



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina



Aplicação do Controle Estatístico de Processo para avaliar o Coeficiente de Fricção em Embalagens Flexíveis

Londrina

2021

HORTÊNSIA SETTE GRIPP

Aplicação do Controle Estatístico de Processo para avaliar o
Coeficiente de Fricção em Embalagens Flexíveis

Projeto de pesquisa apresentado à
disciplina de TCC 2, do curso de
Engenharia de Produção da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná do
câmpus Londrina

Orientador: Prof. Dr. Rafael Henrique
Palma Lima

Londrina

2021

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO PARA AVALIAR
O COEFICIENTE DE FRICÇÃO EM EMBALAGENS FLEXÍVEIS

Por
Hortênsia Sette Gripp

Monografia apresentada às 09:00 horas do dia 07 de maio de 2021 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Rafael Henrique Palma Lima	Membro
Prof. Marco Antonio Ferreira	Membro
Prof. Érico Daniel Ricardi Guerreiro	Orientador
Profa. Silvana Rodrigues Quintilhano Tondato	Professor(a) responsável TCCII



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) ERICO DANIEL RICARDI GUERREIRO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR, em (at) 07/05/2021, às 10:07, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) RAFAEL HENRIQUE PALMA LIMA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR, em (at) 07/05/2021, às 10:07, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) MARCO ANTONIO FERREIRA, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em (at) 07/05/2021, às 10:08, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) SILVANA RODRIGUES QUINTILHANO TONDATO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR, em (at) 07/05/2021, às 12:43, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site (The authenticity of this document can be checked on the website) http://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orcao_acesso_externo=0, informando o código verificador (informing the verification code) 2003509 e o código CRC (and the CRC code) 829A9377.

RESUMO

Embalagens plásticas são amplamente utilizadas nas indústrias da área alimentícia, possuindo quatro funções principais, sendo elas proteção, conservação, informação e conveniência na utilização. Durante o envase dos produtos, a embalagem possui um papel fundamental na produtividade, sendo necessário então, que as empresas convertedoras de embalagem plástica possuam um rígido controle de qualidade a fim de entregar aos clientes um produto que atenda aos requisitos de qualidade para não gerar perdas e/ou retrabalhos. Uma das variáveis críticas para embalagens plásticas flexíveis é o coeficiente de fricção (COF), o qual é definido pela resistência que uma superfície plana apresenta para deslizar sobre outra superfície plana; e, durante o processo de conversão da embalagem, diferentes variáveis podem impactar no resultado de COF. Com o intuito de avaliar a capacidade do processo de conversão para o parâmetro de COF, foram estudadas três estruturas utilizadas para envase de biscoito, estimando os parâmetros de processo e verificando o controle estatístico, para realização de uma análise de possíveis causas raiz da variação neste parâmetro. Com este estudo foi possível verificar que, atualmente, os parâmetros de COF para as estruturas avaliadas não atendem o estudo de capacidade, pois o mesmo não está sob controle estatístico. Por fim, através de um *brainstorming*, foi possível demonstrar possíveis causas para a variabilidade do processo para que seja realizado um estudo futuro.

Palavras-chave: Capacidade de processo. COF. Embalagem plástica.

ABSTRACT

Plastic packaging is widely used in the food industry, having four main functions, protection, conservation, information and convenience in use. During product filling, packaging plays a key role in productivity, so it is necessary for plastic packaging converting companies to have strict quality control in order to deliver to customers a product that meets the quality requirements so as not to generate losses and rework. One of the critical variables for flexible plastic packaging is the coefficient of friction (COF), which is defined by the resistance that a flat surface has to slide over another flat surface; and, during the packaging conversion process, variables can impact the COF result. In order to evaluate the capacity of the conversion process for the COF parameter, three structures used for filling the biscuit were studied, estimating the process parameters and verifying the statistical control, in order to carry out an analysis of possible root causes of the variation. this parameter. With this study it was possible to verify that, currently, the COF parameters for the evaluated structures do not meet the capability study, as it is not under statistical control. Finally, through brainstorming, it was possible to demonstrate the causes for the variability of the process so that a future study can be carried out.

Keywords: Process Capability. COF. Plastic packaging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de gráfico de carta controle	17
Figura 2. Exemplo de uma bobina de embalagem de biscoito pré envase.	22
Figura 3. Exemplo de embalagens de biscoito pós envase.....	22
Figura 4. Fluxograma do processo de produção de embalagem de biscoito	24
Figura 5. Representação dos componentes de uma unidade de impressão por rotogravura.....	25
Figura 6. Representação de uma laminadora de filmes flexíveis.	26
Figura 7. Impressora de rotogravura com laminação em linha.....	26
Figura 8. Demonstração do processo de corte.....	27
Figura 9. Curva característica de um ensaio de Coeficiente de Fricção.....	29
Figura 10. Equipamento utilizado para as medições do COF	30
Figura 11. Representação das estruturas estudadas.....	31
Figura 12. Gráfico X/MR para a variável COF FxF na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 1.	34
Figura 13. Gráfico X/MR para a variável COF VxV na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 1.	35
Figura 14. Gráfico X/MR para a variável COF FxF na fase de corte da Estrutura 1.	36
Figura 15. Gráfico X/MR para a variável COF VxV na fase de corte da Estrutura 1.	37
Figura 16. Gráfico X/MR para a variável COF FxF na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 2.	38
Figura 17. Gráfico X/MR para a variável COF VxV na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 2.	39
Figura 18. Gráfico X/MR para a variável COF FxF na fase de corte da Estrutura 2.	40
Figura 19. Gráfico X/MR para a variável COF VxV na fase de corte da Estrutura 2.	41
Figura 20. Gráfico X/MR para a variável COF FxF na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 3.	42

Figura 21. Gráfico X/MR para a variável COF VxV na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 3.	43
Figura 22. Gráfico X/MR para a variável COF FxF na fase de corte da Estrutura 3.	44
Figura 23. Gráfico X/MR para a variável COF VxV na fase de corte da Estrutura 3.	45
Figura 24. Análise de correlação entre os valores de $COF_{Inicial}$ e COF_{Final} FxF referentes à Estrutura 1.	49
Figura 25. Análise de correlação entre os valores de $COF_{Inicial}$ e COF_{Final} VxV referentes à Estrutura 1.	50
Figura 26. Gráfico da variação de COF FxF por tempo para a Estrutura 1.	50
Figura 27. Gráfico da variação de COF VxV por tempo para a Estrutura 1.	51
Figura 28. Análise de correlação entre os valores de $COF_{Inicial}$ e COF_{Final} FxF referentes à Estrutura 2.	52
Figura 29. Análise de correlação entre os valores de $COF_{Inicial}$ e COF_{Final} VxV referentes à Estrutura 2.	52
Figura 30. Gráfico da variação de COF FxF por tempo para a Estrutura 2.	53
Figura 31. Gráfico da variação de COF VxV por tempo para a Estrutura 2.	53
Figura 32. Análise de correlação entre os valores de $COF_{Inicial}$ e COF_{Final} FxF referentes à Estrutura 3.	54
Figura 33. Análise de correlação entre os valores de $COF_{Inicial}$ e COF_{Final} VxV referentes à Estrutura 3.	54
Figura 34. Gráfico da variação de COF FxF por tempo para a Estrutura 3.	55
Figura 35. Gráfico da variação de COF VxV por tempo para a Estrutura 3.	55
Figura 36. Diagrama de Ishikawa para possíveis causas da variabilidade no processo de fabricação de embalagens, para o parâmetro de COF.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fatores para construção de gráfico de carta de controle	18
Tabela 2. Intervalos de referência para análise dos índices de C_p e C_{pk}	20
Tabela 3. Possíveis condições de análise de COF em embalagens flexíveis.	29
Tabela 4. Possíveis dificuldades encontradas devido ao coeficiente de atrito.	30
Tabela 5. Parâmetros de processo encontrados na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 1.	33
Tabela 6. Parâmetros de processo encontrados na fase de corte para a Estrutura 1	35
Tabela 7. Parâmetros de processo encontrados na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 2.	38
Tabela 8. Parâmetros de processo encontrados na fase de corte da Estrutura 2.	39
Tabela 9. Parâmetros de processo encontrados na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 3.	42
Tabela 10. Parâmetros de processo encontrados na fase de corte da Estrutura 3.	43
Tabela 11. Índices de capacidade da Estrutura 1, para o atributo COF FxF.	46
Tabela 12. Índices de capacidade da Estrutura 1, para o atributo COF VxV.	46
Tabela 13. Índices de capacidade da Estrutura 2, para o atributo COF FxF.	47
Tabela 14. Índices de capacidade da Estrutura 2, para o atributo COF VxV.	47
Tabela 15. Índices de capacidade da Estrutura 3, para o atributo COF FxF.	48
Tabela 16. Índices de capacidade da Estrutura 3, para o atributo COF VxV.	48
Tabela 17. Comparação entre os índices C_p , C_{pk} , P_p , P_{pk} e PPM para o parâmetro de COF FxF na fase de impressão e laminação.	56
Tabela 18. Comparação entre os índices C_p , C_{pk} , P_p , P_{pk} e PPM para o parâmetro de COF FxF na fase de corte.	56
Tabela 19. Comparação entre os índices C_p , C_{pk} , P_p , P_{pk} e PPM para o parâmetro de COF VxV na fase de impressão e laminação.	57

Tabela 20. Comparação entre os índices C_p , C_{pk} , P_p , P_{pk} e PPM para o parâmetro de COF VxV na fase de corte.....	57
Tabela 21. Correlação entre $COF_{FxV} \text{ Final}$ e $COF_{FxV} \text{ Inicial}$ para as três estruturas estudadas.....	58
Tabela 22. Correlação entre $COF_{VxV} \text{ Final}$ e $COF_{VxV} \text{ Inicial}$ para as três estruturas estudadas.....	58
Tabela 23. Correlação do COF FxF com o tempo entre as fases de corte e impressão e laminação das três estruturas estudadas.....	58
Tabela 24. Correlação do COF VxV com o tempo entre as fases de corte e impressão e laminação das três estruturas estudadas.....	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Controle Estatístico de Processo	15
2.1.1	Carta de Controle	16
2.1.2	Capabilidade de Processo	18
2.2	Análise de Correlação	20
2.3	Embalagem Plástica Flexível	20
2.3.1	Embalagem para Biscoito	22
2.3.2	Processo de Fabricação	23
2.3.3	Impressão	24
2.3.4	Laminação	25
2.3.5	Corte	27
3	PESQUISA DE CAMPO	28
3.1	Perfil da Empresa	28
3.2	Coeficiente de Fricção	28
3.3	Coleta de Dados	31
3.4	Cartas de Controle	31
3.4.1	Estrutura 1	32
3.4.1.1	Fase de impressão e laminação	33
3.4.1.2	Fase de corte	35
3.4.2	Estrutura 2	37
3.4.2.1	Fase de impressão e laminação	37
3.4.2.2	Fase de corte	39
3.4.3	Estrutura 3	41
3.4.3.1	Fase de impressão e laminação	41
3.4.3.2	Fase de corte	43

3.5	Capabilidade do Processo	45
3.5.1	Estrutura 1	46
3.5.2	Estrutura 2	47
3.5.3	Estrutura 3	47
3.6	Análise de Correlação	48
3.6.1	Estrutura 1	49
3.6.2	Estrutura 2	51
3.6.3	Estrutura 3	53
4	DISCUSSÃO	56
5	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor de embalagem é um segmento importante da indústria brasileira, o qual teve faturamento superior a R\$ 80 bilhões em 2019 e responsável por empregar, na indústria, mais de 223 mil pessoas (ABRE, 2019).

Entre os tipos de embalagens disponíveis, como metal, papel, plásticos e vidros, os materiais plásticos representam a maior participação neste segmento de mercado, com 39,6% do total (ABRE, 2019), pelo fato de armazenar diferentes tipos de materiais, além do elevado investimento na área de pesquisa e desenvolvimento visando embalagens cada vez mais sustentáveis, que atendam às necessidades de marketing, proteção do produto e manutenção das propriedades físico-químicas (MOTA, 2004; BERNARDI, 2017).

As embalagens plásticas podem ser subdivididas em rígidas, semirrígidas e flexíveis, dependendo da espessura total. A principal matéria prima para as embalagens plásticas flexíveis, objeto de estudo desta pesquisa, são filmes poliméricos, como o poliéster (PET), polietileno (PE), polipropileno (PP) e o polipropileno biorientado (BOPP). No geral, as embalagens podem ser compostas por apenas um filme (monocamada) ou pela junção de dois ou mais filmes (multicamada), a partir do processo de laminação dos filmes (MENDONÇA, 2019).

A escolha do material e/ou da combinação de materiais a serem utilizados na formação de uma embalagem depende muito do produto a ser envasado e quais as propriedades necessárias para a proteção e conservação deste. Para alimentos desidratados e gordurosos, como biscoitos, geralmente o filme utilizado é o PP, pelo fato deste possuir alta barreira ao vapor e gases, além de possuir printabilidade (facilidade de impressão) tão boa quanto o PET e maior brilho. Na sua forma biorientada (BOPP), as propriedades mecânicas e de barreira são otimizadas (BARÃO, 2012).

O processo de fabricação de embalagens possui alta complexidade, uma vez que envolve elevado número de variáveis, como por exemplo os parâmetros de máquina, filme utilizado, tintas e adesivos, além da diversidade de máquinas existentes nas indústrias de envase.

Segundo a Associação Brasileira de Embalagem (ABRE), a embalagem possui a função de armazenar produtos individuais ou em grupos, por um determinado

período de tempo, tendo como objetivo a proteção do material embalado durante todo o período de validade, maior facilidade em sua distribuição, além da identificação do mesmo.

Para o mercado de biscoito, a qualidade do produto está diretamente relacionada com a preservação das características de odor, cor, sabor e crocância do produto, e, para que isto seja possível, além de se utilizar matérias primas de qualidade na produção do biscoito, a embalagem deve estar em conformidade e com bom funcionamento na máquina de envase, para que a mesma seja completamente selada, sendo assim capaz de manter as características do produto por todo o prazo de validade (MOTA, 2004).

Durante o processo de envase do biscoito nas indústrias alimentícias a performance da embalagem está diretamente ligada com a produtividade, assim, os convertedores de embalagem devem possuir um controle de qualidade rigoroso para que as propriedades da mesma estejam dentro do especificado pelo cliente, para isto, é muito importante o controle de variáveis críticas, as quais podem interferir diretamente na máquina do cliente, a qual pode ser do tipo envelope ou *flowpack* horizontal ou vertical (MOTA, 2004). Segundo PIVA (2014), entre as variáveis críticas para embalagens flexíveis, considera-se o coeficiente de atrito ou de fricção (COF) uma das mais importantes, pois a mesma pode interferir diretamente no desempenho das linhas de envase dos clientes, podendo gerar rejeições de material. O COF é definido pela resistência que uma superfície plana apresenta para deslizar sobre uma outra superfície plana (MÄHLMANN *et al*, 1999)

Para o processo de conversão da embalagem, diversas variáveis podem impactar no resultado da análise de COF, como migração dos aditivos utilizados na formulação dos filmes, ou do adesivo utilizado para a laminação, logo, a variabilidade de dados para este parâmetro é considerada alta, e, técnicas estatísticas são possíveis de serem utilizadas para descrever e interpretar esta variabilidade, podendo ser utilizada para indicar qual a causa raiz ou o fator que mais impacta para cada variável (SILVA *et al*, 2019)

O Controle Estatístico de Processo (CEP), que, segundo Silva *et al*. (2019), “é uma metodologia que atua preventivamente sobre o processo produtivo, utilizando a estatística como instrumento básico para avaliar suas alterações, em busca do aperfeiçoamento contínuo da qualidade”, com o principal objetivo de descrever e

interpretar variabilidades do processo, que podem resultar em produtos fora da especificação do cliente, além disto, o CEP pode auxiliar na identificação das possíveis causas da variabilidade e nas tomadas de decisão.

