resultados na Tabela 4 ilustram o problema das cartas de controle com aproximação pela distribuição Normal tem limites com amplitude mais estreitos e em alguns casos valores negativos, acarretando ARL_0 menor que 370. Ou seja, um falso alarme ocorre em média uma vez em cada 1/0,0027 ou 370 observações. Os limites de controle com aproximação pela distribuição Beta, se mostram mais aplicáveis em dados que possuem forma assimétrica. Em geral, os resultados numéricos indicam a importância de se considerar uma adequada distribuição dos dados para fração de produtos não-conformes, modelando-os corretamente.

	n 50						n 20					
	p	LCL	UCL	α	b	ARL	p	LCL	UCL	α	b	ARL
SHEW	0,001	-0,01241	0,01441	0,04879	-	20	0,001	-0,02020	0,02220	0,01981	-	50
	0,004	-0,02278	0,03078	-	0,81840	6	0,004	-0,03834	0,04634	-	0,92297	13
	0,010	-0,03221	0,05221	-	0,60501	3	0,010	-0,05675	0,07675	-	0,81791	5
	0,015	-0,03657	0,06657	-	0,46969	2	0,015	-0,06654	0,09654	-	0,73914	4
	0,020	-0,03940	0,07940	-	0,36417	2	0,020	-0,07391	0,11391	-	0,66761	3
CHEN	0,001	0,01420	0,04102	0,04879	-	20	0,001	0,04633	0,08874	0,01981	-	50
	0,004	0,00367	0,05723	-	0,18051	1	0,004	0,02779	0,11247	-	0,07413	1
	0,010	-0,00608	0,07835	-	0,98618	72	0,010	0,00859	0,14208	-	0,16523	1
	0,015	-0,01070	0,09244	-	0,96075	25	0,015	-0,00187	0,16121	-	0,96425	28
	0,020	-0,01380	0,10500	-	0,92157	13	0,020	-0,00991	0,17791	-	0,94010	17
LANEY	0,001	0,01259	0,03741	0,95239	-	1	0,001	0,04230	0,07970	0,98038	-	1
	0,004	0,00222	0,05378	-	0,16434	1	0,004	0,02416	0,10384	-	0,07413	1
	0,010	-0,00721	0,07521	-	0,91056	11	0,010	0,00575	0,13425	-	0,16523	1
	0,015	-0,01157	0,08957	-	0,82732	6	0,015	-0,00404	0,15404	-	0,96425	28
	0,020	-0,01440	0,10240	-	0,73577	4	0,020	-0,01141	0,17141	-	0,94010	17
J&B	0,001	-0,01564	0,01118	0,04879	-	20	0,001	-0,01564	0,00696	0,01981	-	50
	0,004	-0,01129	0,04227	-	0,81840	6	0,004	-0,01129	0,05331	-	0,92297	13
	0,010	-0,01560	0,06882	-	0,60501	3	0,010	-0,01560	0,10444	-	0,81791	5
	0,015	-0,01852	0,08462	-	0,46969	2	0,015	-0,01852	0,13032	-	0,73914	4
	0,020	-0,02060	0,09820	-	0,36417	2	0,020	-0,02060	0,15103	-	0,66761	3
WANG	0,001	-0,01564	0,01118	0,04879	-	20	0,001	-0,01564	0,01118	0,01981	-	50
	0,004	-0,01129	0,04227	-	0,81840	6	0,004	-0,01129	0,04227	-	0,92297	13
	0,010	-0,01560	0,06882	-	0,60501	3	0,010	-0,01560	0,06882	-	0,81791	5
	0,015	-0,01852	0,08462	-	0,46969	2	0,015	-0,01852	0,08462	-	0,73914	4
	0,020	-0,02060	0,09820	-	0,36417	2	0,020	-0,02060	0,09820	-	0,66761	3
BETA	0,001	0,00000	0,05001	0,00270	-	370	0,001	0,00000	0,09045	0,00270	-	370
	0,004	0,00000	0,07592	-	0,94705	19	0,004	0,00000	0,14371	-	0,96112	26
	0,010	0,00000	0,10032	-	0,84138	6	0,010	0,00000	0,18586	-	0,89750	10
	0,015	0,00000	0,11499	-	0,73808	4	0,015	0,00000	0,20809	-	0,84107	6
	0,020	0,00002	0,12763	-	0,62966	3	0,020	0,00000	0,22599	-	0,78282	5

Tabela 4 – Análise de sensibilidade (ARL) para as cartas de controle utilizadas no estudo para $n = 50$ e 20 .

4. CONCLUSÕES

Este artigo objetiva implementar as cartas de controle para monitoramento da fração de produtos não-conformes em uma indústria do ramo de alimentos de grande porte, comparando com as cartas abordadas na literatura e analisando seus desempenhos operacionais. Tal necessidade advém da dificuldade das cartas de controle propostas por Shewhart apresentarem baixo desempenho no monitoramento de processos que produzem baixa fração de produtos não-conformes e tamanho de amostras pequenos, acarretando grande quantidade de alarmes falsos.