No setor de embalagens flexíveis, a variação do COF é comum nas indústrias de conversão, sendo responsável por grandes volumes de não conformidades durante o processo, além de devoluções por parte dos clientes, devido à dificuldade de utilização do material entregue nas máquinas de envase (PIVA, 2014). Em função disto, neste trabalho foram avaliadas três estruturas de embalagem para biscoito com o objetivo de identificar a variável que mais interfere nos resultados de COF durante o processo de conversão, através do estudo do controle estatístico de processo, e, com isso, identificar oportunidades de melhoria.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo estimar os parâmetros de processo, verificar se o mesmo está sob controle estatístico e avaliar sua capacidade para o parâmetro de COF, na fabricação de embalagens plásticas para biscoitos, considerando três estruturas atualmente utilizadas em indústria convertidora de embalagem plástica flexível. Por fim, realizar uma análise de possíveis causas raiz da variação encontrada durante o processo produtivo da embalagem.

Este objetivo pode ser desdobrado nos seguintes objetivos específicos: realização da coleta de amostras e medição dos valores de COF FxV e COF VxV durante as duas fases do processo produtivo; verificação se o processo está sob controle estatístico, utilizando gráficos de carta controle, e cálculo dos índices de capacidade do processo para todos os casos a serem estudados e; realização da análise de correlação entre valores de COF obtidos nas duas fases do processo e entre a variação nos valores de COF com o tempo entre as duas fases do processo.

O restante deste trabalho está dividido em quatro capítulos. No Capítulo 2 está descrito o referencial teórico, no qual são abordados os seguintes temas: controle estatístico de processo e algumas de suas ferramentas, como carta de controle, capacidade de processo e análise de correlação; embalagens plásticas flexíveis e uma breve descrição sobre o processo de conversão de embalagem. O Capítulo 3 apresenta a metodologia de pesquisa utilizada, com o detalhamento da coleta de dados e, subdividido por estrutura de embalagem utilizadas para este estudo. Por fim, no Capítulo 4 será feita uma discussão acerca dos resultados obtidos no estudo, e verificação de oportunidade de melhoria para o processo.

2 2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Controle Estatístico de Processo

Qualidade é um termo que possui diferentes definições e conceitos, segundo o dicionário Aurélio, é “atributo, condição natural, propriedade pela qual algo ou alguém se individualiza”; para Rosa (2015), um para que um produto seja considerado de qualidade, ele deve cumprir as funções que se desejam, ou seja, é capaz de atender às necessidades do cliente e; para Samohyl (2009), a qualidade de um produto ou processo está inteiramente relacionada com a minimização da variabilidade de suas características.

Em um processo, mesmo que estável, a variabilidade sempre vai existir. No entanto, é possível controlar para que as perdas sejam mínimas coletando e analisando os dados do processo para haver um controle da variabilidade e das causas possíveis de alteração, as quais podem ser consideradas comuns ou especiais. As primeiras são naturais e inerentes ao processo, já as especiais exigem ação corretiva e resulta em defeitos, não conformidades ou retrabalho. (ROSA, 2015)

As características de qualidade são avaliadas, geralmente, em relação aos valores de especificação, os quais são os desejáveis para um produto e, no geral, incluem um valor nominal, considerado o valor alvo e um intervalo de aceitação, com limites inferior e superior. Nos casos em que os valores analisados não estejam entre estes limites, são considerados não conformidades (REIS, 2001).

Segundo Thomas (1956), o Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) pode ser considerado um dos ramos do Controle da Qualidade, consistindo em um método científico de análise de dados e resolução de problemas práticos; com a ajuda de números ou dados (estatístico), é possível estudar as características do processo (qualidade) com o intuito de fazer com que este processo se comporte da maneira desejada (controle).

Com a utilização do CEP, consegue-se realizar um monitoramento contínuo do processo, gerando gráficos de controle para a identificação de causas e oportunidades de melhoria, com ações imediatas para resolução de problemas assim que detectados, e ações posteriores, pensando na melhoria contínua do processo. (REIS, 2011). Em uma empresa, com o intuito de alcançar níveis de qualidade superior nos

processos e produtos, é possível realizar a aplicação de ferramentas da área de Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) ou de Processo (CEP), como exemplos:

- Gráficos de carte de controle;
- Análise de variância;
- Delineamento de experimento;
- Histograma;
- Gráfico de Pareto;
- Gráficos de dispersão;
- Capabilidade de processo e;
- Planos de amostragens e inspeção

2.1.1 Carta de Controle

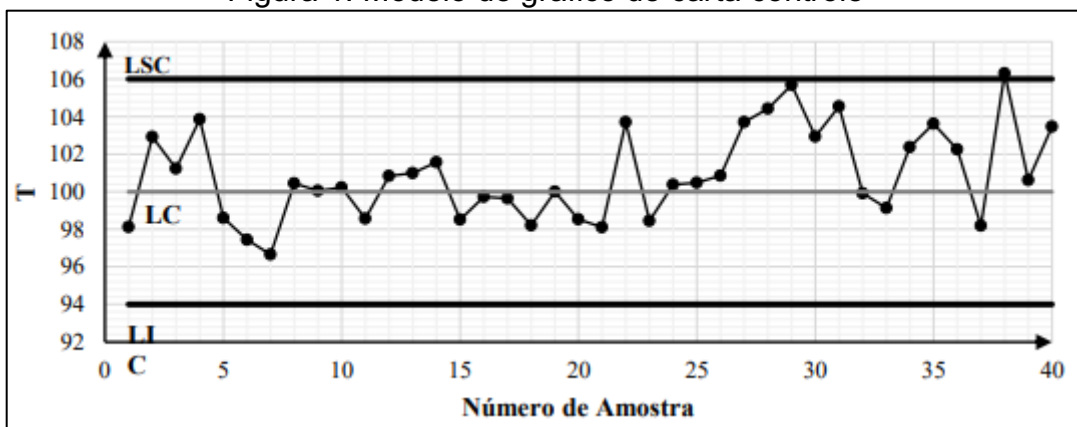
A carta de controle é uma ferramenta do CEP, desenvolvida por Walter Shewhart na década de 1920, bastante utilizada para realizar o acompanhamento de processos. Com ela é possível comparar a performance de algum processo, ou característica de qualidade, utilizando limites de controle e avaliar se o processo está sob controle estatístico ou não. Em caso positivo, pode-se dizer que o processo sofre pequenas variações aleatórias (causas comuns) como todo processo e, caso ocorra um desvio sistemático (causa especial), a mesma pode ser identificada e eliminada (LINS, 1993).

As observações do item analisado para uma carta controle devem ser realizadas de forma independentes e identicamente distribuídas e; além disto, devem seguir algum modelo de distribuição de probabilidade, como a normal, binomial ou de Poisson. Estes gráficos podem ser feitos a partir de variáveis ou atributos. Como exemplo de variáveis existe a média (\bar{X}), a amplitude (R) e o desvio padrão (S), já os atributos podem ser o gráfico c (total de não conformidades em cada amostra), gráfico u (taxa de defeitos), gráfico np (quantidade de itens defeituosos) e gráfico p (taxa de itens defeituosas em uma amostra). (REIS, 2001)

Os limites de controle são calculados matematicamente para a interpretação do padrão em uma carta controle, usualmente calculados com sob nível 3 sigmas, aplicando uma estatística particular para cada caso, e é importante que não sejam confundidos com os limites de especificação.

Uma carta controle consiste na plotagem dos limites de controle superior e inferior (LSC e LIC, respectivamente), da linha central (LC) e dos pontos amostrais; um exemplo é apresentado na Figura 1. Existem diferentes tipos de carta controle, como os gráficos de \bar{x}/R , os quais analisam o valor médio das amostras (\bar{x}) e a amplitude das mesmas (R), com o qual é possível avaliar a variabilidade intra-amostral; ou o gráfico de x/MR , que é utilizado quando as medições são feitas individualmente ou o processo é feito por batelada, com este é possível avaliar a amplitude móvel interamostral.

Figura 1. Modelo de gráfico de carta controle



Fonte: Mendes (2019)

Para a elaboração do gráfico \bar{x}/R , inicialmente deve-se determinar a característica do processo que será estudada e definir qual será o tamanho da amostra (n) e qual a periodicidade da retirada de amostras. Com os dados todos coletados, deve-se calcular a média de cada amostra de tamanho (n), considerando a fórmula:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

Tendo-se m amostras de tamanho n , e; sendo \bar{x}_n a média das amostras, deve-se calcular a média geral ($\bar{\bar{x}}$), a partir da fórmula:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_n}{m} \quad (2)$$

O valor de $\bar{\bar{x}}$ é utilizado como a linha central (LC) do gráfico de \bar{x} . Feito isto, é necessário calcular a amplitude das amostras, sendo esta a diferença entre o maior e o menor valor observado dentro de uma amostra. Sendo (x_1, x_2, \dots, x_n) uma amostra de tamanho n , então a sua amplitude (R) é dada por:

$$R = x_{\text{máx}} - x_{\text{mín}} \quad (3)$$

Sendo (R_1, R_2, \dots, R_n) as amplitudes das m amostras, o cálculo da amplitude média é feito utilizando a seguinte fórmula:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{m} \quad (4)$$

Assim, os limites de controle para a construção do gráfico de \bar{x} é calculado a partir das seguintes fórmulas:

$$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + \frac{3\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} \quad (5)$$

$$LC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} \quad (6)$$

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - \frac{3\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} \quad (7)$$

E, para o cálculo dos limites de controle para o gráfico de R , utiliza-se as fórmulas a seguir:

$$LSC_R = \bar{R} + \frac{3\bar{R}d_3}{d_2} \quad (8)$$

$$LC_R = \bar{R} \quad (9)$$

$$LIC_R = \bar{R} - \frac{3\bar{R}d_3}{d_2} \quad (10)$$

As constantes d_2 e d_3 são tabeladas e seus valores variam de acordo com o tamanho da amostra n que está sendo avaliada, conforme abaixo.

Tabela 1. Fatores para construção de gráfico de carta de controle

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_2	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078
d_3	0,853	0,888	0,880	0,864	0,848	0,833	0,820	0,808	0,797

Fonte: Montgomery (2016)

Com estes cálculos feitos, é possível plotar os gráficos para análise da estabilidade do processo, observando o comportamento dos pontos, para verificação da evidência de causas especiais no processo ou se existem pontos fora dos limites de controle.

2.1.2 Capabilidade de Processo

A capabilidade pode ser avaliada a partir de índices de quantificam a performance de um processo no atendimento às especificações de um certo produto e, para que

seja feita esta avaliação, o processo deve estar sob controle. Existem diferentes índices, sendo que cada um desses expressa informações específicas sobre a capacidade de um processo. Os índices mais comumente utilizados são C_p (índice de capacidade potencial), C_{pk} (índice de capacidade relativo à localização) e C_{pm} (índice de capacidade relativo à localização e à dispersão).

Em um estudo de capacidade de processo, os elementos considerados para a avaliação dos índices são o valor alvo (VA) e os respectivos limites de especificação superior e inferior (LSE e LIE , respectivamente), referentes aos produtos, definidos com base nos requisitos dos clientes, ou exigências regulatórias; e os parâmetros estatísticos do processo, como as medidas de tendência central (média μ) e de dispersão (desvio padrão σ) a partir da distribuição dos dados (Bayeux, 2001).

Para a avaliação da capacidade de processo, é importante a análise de todos os índices. Para o cálculo do índice de capacidade potencial (C_p), o qual não considera a localização, utiliza-se a seguinte fórmula, sendo que o desvio padrão (σ) considerado para o cálculo deve ser medido a partir dos valores individuais utilizados na construção do gráfico de controle:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (11)$$

Para que a localização seja considerada, o índice a ser calculado é o C_{pk} , e, para isto, deve-se calcular os índices referentes aos dois limites de especificação (C_{pi} e C_{ps}) e avaliar qual é o menor valor entre eles, o qual será considerado o C_{pk} . As fórmulas para o cálculo dos índices C_{pi} e C_{ps} estão demonstradas a seguir:

$$C_{pi} = \frac{\bar{x} - LIE}{3\sigma} \quad (12)$$

$$C_{ps} = \frac{LSE - \bar{x}}{3\sigma} \quad (13)$$

Um processo, para ser considerado como capaz, deve apresentar índices de capacidade (C_p e C_{pk}) acima de 1, com resultados dentro das margens de tolerância e, para que isto seja possível, o processo deve apresentar a medida de tendência central ajustada ao valor alvo, ou seja, ser acurado; além de precisar ser preciso, com desvio padrão menor que os limites aceitáveis. Na Tabela 2 estão demonstrados os intervalos de referência para a análise dos índices de C_p e C_{pk} (LINS, 1993).

Tabela 2. Intervalos de referência para análise dos índices de C_p e C_{pk} .

C_p	C_{pk}	Interpretação
$C_p < 1$	$C_{pk} < 1$	Processo incapaz
$1 \leq C_p \leq 1,33$	$1 \leq C_{pk} \leq 1,33$	Processo aceitável
$C_p > 1,33$	$C_{pk} > 1,33$	Processo altamente capaz

Fonte: Adaptado de Gonçalves e Werner (2009)

2.2 Análise de Correlação

A partir de duas variáveis, é possível avaliar o grau de relação linear entre as mesmas e o quanto o resultado de uma pode interferir no resultado da outra. Para isto, pode-se fazer uso de técnicas associadas à análise de correlação, sendo que a mais comum é a utilização do coeficiente de correlação de Pearson (GUIMARÃES, n.d). O coeficiente de correlação de Pearson pode variar de -1 a 1, sendo que o primeiro se refere a uma correlação negativa e o segundo a uma correlação positiva. Em relação à magnitude, quanto mais próximo o valor está do número 1, mais forte é o nível de associação entre as variáveis avaliadas (FILHO *et al*, 2014).

Para correlações bivariadas, os gráficos de dispersão são bastante utilizados, sendo necessário projetar uma linha reta passando pela origem dos dois eixos do gráfico para representar a tendência de associação linear entre as variáveis. Para o cálculo do coeficiente de correlação linear (R) entre as variáveis avaliadas (x e y), usa-se a equação 14, sendo \bar{x} e \bar{y} as médias das variáveis (FILHO *et al*, 2014).

$$R = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (14)$$

Além do coeficiente de correlação de Pearson (r), outro coeficiente utilizado para análises de correlação é o coeficiente de determinação (R^2), o qual não pode ser testado de forma estatística, e para fazer o cálculo é necessário elevar o coeficiente de correlação de Pearson ao quadrado (GUIMARÃES, n.d).

2.3 Embalagem Plástica Flexível

As embalagens, no geral, possuem quatro funções principais. A função de proteção, que diz respeito à proteção durante o transporte, distribuição e manuseio até que o produto seja entregue ao consumidor final. A função de conservação, pois as embalagens são responsáveis pela vida útil do produto, controlando fatores

externos como umidade, gás oxigênio, luz e microrganismos; são desenvolvidas para atender diferentes tipos de produtos, que utilizam e necessitam e tecnologias distintas.

Além disto, existe a função de informação, pois a embalagem se torna um meio de comunicação com os distribuidores, uma vez que transmite informações relacionadas à gestão de estoque, instruções de armazenamento e rastreabilidade; e também para os consumidores, com informações relacionadas ao produto, como quantidade, prazo de validade e informação nutricional, além das informações legais que as empresas alimentícias precisam inserir. A função de conveniência ou serviço se refere às opções disponíveis em diversas embalagens, como tampa dosadora, possibilidade de fechar novamente após abertura da embalagem, possibilidade de cozinhar a servir na própria embalagem, entre outras “comodidades” que podem ser oferecidas ao consumidor (BARÃO, 2011).

As embalagens plásticas são provenientes de polímeros sintéticos, oriundos inicialmente do petróleo, obtendo-se os monômeros, que consistem nas unidades estruturais de um polímero. Um polímero pode ser formado por apenas um tipo de monômero (homopolímeros) ou de dois ou mais tipos de monômeros (copolímeros), os quais são processados em reatores utilizando catalisadores, iniciadores e terminadores de cadeia para que ocorram as reações de polimerização, sendo que estas substâncias são importantes para o controle do processo de obtenção das resinas que serão utilizadas posteriormente na fabricação dos filmes utilizados no processo de conversão de embalagem.

As embalagens consideradas como flexíveis possuem espessura total de até 250 μ m (GAVA, 2008), aderindo-se ao formato do produto envasado. Neste grupo de classificação se encontram os sacos e sacarias, envoltórios fechados por torção, pouches, *stand up pouches*, *stand packs*, bandeijas flexíveis, filmes encolhíveis para envoltórios ou unitização, além de rótulos e etiquetas plásticas que também são formadas a partir de filmes flexíveis (BARÃO, 2012).

Com a possibilidade de obtenção de resinas com características específicas, os filmes utilizados em embalagem também possuem estas características, como maior resistência ao impacto, maior resistência térmica, facilidade de impressão e propriedades de barreira, como permeabilidade ao oxigênio (OTR) ou à umidade (WVTR). A escolha dos filmes utilizados na formação de uma embalagem está

intimamente ligada às características do produto a ser envasado e do desempenho que se espera da embalagem (TWEDE e GODDARD, 2009).

2.3.1 Embalagem para Biscoito

Os consumidores estão cada vez mais exigentes quando o assunto é embalagem, procurando por atrativos que encante aos olhos e, ao mesmo tempo, que proteja e preserve o produto. No caso do mercado de biscoitos, seja salgado, doce ou recheado, a embalagem precisa possuir baixa permeabilidade ao vapor d'água, para que não haja absorção de umidade do ar e o biscoito perca suas características sensoriais; baixa permeabilidade de oxigênio, que reduz o *shelf life* (vida útil); boa resistência mecânica, uma vez que, no transporte, pode haver quebra do produto e, ainda, a embalagem deve possuir barreira à gordura e compostos voláteis, evitando assim a permeação de aromas estranhos (MOTA, 2004).

Figura 2. Exemplo de uma bobina de embalagem de biscoito pré envase.



Fonte: Portfólio online da empresa Nobre Laminados

Figura 3. Exemplo de embalagens de biscoito pós envase



Fonte: Portfólio online da empresa Nobre Laminados

Após a conversão da embalagem de biscoito, o produto é entregue aos clientes em bobinas (Figura 2) e, então o empacotamento dos biscoitos é realizado (Figura 3), podendo ocorrer em equipamentos do tipo portfólio, no qual ocorre a compactação do biscoito; em máquinas do tipo flow pack vertical, utilizada para biscoitos pequenos e rígidos; ou ainda, em máquinas do tipo flow pack horizontal, que possui maior produtividade. Em relação aos filmes poliméricos utilizados na embalagem de biscoito, o mais comumente utilizado é o polipropileno biorientado, devido às suas características. Porém, filmes de poliéster (PET) também são utilizados (ROMANI, 2015)

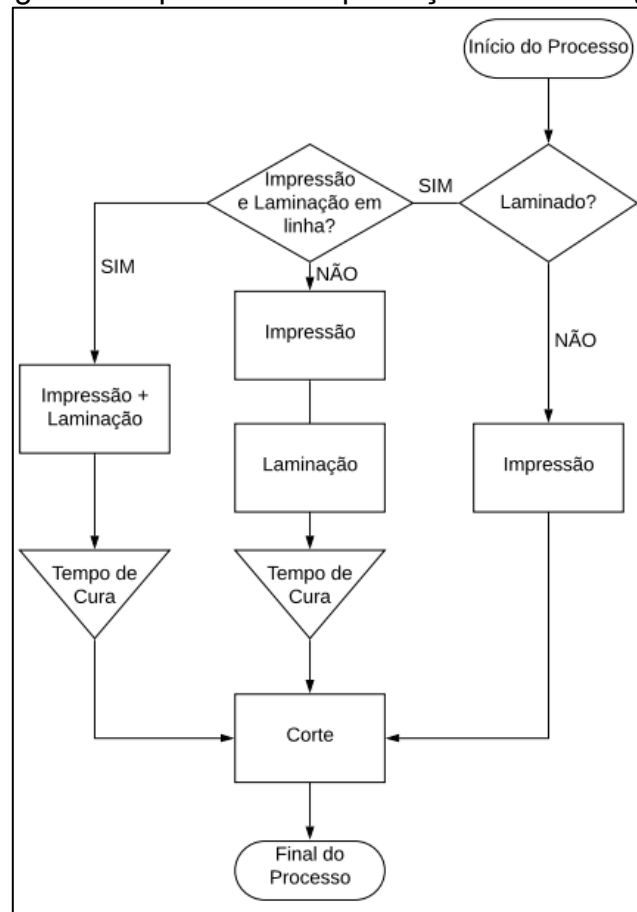
O filme de polipropileno (PP) pode ser produzido de forma mono-orientada ou na forma biorientada. Inicialmente, ao serem produzidos, os filmes sofrem um estiramento longitudinal e, posteriormente, para se tornarem biorientados, passam por um estiramento transversal de forma mecânica, e então, se tornam mais rígidos quando comparados à forma mono-orientada. Quanto às propriedades do material, o BOPP possui boa barreira à umidade e média barreira a gases e gorduras; baixa temperatura de selagem, com faixa entre 50 e 120°C; boa resistência à tração, no entanto, possui fraca resistência à perfuração. Com o intuito de aumentar a barreira à oxigênio e à luz, são utilizados filmes metalizados, sendo que o processo de metalização consiste na deposição por condensação de uma fina camada de alumínio, após passar pelo processo de evaporação (LUÍS, 2013).

O filme de polietileno tereftalato, mais conhecido como poliéster (PET), é bastante utilizado em embalagens flexíveis devido à sua ótima ancoragem de tinta de impressão e de metalização, boa resistência térmica, excelente barreira à oxigênio (OTR) quando está na forma metalizada e possui alta transparência e brilho.

2.3.2 Processo de Fabricação

A produção de uma embalagem para biscoito consiste, basicamente, em três etapas, sendo elas: impressão, laminação e corte. A impressão e a laminação podem ser realizadas em dois processos distintos, ou ainda, em um único processo, a depender da máquina utilizada, conforme fluxograma mostrado na Figura 4.

Figura 4. Fluxograma do processo de produção de embalagem de biscoito



Fonte: da autora

2.3.3 Impressão

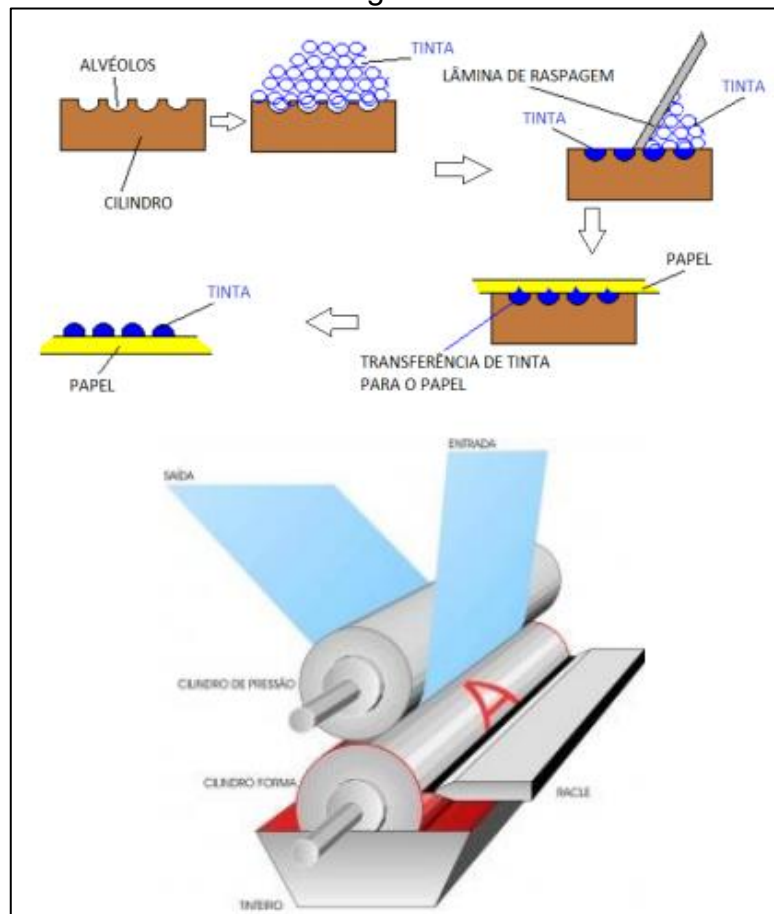
Existem dois processos possíveis de impressão para filmes flexíveis, são eles: flexografia e rotogravura; a diferença entre eles está no método de aplicação da tinta, uma vez que a impressão flexográfica é feita em alto relevo e; a rotográfica, em baixo relevo. (PIVA, 2014)

As principais características do processo de rotogravura são:

- Utilização de tintas líquidas e de secagem rápida;
- Impressão em baixo relevo; com imagens reticuladas em cilindros banhados a cobre, e, após a gravação, banhados com cromo e;
- Possibilidade de impressão em diferentes substratos.

Para que o processo ocorra, são necessários, ao menos cinco componentes, o cilindro, o tinteiro, a lâmina de raspagem, o rolo prensa, e a estufa, os quais estão demonstrados na Figura 5, abaixo.

Figura 5. Representação dos componentes de uma unidade de impressão por rotogravura.

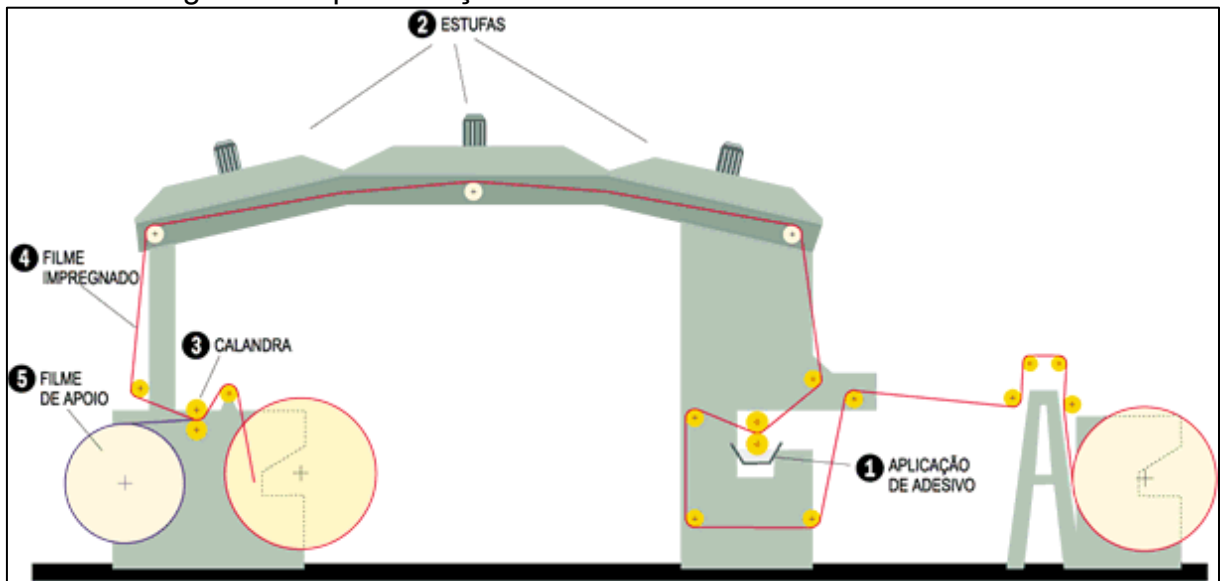


Fonte: Vasquez (2012)

2.3.4 Laminação

No setor de embalagens flexíveis é muito comum a necessidade da união de mais de um filme para que seja possível atender às necessidades de cada produto. Esta união é possível a partir do processo de laminação, que consiste na aplicação de adesivo em um dos filmes, o qual passa por uma estufa para evaporação de solventes, e então, através de um rolo laminador por pressão, os dois filmes são aderidos um ao outro (Figura 6).

Figura 6. Representação de uma laminadora de filmes flexíveis.



Fonte: Vasquez (2012)

Como mencionado anteriormente, o processo de laminação pode ser realizado na mesma máquina em que ocorre a impressão, utilizando a tecnologia de laminação em linha. A Figura 7 mostra uma máquina de impressão em rotogravura, na qual é possível realizar a laminação em linha.

Figura 7. Impressora de rotogravura com laminação em linha.



Fonte: Página na internet da Direct Industry

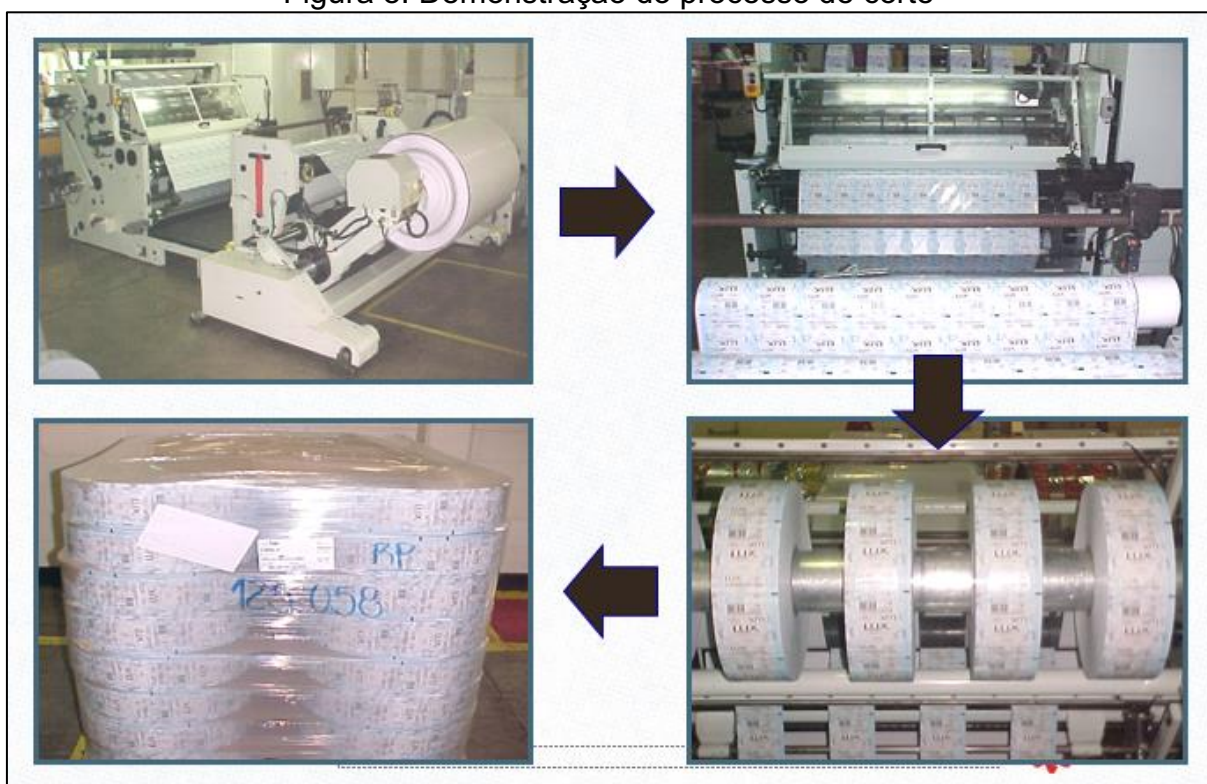
Após o processo de laminação, é necessário aguardar o tempo de cura de adesivo, referente ao tempo para que as reações químicas entre os componentes do adesivo ocorram, formando uma rede tridimensional com ligações cruzadas entre as

cadeias poliméricas, e as camadas da embalagem fiquem aderidas uma a outra, com força de laminação adequada. O tempo de cura varia de acordo com as propriedades do adesivo escolhido para laminação, sendo que a cura completa finaliza entre 7 e 14 dias após o processo de laminação. No entanto, para que o processo de corte ocorra, não é obrigatória a espera da cura completa, é possível que esta etapa seja feita após um período menor, o qual é informado na ficha técnica de cada adesivo (LUÍS, 2013).