O monitoramento da característica de qualidade razão entre o peso assado e peso cru do processo de fabricação de biscoitos do tipo tortinha utilizando seis cartas de controle propostas por Shewhart (1924), Chen (1998), Laney (2002), Wang (2009), Sant’Anna & ten Caten (2012) e Joekes & Barbosa (2013) permitiu um diagnóstico mais preciso do processo e uma avaliação das condições operacionais. Apesar de haver um acompanhamento por parte dos operadores na produção, não ocorre uma rotina de análise e monitoramento dos dados. Estes resultados corroboram com resultados descritos por Freitas *et al.* (2014), que avaliou o desempenho destas cartas de controle em um processo de fabricação de embalagens de suco de laranja concentrado e um processo de fabricação de cabos de freio de mão veicular.

O conjunto de dados coletados para o estudo forneceram o diagnóstico de um processo estável, porém a utilização de uma carta de controle mais robusta no monitoramento permita uma melhor precisão do processo, aderente aos resultados dos indicadores de qualidade da empresa. A análise sensibilidade na detecção de alterações no processo, com variação dos valores de n e p , sendo possível verificar que a carta de controle proposta por Sant’Anna & Caten (2012) apresentou melhor desempenho, gerando limites mais estreitos em relação as demais cartas de controle. E com o estudo, percebeu-se que o aumento do número de n está relacionado com um melhor desempenho do ARL. Assim, foi possível atingir o objetivo do estudo.

5. REFERÊNCIAS

- ABIA - Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação. Relatório Anual 2020. São Paulo. Disponível em: <<https://www.abia.org.br/>> Acesso em: 10 abr. 2021.
- ABIMAPI - Brazilian Manufacturers Association of Biscuits, Pasta and Industrialized Breads & Cakes. Estatística de biscoitos – dados globais. São Paulo. Disponível em: <<https://www.abimapi.com.br/estatistica-biscoito.php>> Acesso em: 10 abr. 2018.

- ALENCAR, J.R.B.; LOPES, C. E.; SOUZA, M. Monitoramento do processo de compressão de comprimidos de captopril utilizando controle estatístico de processo. **Rev. Bras. Farm**, pag 87-97, 2007.
- BERMISIS, S.; KOUTRAS M.V.; MARAVELAKIS, P. E. A compound control chart for monitoring and controlling high quality processes. **European Journal of Operational Research** 233 (3);595-603, 2014.
- CHEN, G. An improved p chart through simple adjustment. **Journal of Quality Technology** 30, 142151, 1998.
- COSTA, A.B.; EPPRECHT, E.C; CARPINETTI, L.R. **Controle estatístico de Qualidade**. 2ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- FREITAS, I.C.H.; MONTEIRO, L.V.; SANT’ANNA, A.M.O. Análise comparativa de cartas de controle para dados de atributos não-conformes. In: XXXIV **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Curitiba, PR, Brasil, 2014.
- JOEKES S; BARBOSA, E.P. An improved attribute control chart for monitoring non-conforming proportion in high quality processes. **Control Engineering Practice** 21, 407-412, 2013.
- JOEKES, S.; SMREKAR, M.; BARBOSA, E.M. Extending a double sampling control chart for non-conforming proportion in high quality processes to the case of small samples. **Statistical Methodology** 23, 35-49, 2015.
- LANEY, D B. Improved Control Charts for Attributes. **Quality Engineering**, 14(4), 531-537, 2002.
- LIM, S.A.H.; ANTONY, J. Statistical Process Control Implementation in the Food Industry: A Systematic Review and Implications for Future Research. In: 11th **International Conference on Manufacturing Research**. 593–598, 2013.
- LIZARELLI F. L.; BESSI N. C.; OPRIME P. C.; AMARAL R. M.; CHAKRABORTI, S. A bibliometric analysis of 50 years of worldwide research on statistical process control. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 23, n. 4, p. 853-870, 2016.
- MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 7ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

- PIRES, V.T. Implantação do Controle Estatístico de Processo em uma empresa de manufatura de óleo de arroz. **Dissertação**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.
- RIBEIRO, J.L.D.; CATEN, C.S. **Controle Estatístico do Processo**. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2010.
- SANT’ANNA, A.M.O.; CATEN, C.S. Beta control charts for monitoring fraction data. **Expert Systems with Applications** 39, 10236-10243, 2012.
- SANTOS, A. B.; ANTONELLI, S. C. Aplicação da abordagem estatística no contexto da gestão da qualidade: um survey com indústrias de alimentos de São Paulo. **Gestão & Produção**, v. 18, n. 3, p. 509–524, 2011.
- SHEWHART, W. A. **Economic Control of Quality of Manufactured Product**. Van Nostrand Co., New York (1931) 501 p.
- SILVA, J. P.; SOUSA, A. A.; CAMPOS, B. N. Análise da aplicação de ferramentas básicas da qualidade para o monitoramento do processo em uma indústria do setor cerâmico. In: **XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. João Pessoa, PB, Brasil, 2016.
- WANG, H. Comparison of p control charts for low defective rate. **Computational Statistics & Data Analysis** 53 (2009) 42104220
- WINTERBOTTOM, A. Simple adjustments to improve control limits on attribute charts. **Quality and Reliability Engineering International** 9, 105109, 1993.
- XIE, M.; GOH, T.N.; KURALMANI, V. **Statistical models and control charts for high quality processes**. Massachusetts: Kluwer Academic Publication, 2002.