2.3.5 Corte

O processo de corte consiste no corte e no rebobinamento simultâneo da bobina impressa e laminada (bobina mãe) de acordo com as especificações de dimensional de cada produto. Na Figura 8 é possível observar o processo, com a “bobina mãe” sendo cortada em “bobinas filhas”, posteriormente palletizadas para envio ao cliente.

Figura 8. Demonstração do processo de corte



Fonte: da autora

3 PESQUISA DE CAMPO

3.1 Perfil da Empresa

Este trabalho foi desenvolvido em uma indústria convertedora de embalagem plástica flexível, realizando a impressão por rotogravura e laminação utilizando adesivos base solvente. A empresa é fornecedora de embalagens para outras indústrias, principalmente no ramo alimentício, fornecendo embalagens para café, biscoito, chocolate, mistura para bolo, entre outros segmentos.

3.2 Coeficiente de Fricção

A força de resistência entre duas superfícies (Tabela 3), conhecida como força de fricção ou de atrito, é de suma importância no setor de embalagens, as quais são utilizadas em máquinas automáticas de envase. O coeficiente de fricção (COF) é uma propriedade mecânica dos materiais de embalagem flexível primordial para que a performance na máquina seja efetiva, e não haja maiores transtornos no processo produtivo dos clientes que utilizam as embalagens para seus produtos, como filme deslizando ou travando nas máquinas, gerando paradas e, conseqüentemente, refugo. Na Tabela 4 estão descritas diferentes dificuldades que podem ser encontradas, a depender da máquina de envase utilizada no cliente.

Em materiais de embalagem flexível, as forças de atrito podem se originar de diversas maneiras, devido à rugosidade natural da camada superficial dos filmes utilizados, aos tratamentos superficiais e aditivos utilizados durante o processamento do material ou ainda devido às características químicas do material.

Fisicamente, a definição de COF é a razão entre a força de atrito (F) e a força normal gravitacional (Fg) que age perpendicularmente nas superfícies de contato. Com a análise do COF é possível avaliar tanto o COF estático, referente à força necessária para que o movimento de deslizamento seja iniciado, quanto o dinâmico, referente à resistência de mover uma superfície sobre a outra em uma velocidade fixa. Um gráfico característico de uma avaliação de COF está demonstrado na Figura 9.

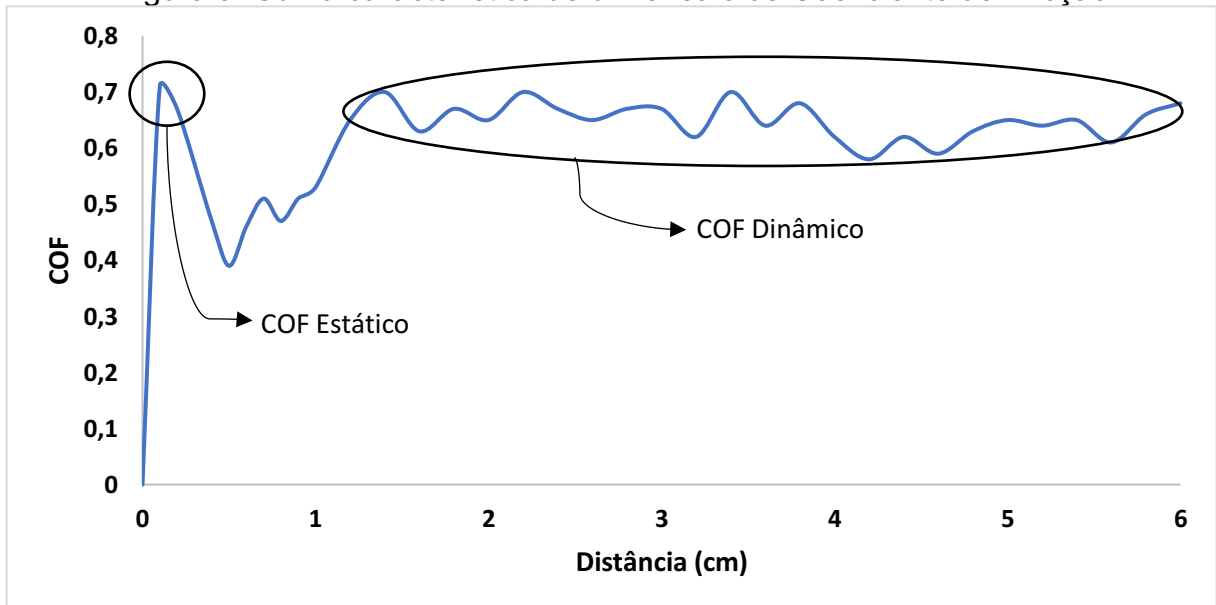
Durante a conversão de embalagens, existem diversas variáveis que podem interferir no valor de COF, como os aditivos *antiblocking* (evita aderência entre duas superfícies), agentes deslizantes, antiestéticos (evita o acúmulo de poeira no material), tintas, vernizes, adesivos, temperatura, migração de tratamento da outra camada de filme, entre outros fatores.

Tabela 3. Possíveis condições de análise de COF em embalagens flexíveis.

Condição de Análise	Descrição
Frente x Frente (FxF)	Lado impresso contra o lado impresso
Verso x Verso (VxV)	Lado não impresso contra o lado não impresso
Frente x Verso (FxV)	Lado impresso contra o lado não impresso
Frente x Chapa	Lado impresso contra a chapa metálica
Verso x Chapa	Lado não impresso contra a chapa metálica

Fonte: da autora

Figura 9. Curva característica de um ensaio de Coeficiente de Fricção



Fonte: da autora

Durante a conversão de embalagens, existem diversas variáveis que podem interferir no valor de COF, como os aditivos *antiblocking* (evita aderência entre duas superfícies), agentes deslizantes, antiestéticos (evita o acúmulo de poeira no material), tintas, vernizes, adesivos, temperatura, migração de tratamento da outra camada de filme, entre outros fatores.

Dentre os agentes deslizantes existentes, os mais utilizados no mercado de embalagem são as oleoamidas e as eurocamidas, substâncias químicas provenientes de ácidos graxos, que se aderem ao polímero formando uma camada superficial e diminui o coeficiente de atrito dos filmes, facilitando o deslizamento (PIVA, 2014).

Tabela 4. Possíveis dificuldades encontradas devido ao coeficiente de atrito.

Condição	Descrição
Máquinas Horizontais	Alto COF VxV pode acarretar no travamento do filme ao passar em placas metálicas.
Máquinas Verticais	Alto COF VxV pode atrapalhar na formação da embalagem, nos colares de formação.
Empacotamento automático	Baixo COF FxF pode fazer com os que pacotes escorreguem ou saiam das correias transportadoras
Palletização	Baixo COF FxF pode acarretar em deslizamento dos pacotes nos pallets, dificultando transporte.

Para a realização do ensaio de COF nas amostras deste trabalho seguiu-se a norma ASTM D1894 – 14 “*Standard Test for Static and Kinetic Coefficients of Friction of Plastic Film and Sheeting*”.

O equipamento utilizado para as medições foi um “*Lab Master® Slip & Friction Tester with Elevator System*”, fornecido pela *Testing Machines*, mostrado na Figura 10, cuja calibração deve ser feita anualmente, conforme recomendação do fabricante. Na empresa de estudo, esta calibração é feita por empresa terceirizada, entre os meses de setembro e outubro de cada ano.

Para as análises de COF FxF e VxV, é necessário revestir a placa metálica com a amostra (130x250mm) e o bloco metálico com a outra amostra (65x120mm); a partir do início do ensaio, o bloco metálico percorre 13 cm da chapa metálica, a velocidade de 15,24 cm.min⁻¹. Os dados são descritos com três algarismos significativos.

Figura 10. Equipamento utilizado para as medições do COF



Fonte: da autora

3.3 Coleta de Dados

A partir das estruturas de embalagem de biscoito disponíveis no portfólio da empresa, três foram escolhidas para este estudo, sendo elas descritas abaixo e demonstradas na Figura 11.

- **Estrutura 1:** Filme laminado de PET transparente com BOPP metalizado;
- **Estrutura 2:** Filme laminado de BOPP transparente com BOPP metalizado e;
- **Estrutura 3:** Filme laminado de BOPP transparente com BOPP transparente.

Figura 11. Representação das estruturas estudadas

Estrutura 1	Estrutura 2	Estrutura 3
PET 10 μ m	BOPP 17 μ m	BOPP 17 μ m
Tinta	Tinta	Tinta
Adesivo	Adesivo	Adesivo
BOPP Metalizado 30 μ m	BOPP Metalizado 17 μ m	BOPP 17 μ m

Fonte: da autora

A rota de produção para as três opções é a mesma, com as fases de impressão e laminação ocorrendo juntas, em linha. O adesivo utilizado para a laminação das estruturas exige tempo de cura para realização do processo de corte de 24 horas.

A coleta das amostras para análise do coeficiente de atrito foi realizada nas duas fases do processo, da seguinte forma:

- Fase de impressão e laminação: para cada ordem de produção, foram coletadas 10 amostras de bobinas aleatórias para realização da análise de COF FxF e VxV.
- Fase de corte: idem à fase anterior, com as amostras retiradas de “bobinas filhas” aleatórias.

Além dos resultados das análises de COF, também foram anotadas as seguintes informações: data, temperatura média e umidade relativa do ar nos dias de produção.

3.4 Cartas de Controle

A partir dos dados coletados para cada estrutura, uma análise inicial foi feita para avaliar qual gráfico de carta de controle se adequaria melhor aos dados, e, devido à predominância da variabilidade entre as amostras e à baixa variabilidade intra-

amostral, decidiu-se utilizar o gráfico X/MR , o qual é feito a partir de valores individuais (i) e amplitude móvel do processo (MR), considerando amostras de tamanho $n = 1$.

Para o cálculo dos valores individuais (i), calculou-se a média dos resultados das análises de COF de cada ordem de produção, cujo tamanho de amostra é de $n=10$. Então, calculou-se a média geral ($\hat{\mu}$) destes valores. Além disto, calculou-se a amplitude móvel (MR) a partir da diferença entre o maior e o menor valor entre uma ordem de produção e a anterior, e a média geral desta amplitude (\overline{MR}).

Com estes valores calculados, e considerando os valores das constantes d_2 e d_3 para amostras de tamanho $n = 1$ ($d_2 = 1,128$; $d_3 = 0,853$) é possível calcular o desvio padrão ($\hat{\sigma}$) do processo, a partir da equação abaixo:

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (15)$$

Por fim, os limites de controle inferior (LIC_x), superior (LSC_x) e linha média (LM_x) para x foram calculados a partir das fórmulas a seguir:

$$LSC_x = \hat{\mu} + 3 * \hat{\sigma} \quad (16)$$

$$LM_x = \hat{\mu} \quad (17)$$

$$LIC_x = \hat{\mu} - 3 * \hat{\sigma} \quad (18)$$

E os limites inferior, superior e linha média (LIC_{MR} , LSC_{MR} e LM_{MR} , respectivamente);

$$LSC_{MR} = \overline{MR} + (3 * d_3 * \hat{\sigma}) \quad (19)$$

$$LC_{MR} = \overline{MR} \quad (20)$$

$$LIC_{MR} = \overline{MR} - (3 * d_3 * \hat{\sigma}) \quad (21)$$

O gráfico de controle foi feito tanto para a fase de impressão e laminação como também para a fase do corte, considerando as duas condições de análise (FxF e VxV).

3.4.1 Estrutura 1

A coleta de dados para a Estrutura 1 foi feita em um total de 34 ordens de produção, durante o período de janeiro e agosto de 2019, foi considerado este período pelo fato de que as produções são sazonais, uma vez que o *mix* de produção na empresa é elevado, o setor de planejamento e controle da produção faz a programação de produção em “blocos”, sendo assim, há períodos de produção

seguido de períodos sem produção. Os parâmetros de processo e as cartas de controle para as duas fases do processo estão demonstradas abaixo.

3.4.1.1 Fase de impressão e laminação

Para a fase de impressão e laminação, foram encontrados os seguintes parâmetros de processo mostrados na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros de processo encontrados na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 1.

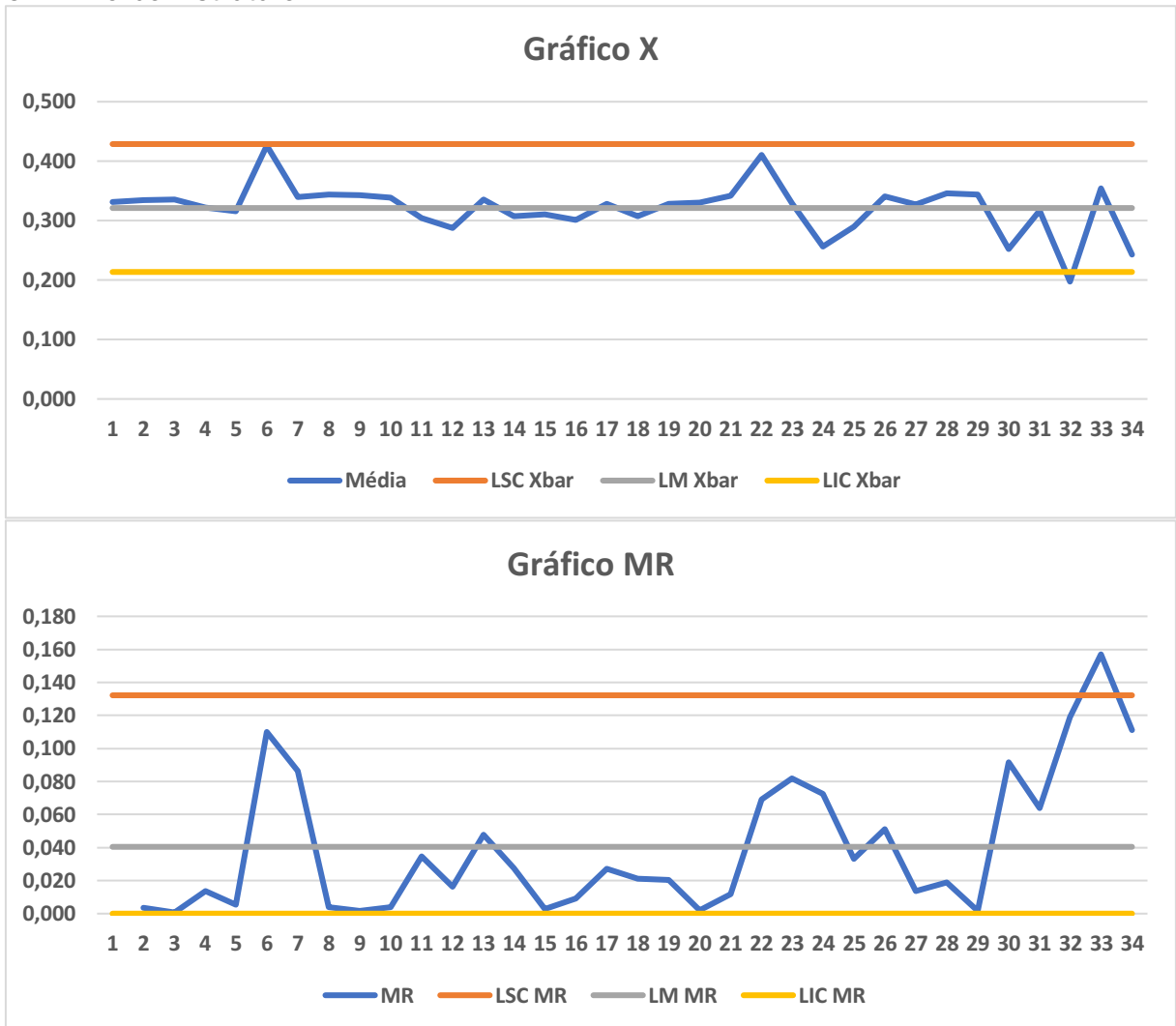
Parâmetro	COF FxF	COF VxV
$\hat{\mu}$	0,321	0,135
MR	0,040	0,022
$\hat{\sigma}$	0,0359	0,0196

Fonte: da autora

Para a análise de COF FxF, o gráfico X/MR está mostrado na Figura 12 e, para a análise de COF VxV, na Figura 13. Nos dois cenários foram encontrados pontos fora dos limites de controle, sendo que para a variável COF FxF foi encontrado um ponto abaixo do LIC no gráfico X , cinco pontos considerados iguais ao LIC e um ponto acima do LSC no gráfico MR .

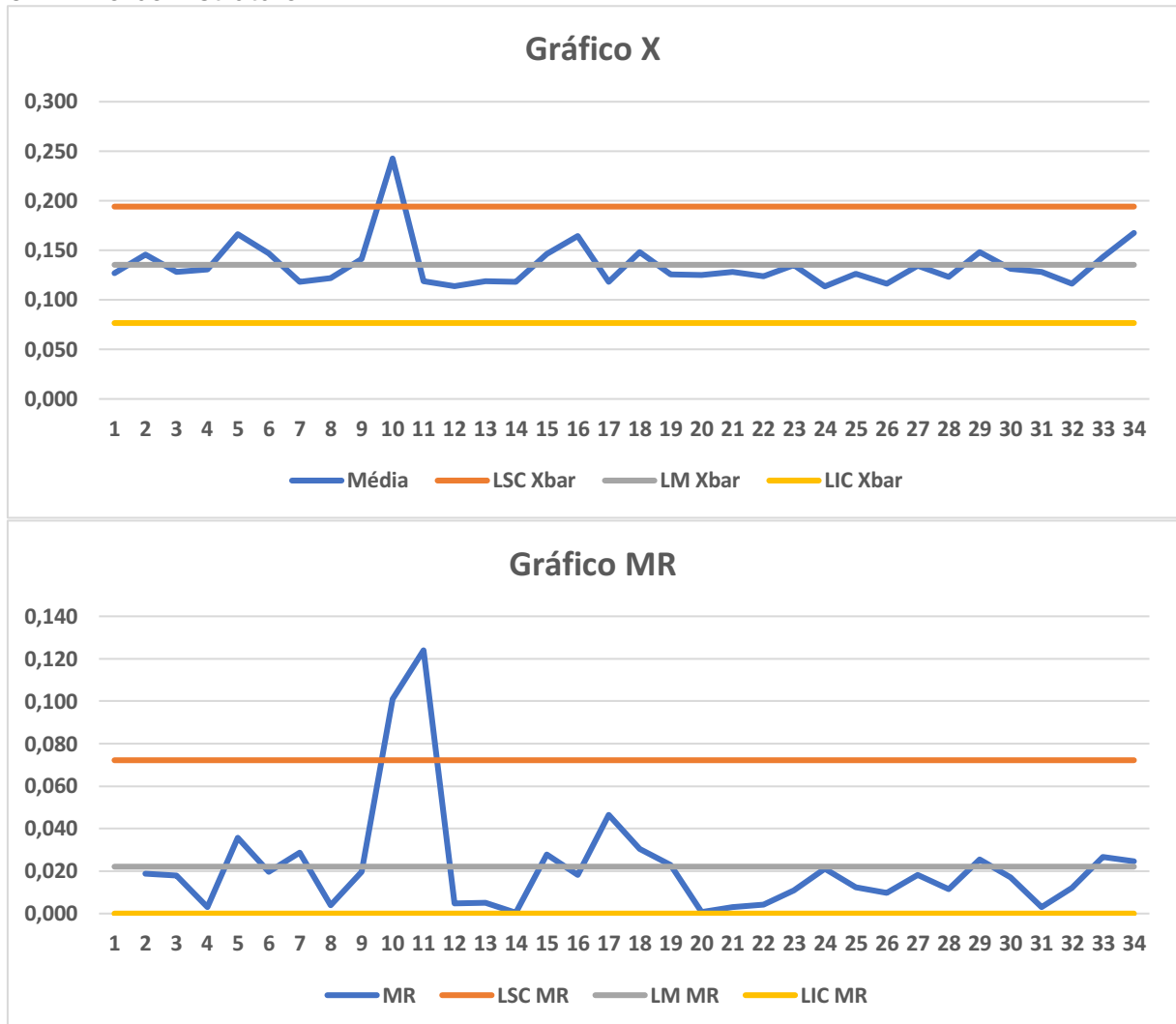
Para a variável COF VxV, pode-se observar um ponto acima do LSC no gráfico X , e quatro pontos considerados iguais ao LIC e dois pontos acima do LSC no gráfico MR , conforme mostrado na Figura 13.

Figura 12. Gráfico \bar{X}/MR para a variável COF FxF na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 1.



Fonte: da autora

Figura 13. Gráfico X/MR para a variável COF VxV na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 1.



Fonte: da autora

3.4.1.2 Fase de corte

Para a fase de corte, foram encontrados os seguintes parâmetros de processo mostrados na Tabela 6.

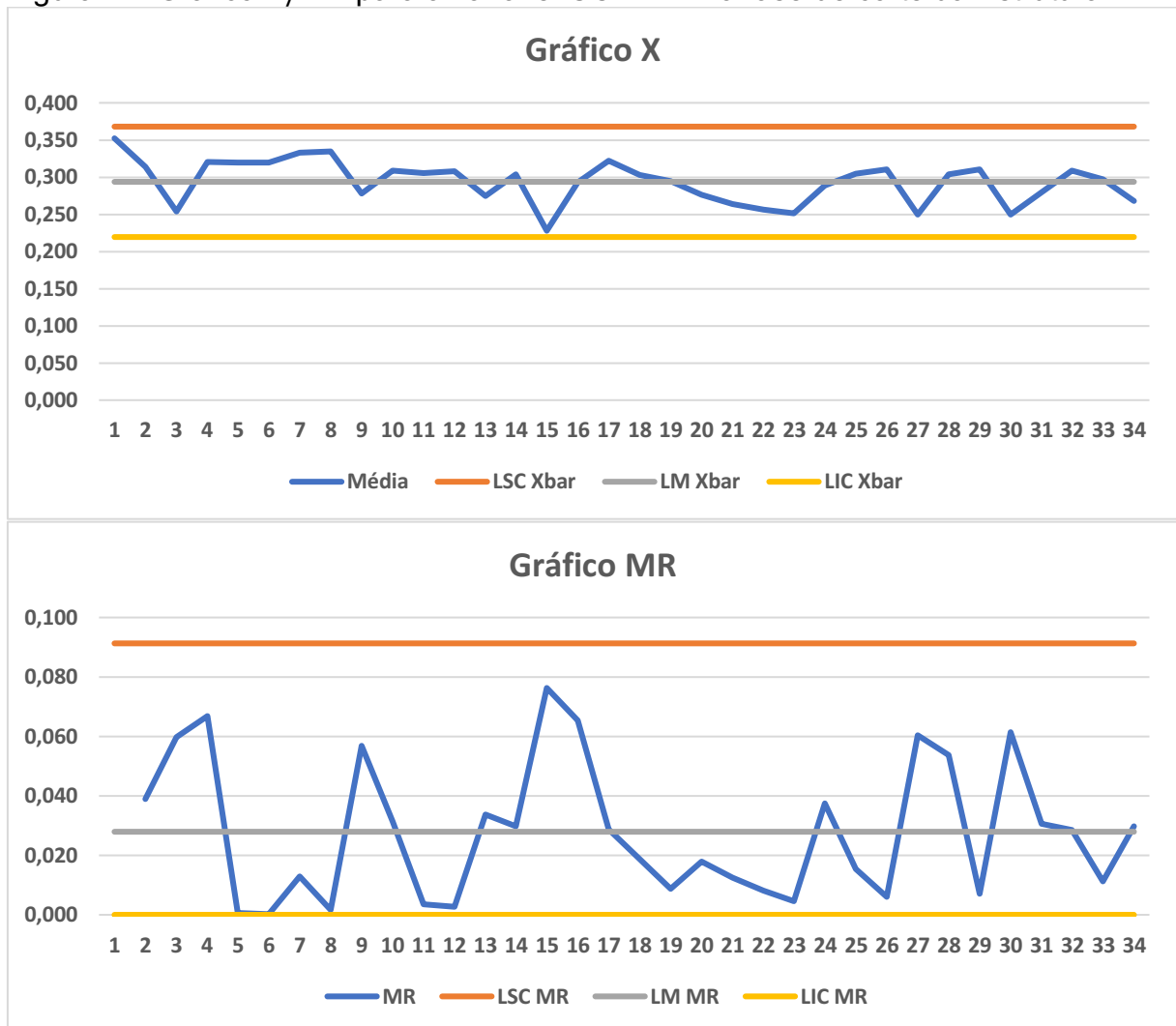
Tabela 6. Parâmetros de processo encontrados na fase de corte para a Estrutura 1

Parâmetro	COF FxF	COF VxV
$\hat{\mu}$	0,294	0,138
MR	0,028	0,027
$\hat{\sigma}$	0,0248	0,0241

Fonte: da autora

Para a análise de COF FxF, o gráfico X/MR está mostrado na Figura 14 e, para a análise de COF VxV, na Figura 15. Para a variável COF FxF, no gráfico MR , pode-se observar que um ponto foi considerado igual ao LIC .

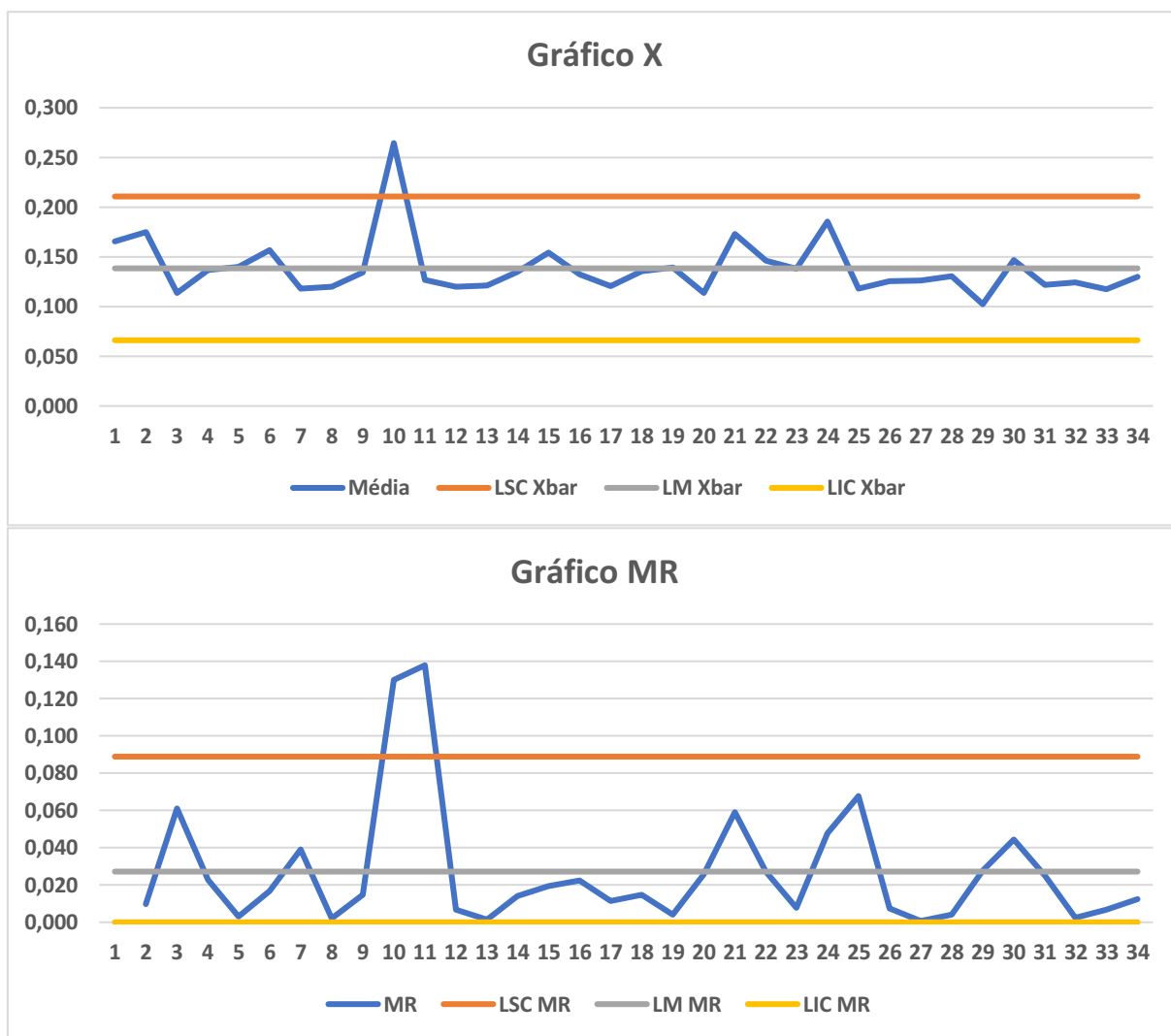
Figura 14. Gráfico X/MR para a variável COF FxF na fase de corte da Estrutura 1.



Fonte: da autora

Para a variável COF VxV, no gráfico X observou-se um ponto acima do LSC e no gráfico MR , foram encontrados dois pontos acima do LSC e cinco pontos foram considerados iguais ao LIC , conforme mostrado na Figura 15.

Figura 15. Gráfico X/MR para a variável COF VxV na fase de corte da Estrutura 1



Fonte: da autora

3.4.2 Estrutura 2

A Estrutura 2, semelhante à anterior, também é produzida de forma sazonal, com períodos de produção seguido de períodos sem produção. Para esta configuração de embalagem, a coleta de dados foi feita em um total de 33 ordens de produção, entre o período de janeiro e setembro de 2019. Abaixo é possível observar os parâmetros de processo e as cartas controle, tanto a para a fase de impressão e laminação, como para a fase do corte.

3.4.2.1 Fase de impressão e laminação

Para a fase de impressão e laminação, foram encontrados os parâmetros de processo descritos na Tabela 7 e as cartas de controle para as análises de COF FxF e VxV estão na Figura 16 e 17, respectivamente.

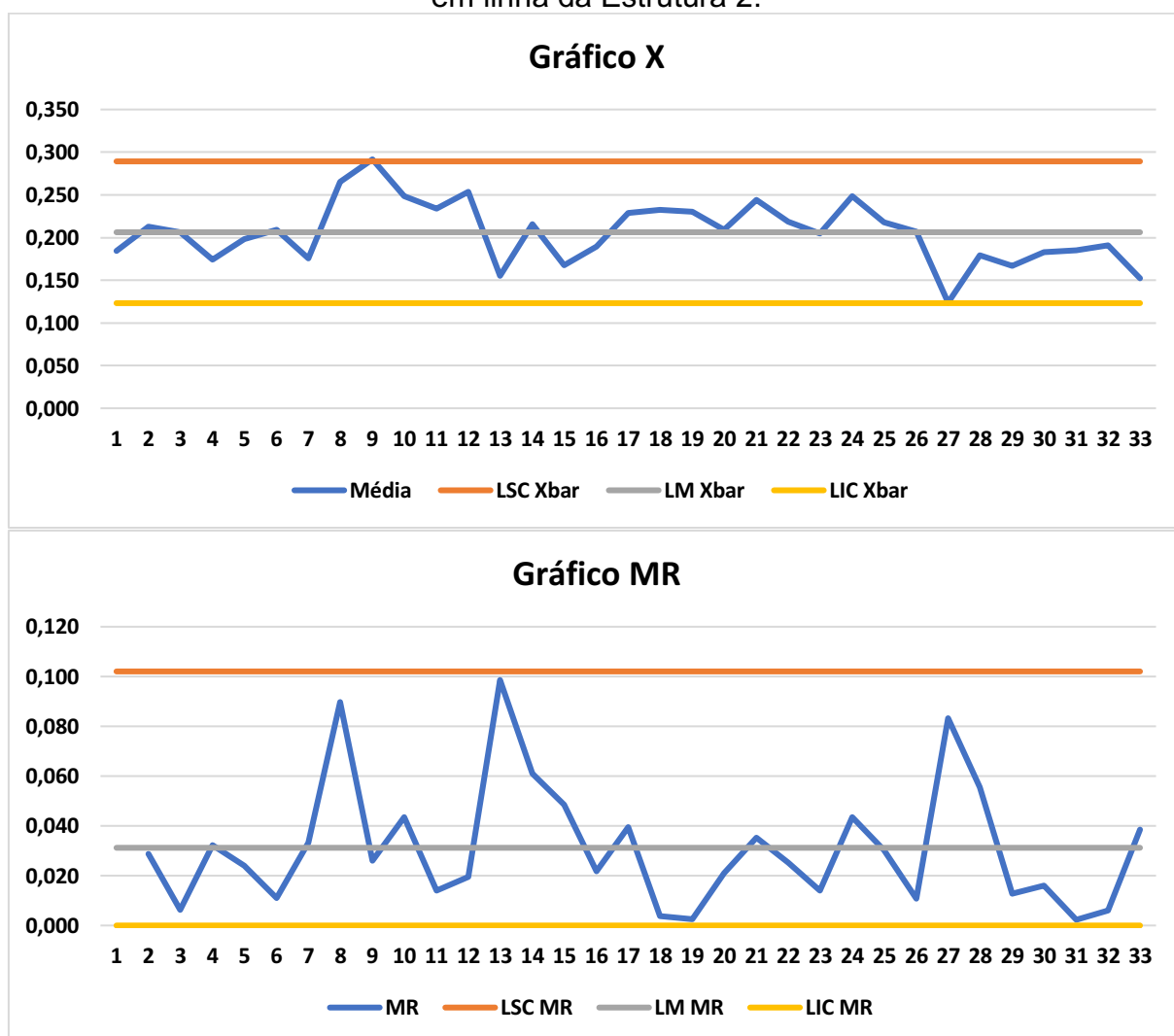
Tabela 7. Parâmetros de processo encontrados na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 2.

Parâmetro	COF FxF	COF VxV
$\hat{\mu}$	0,206	0,136
MR	0,031	0,019
$\hat{\sigma}$	0,028	0,017

Fonte: da autora

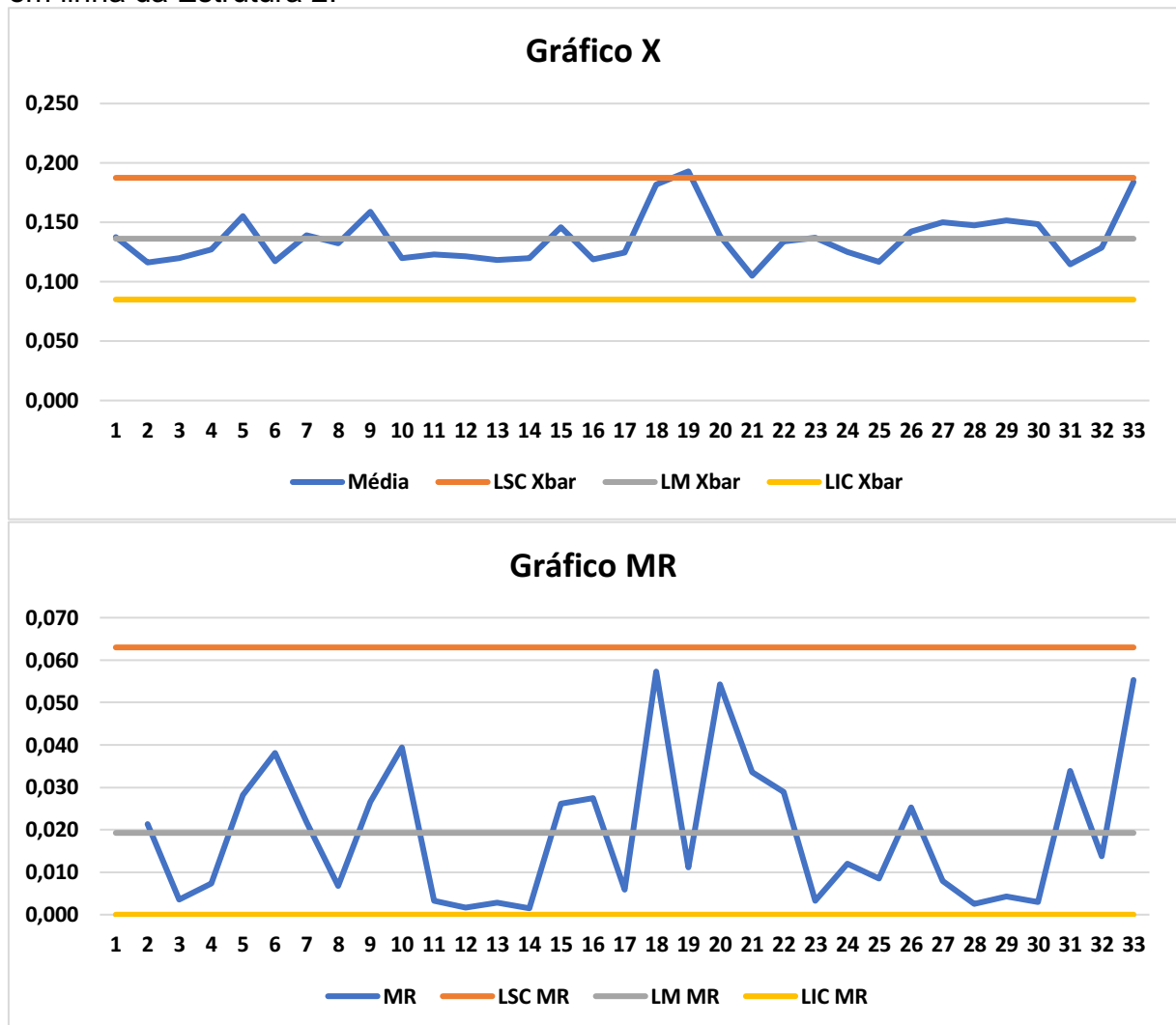
Na Figura 16, referente a variável COF FxF, é possível observar que foram encontrados pontos fora dos limites de controle no gráfico X e pontos considerados iguais ao LIC , ou seja, zero, no gráfico MR . E, referente a variável COF VxV, observou-se um ponto acima do LSC no gráfico X , conforme mostrado na Figura 17.

Figura 16. Gráfico X/MR para a variável COF FxF na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 2.



Fonte: da autora

Figura 17. Gráfico X/MR para a variável COF VxV na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 2.



Fonte: da autora

3.4.2.2 Fase de corte

Para a fase de corte, os parâmetros de processo estão descritos na Tabela 8,

Tabela 8. Parâmetros de processo encontrados na fase de corte da Estrutura 2.

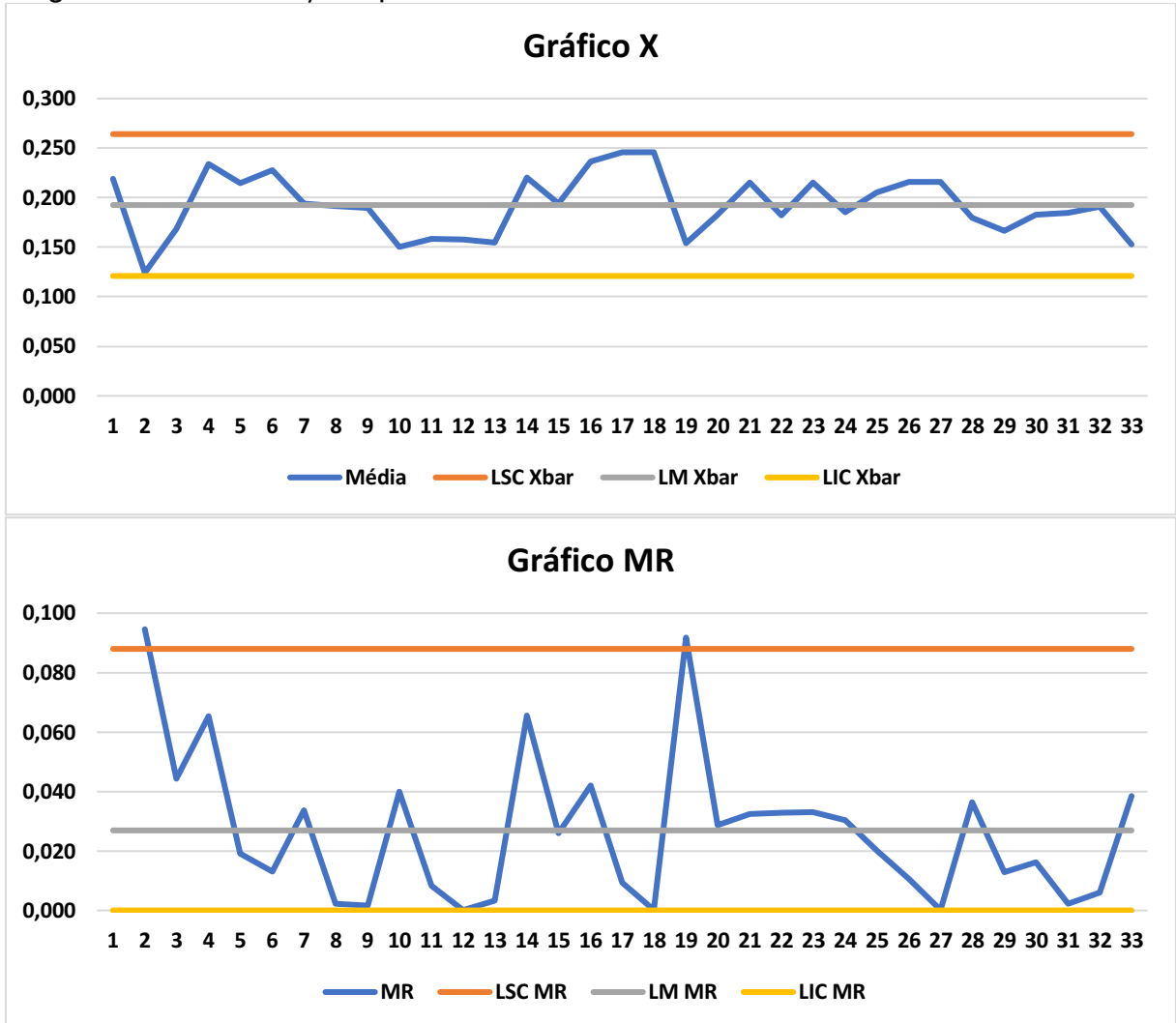
Parâmetro	COF FxF	COF VxV
$\hat{\mu}$	0,193	0,136
MR	0,027	0,021
$\hat{\sigma}$	0,024	0,019

Fonte: da autora

As cartas de controles para as análises de COF FxF (Figura 18) e COF VxV (Figura 19) são mostradas abaixo. Na Figura 18, referente a variável COF FxF, foram encontrados dois pontos acima do LSC no gráfico MR , além de quatro pontos serem

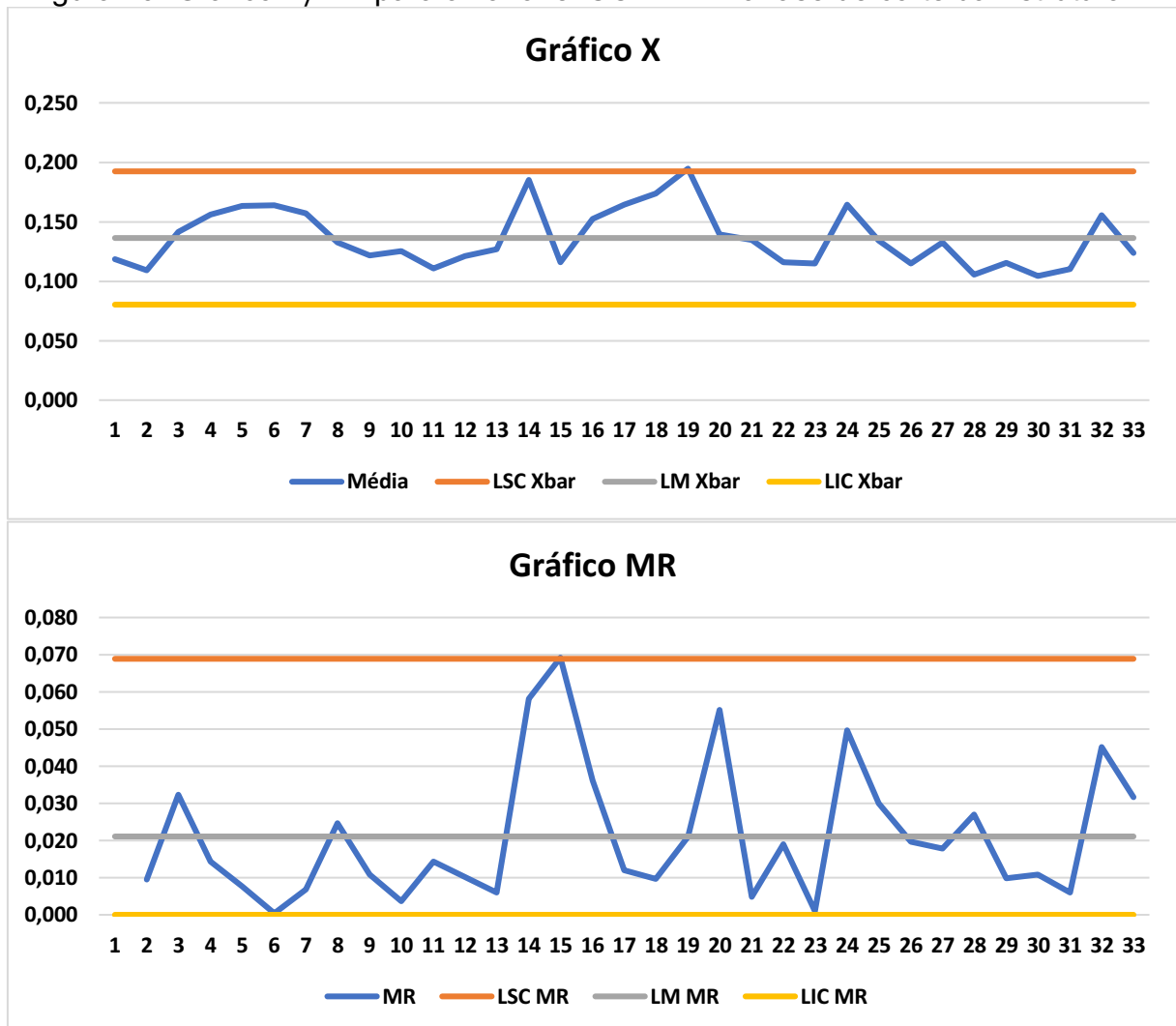
considerados iguais ao *LIC*. Para a variável COF VxV, no gráfico *X* foi encontrado um valor acima do *LSC* e, no gráfico *MR*, dois pontos foram considerados iguais a zero.

Figura 18. Gráfico *X*/*MR* para a variável COF FxF na fase de corte da Estrutura 2.



Fonte: da autora

Figura 19. Gráfico X/MR para a variável COF VxV na fase de corte da Estrutura 2.



Fonte: da autora

3.4.3 Estrutura 3

Seguindo a mesma lógica de programação das estruturas anteriores, foram coletadas amostras da Estrutura 3 de 30 ordens de fabricação, as quais foram produzidas entre o período de fevereiro e agosto de 2019. Os parâmetros do processo nas duas fases e as cartas de controle podem ser vistas a seguir.

3.4.3.1 Fase de impressão e laminação

Na primeira fase do processo, foram encontrados os seguintes parâmetros (Tabela 9) e os atributos COF FxF e COF VxV do produto seguiram conforme as cartas de controle mostradas nas Figuras 20 e 21, respectivamente. Em relação a variável COF FxF, analisando a carta controle, observou-se dois pontos acima do *LSC* no gráfico *X* e, no gráfico *MR*, um ponto acima do *LSC* e dois pontos foram considerados

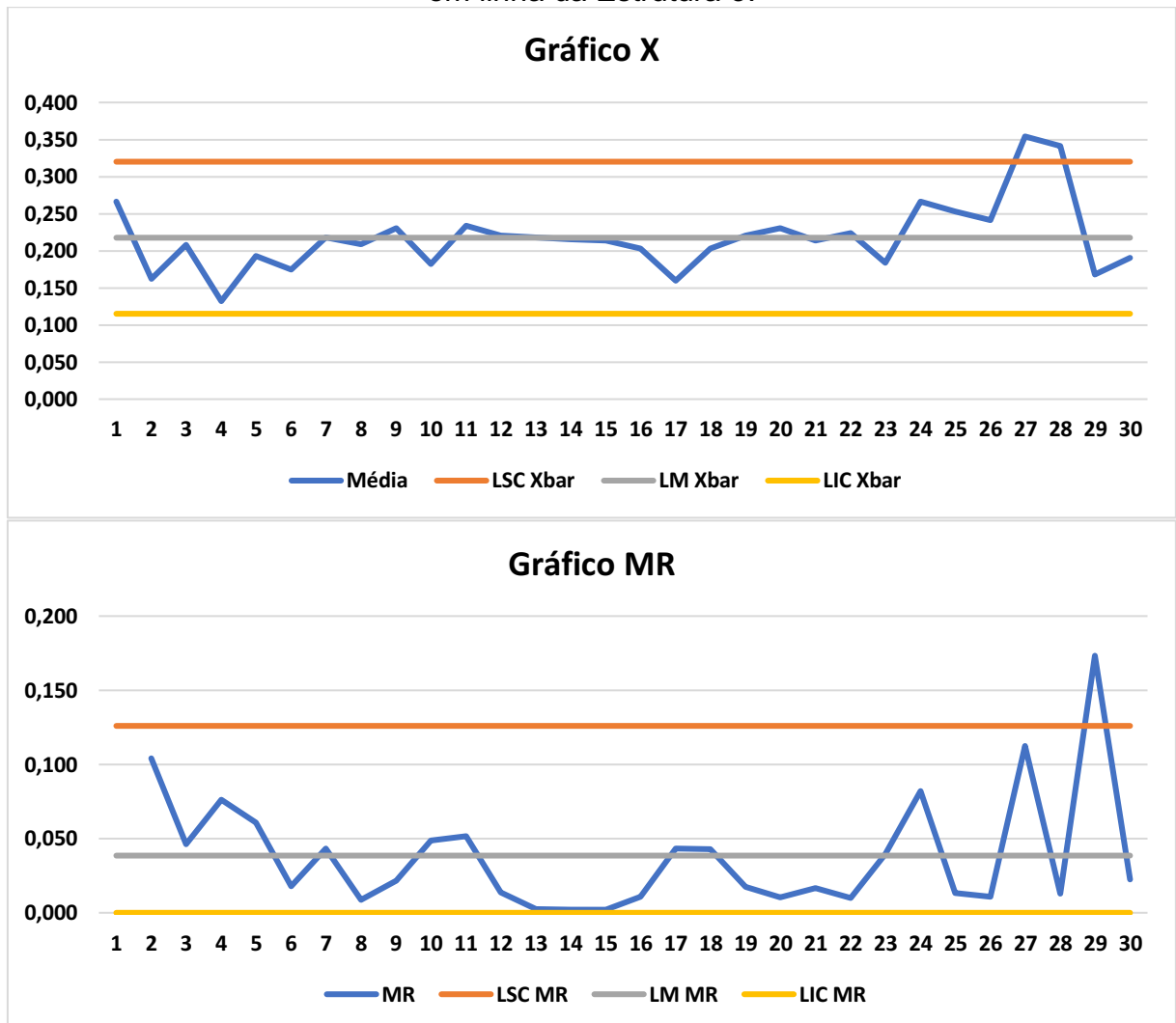
iguais ao *LIC*, ou seja, zero. Na Figura 21, referente a carte controle referente ao parâmetro COF VxV, apenas um ponto ficou acima do *LSC* no gráfico *X*.

Tabela 9. Parâmetros de processo encontrados na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 3.

Parâmetro	COF FxF	COF VxV
$\hat{\mu}$	0,218	0,153
<i>MR</i>	0,039	0,032
$\hat{\sigma}$	0,034	0,024

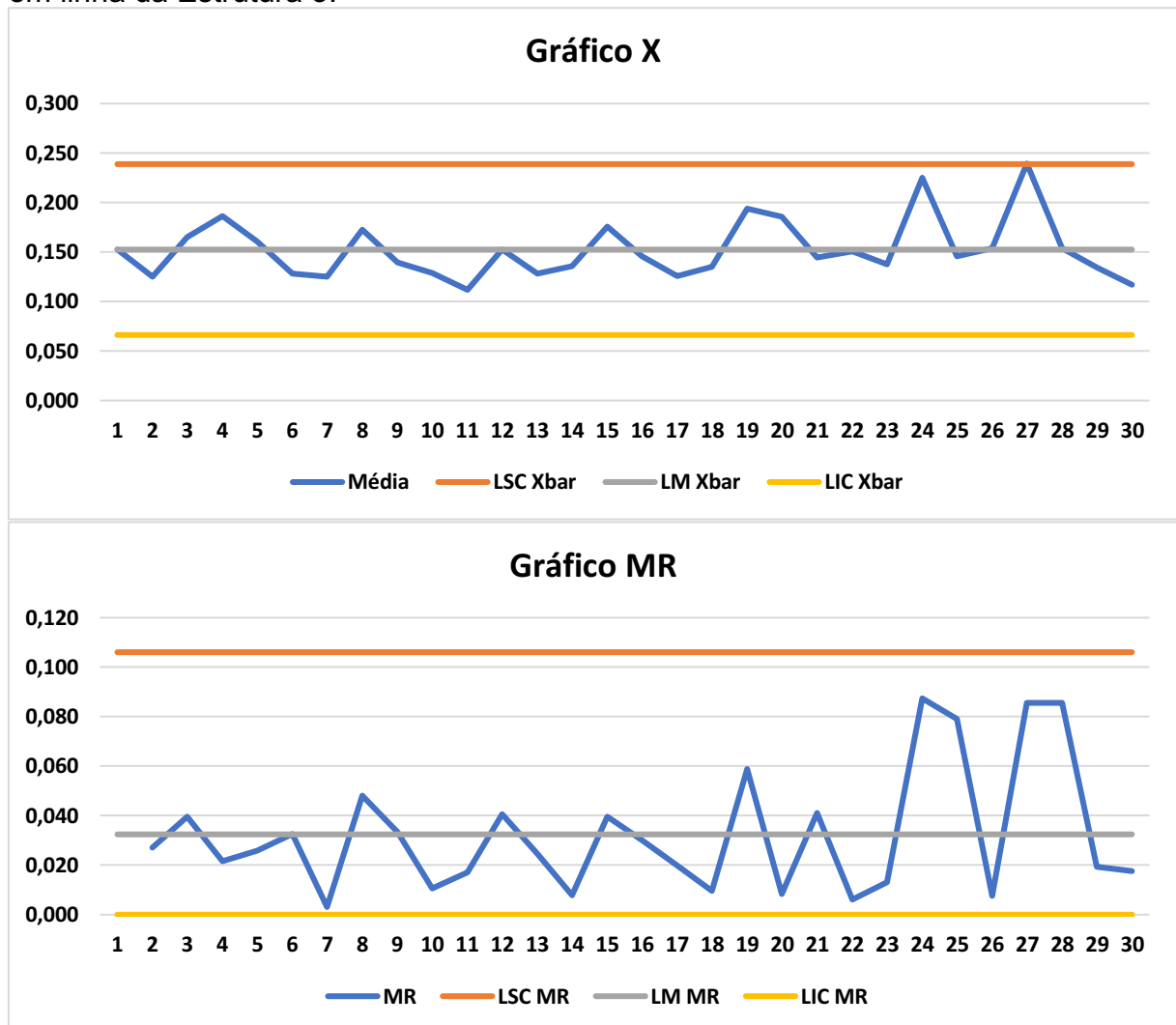
Fonte: da autora

Figura 20. Gráfico *X*/*MR* para a variável COF FxF na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 3.



Fonte: da autora

Figura 21. Gráfico X/MR para a variável COF VxV na fase de impressão e laminação em linha da Estrutura 3.



Fonte: da autora

3.4.3.2 Fase de corte

Na fase final do processo produtivo da Estrutura 3, foram encontrados os parâmetros descritos na Tabela 10.

Tabela 10. Parâmetros de processo encontrados na fase de corte da Estrutura 3.

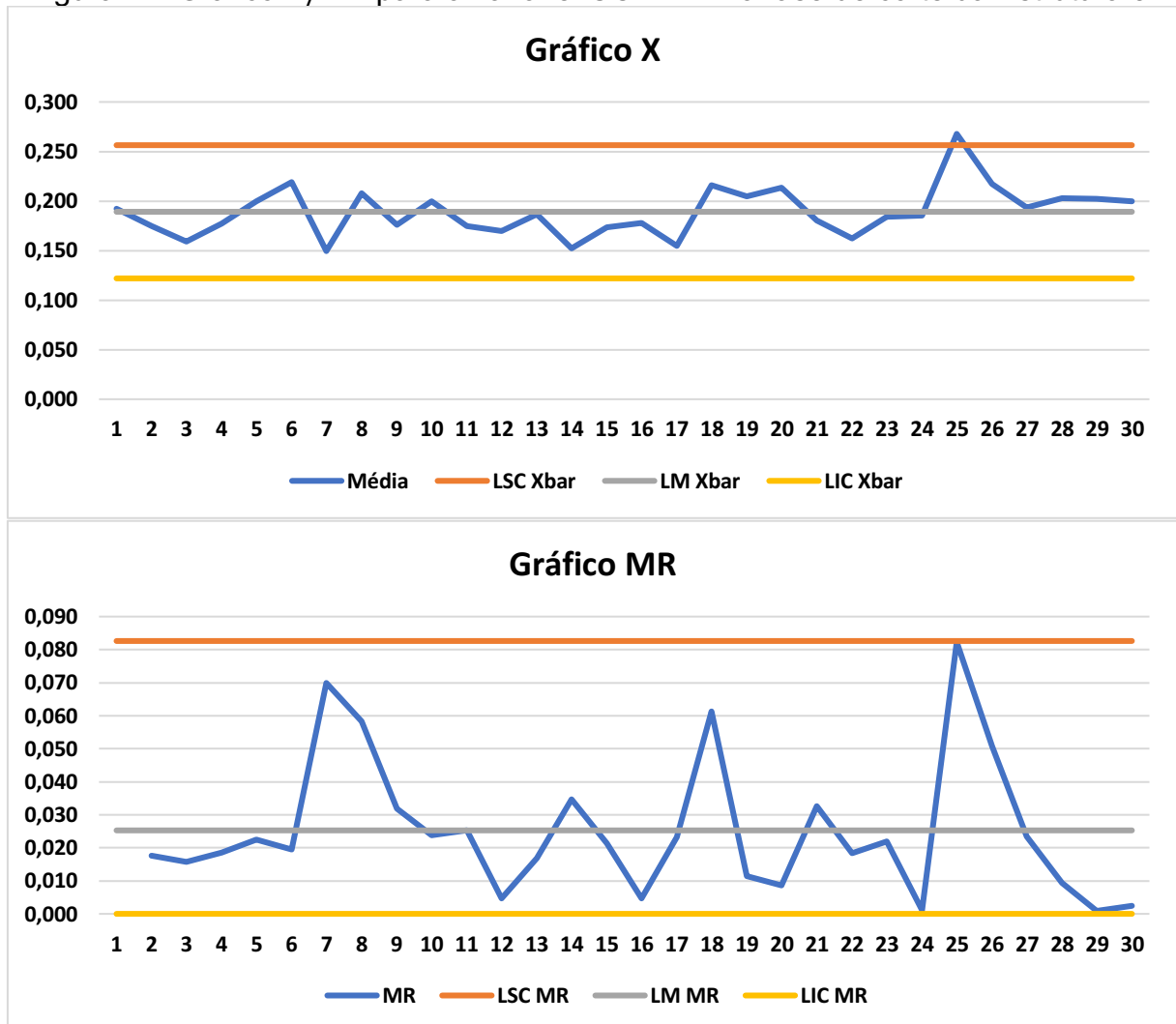
Parâmetro	COF FxF	COF VxV
$\hat{\mu}$	0,189	0,162
MR	0,025	0,033
$\hat{\sigma}$	0,022	0,030

Fonte: da autora

A partir dos dados coletados e considerando os parâmetros encontrados, as cartas de controle foram geradas conforme Figuras 22 e 23, sendo a primeira referente à análise de COF FxF e a segunda à análise de COF VxV. Nos dois casos foram

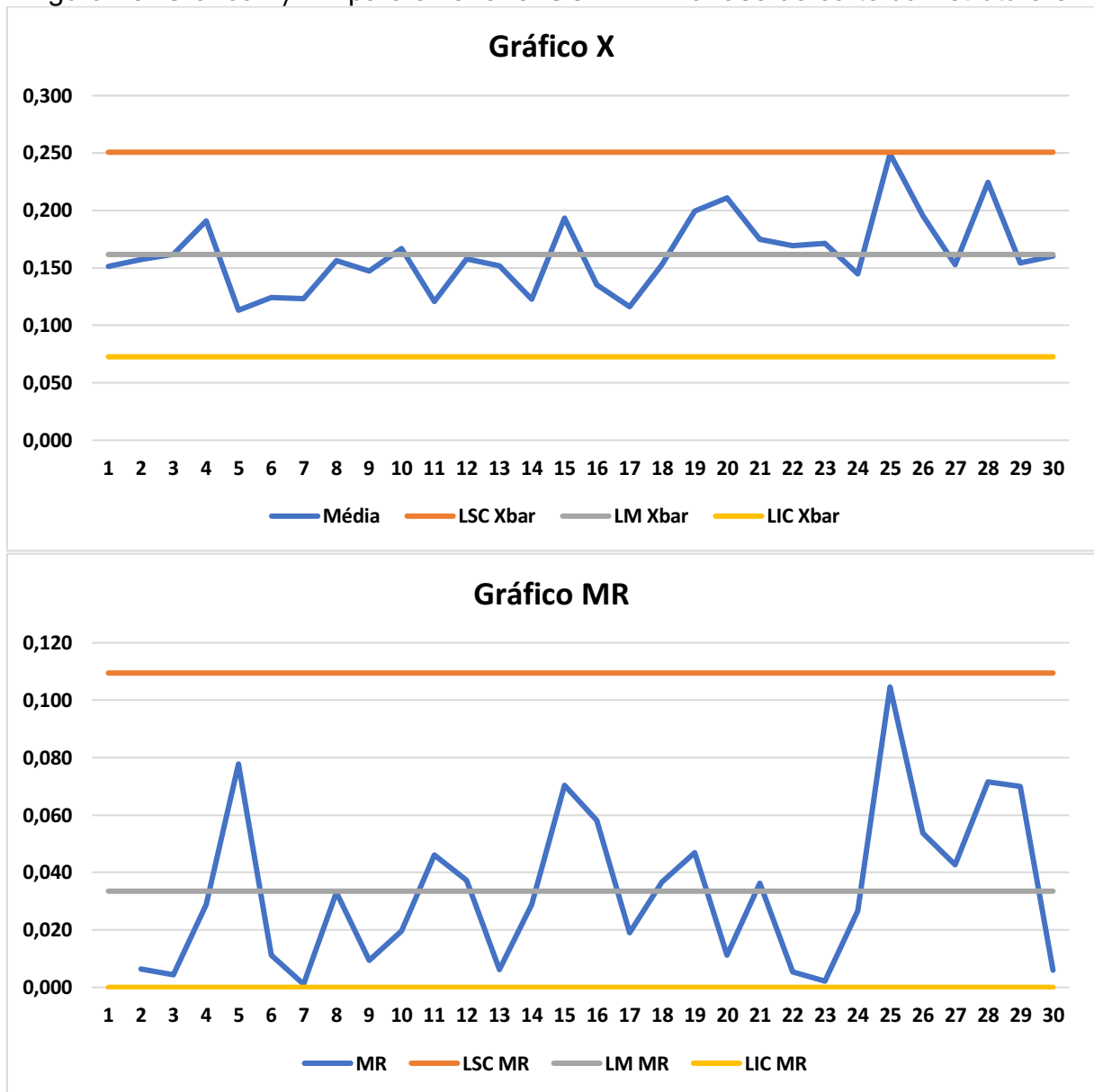
encontrados pontos fora dos limites de controle, sendo que para a variável COF FxF um ponto ficou acima do *LSC* no gráfico *X* e dois pontos foram considerados iguais a zero no gráfico *MR* e, para o COF VxV, no gráfico *MR*, dois pontos foram considerados iguais ao *LIC*.

Figura 22. Gráfico *X*/*MR* para a variável COF FxF na fase de corte da Estrutura 3.



Fonte: da autora

Figura 23. Gráfico X/MR para a variável COF VxV na fase de corte da Estrutura 3.



Fonte: da autora

3.5 Capabilidade do Processo

A partir dos parâmetros de processo encontrados durante a fase de cálculo, para a verificação se o processo está ou não sob controle, os índices de capacidade podem ser calculados, considerando os limites de especificação para cada estrutura. Para os cálculos de C_p , C_{pi} e C_{ps} , as equações (11), (12) e (13) devem ser utilizadas, respectivamente e, após isto, o menor valor entre os índices C_{pi} e C_{ps} , é considerado o C_{pk} do processo.

Os índices de capacidade foram calculados para todas as fases do processo, e para as duas análises, COF FxF e COF VxV.

3.5.1 Estrutura 1

Para a Estrutura 1, em que a embalagem é formada por um filme impresso de PET transparente, laminado com um filme de BOPP metalizado, os limites de especificação inferior e superior, para os parâmetros de COF FxF e COF VxV estão descritos abaixo. Para a análise de COF geralmente não existe um valor alvo, somente a variação aceitável dentro do processo, porém, para os cálculos, foi considerado o valor médio entre o máximo e o mínimo aceitável

Os resultados dos índices de capacidade para o atributo COF FxF podem ser observados na Tabela 11 e para COF VxV, na Tabela 12.

Tabela 11. Índices de capacidade da Estrutura 1, para o atributo COF FxF.

COF FxF		
	Impressão + Laminação	Corte
<i>LSE</i>	0,35	0,35
<i>VA</i>	0,25	0,25
<i>LIE</i>	0,15	0,15
<i>Cp</i>	0,93	1,35
<i>Cpi</i>	1,59	1,93
<i>Cps</i>	0,27	0,76
<i>Cpk</i>	0,27	0,76

Fonte: da autora

Tabela 12. Índices de capacidade da Estrutura 1, para o atributo COF VxV.

COF VxV		
	Impressão + Laminação	Corte
<i>LSE</i>	0,25	0,25
<i>VA</i>	0,17	0,17
<i>LIE</i>	0,10	0,10
<i>Cp</i>	1,28	1,04
<i>Cpi</i>	0,60	0,53
<i>Cps</i>	1,95	1,54
<i>Cpk</i>	0,60	0,53

Fonte: da autora

3.5.2 Estrutura 2

Para a Estrutura 1, formada por um filme impresso de BOPP transparente, laminado com um filme de BOPP metalizado, os cálculos dos índices de capacidade foram calculados da mesma forma que para a anterior, estando os resultados demonstrados nas Tabelas 13 e 14 abaixo, sendo a primeira referente ao atributo COF FxF e a segunda para COF VxV.

Tabela 13. Índices de capacidade da Estrutura 2, para o atributo COF FxF.

COF FxF		
	Impressão + Laminação	Corte
<i>LSE</i>	0,250	0,250
<i>VA</i>	0,200	0,200
<i>LIE</i>	0,150	0,150
<i>Cp</i>	0,602	0,698
<i>Cpi</i>	0,677	0,594
<i>Cps</i>	0,528	0,802
<i>Cpk</i>	0,528	0,594

Fonte: da autora

Tabela 14. Índices de capacidade da Estrutura 2, para o atributo COF VxV.

COF VxV		
	Impressão + Laminação	Corte
<i>LSE</i>	0,250	0,250
<i>VA</i>	0,175	0,175
<i>LIE</i>	0,100	0,100
<i>Cp</i>	1,463	1,338
<i>Cpi</i>	0,707	0,648
<i>Cps</i>	2,220	2,028
<i>Cpk</i>	0,707	0,648

Fonte: da autora

3.5.3 Estrutura 3

Seguindo a mesma lógica, os índices de capacidade do processo para a Estrutura 3 foram calculados. Esta estrutura é formada por um filme impresso de BOPP transparente e laminada com outro filme de BOPP transparente. Os resultados podem ser analisados a seguir, nas Tabelas 15 e 16, para COF FxF e COF VxV,

respectivamente. Os limites de especificação para esta estrutura são similares aos da Estrutura 2.

Tabela 15. Índices de capacidade da Estrutura 3, para o atributo COF FxF.

COF FxF		
	Impressão + Laminação	Corte
<i>LSE</i>	0,250	0,250
<i>VA</i>	0,200	0,200
<i>LIE</i>	0,150	0,150
<i>Cp</i>	0,488	0,744
<i>Cpi</i>	0,660	0,583
<i>Cps</i>	0,316	0,905
<i>Cpk</i>	0,316	0,583

Fonte: da autora

Tabela 16. Índices de capacidade da Estrutura 3, para o atributo COF VxV.

COF VxV		
	Impressão + Laminação	Corte
<i>LSE</i>	0,250	0,250
<i>VA</i>	0,175	0,175
<i>LIE</i>	0,100	0,100
<i>Cp</i>	0,869	0,842
<i>Cpi</i>	0,608	0,693
<i>Cps</i>	1,130	0,991
<i>Cpk</i>	0,608	0,693

Fonte: da autora

3.6 Análise de Correlação

Após realizado o estudo da capacidade do processo, para avaliar se existe uma correlação entre os valores encontrados na fase de corte (COF_{Final}) e a fase de impressão e laminação ($COF_{Inicial}$) foi feita a análise de correlação entre estes dados, para o parâmetro de COF FxF e para o parâmetro de COF VxV, para as três estruturas estudadas.

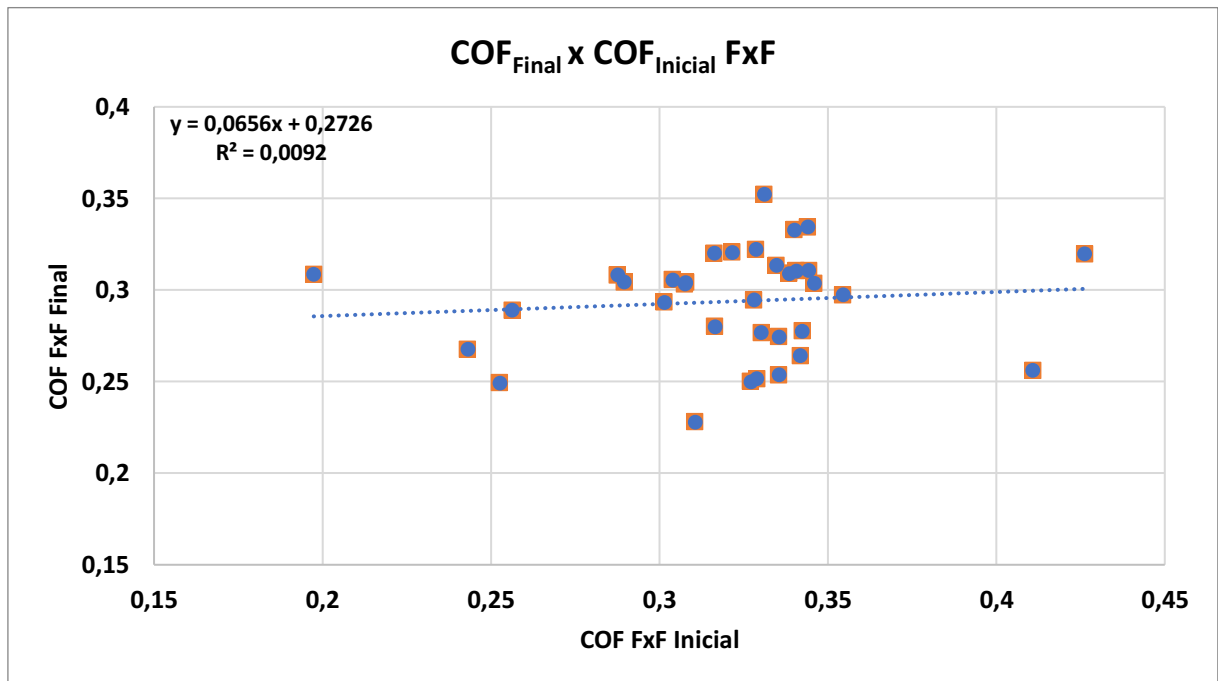
Além da análise de correlação mencionada acima, é necessário um tempo de cura mínimo de 24h para que o material possa ser cortado, após a fase de impressão

e laminação. No entanto, este tempo entre uma fase e outra pode variar a depender da programação de produção na empresa. Tendo isto em vista, foi feita a análise de correlação entre a variação de COF pelo tempo, em dias, entre as duas fases do processo.

3.6.1 Estrutura 1

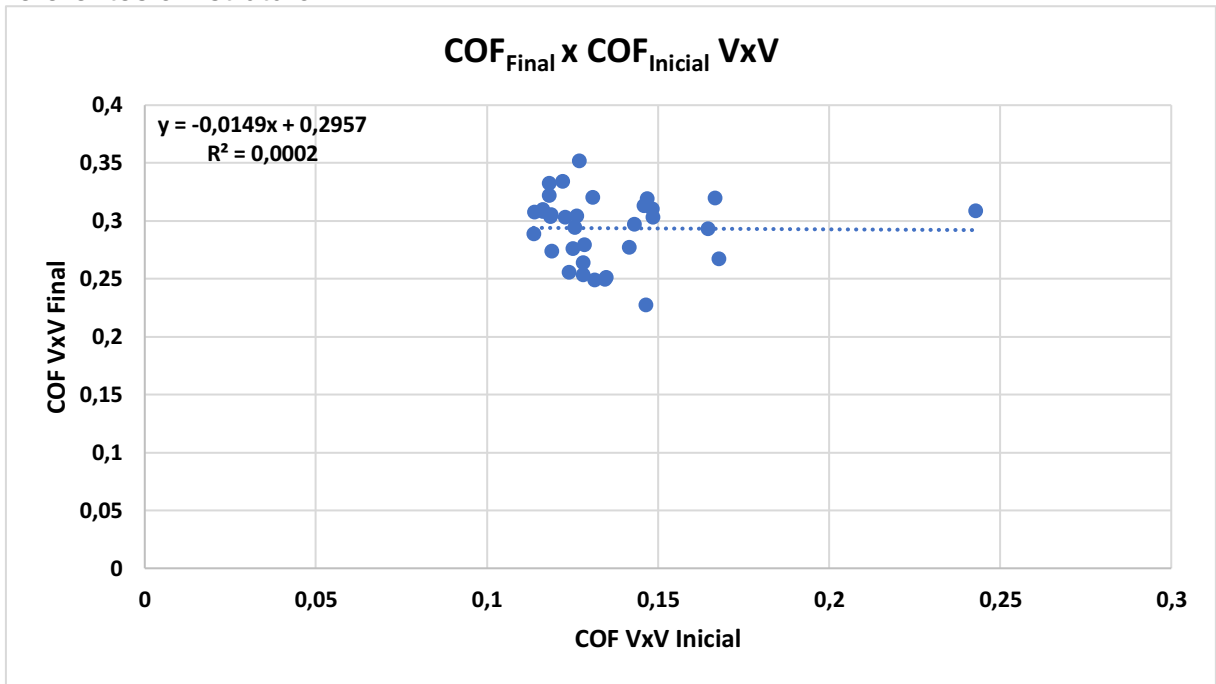
Para a estrutura formada por um filme de PET transparente e um filme de BOPP metalizado, a análise de correlação entre os valores de COF encontrados na fase de impressão e laminação e fase de corte estão demonstrados nas figuras abaixo, tanto para o COF FxF (Figura 24) como para o COF VxV (Figura 25). A análise de correlação da variação de COF com o tempo para o COF FxF e COF VxV estão demonstradas nas Figuras 26 e 27, respectivamente.

Figura 24. Análise de correlação entre os valores de $COF_{Inicial}$ e COF_{Final} FxF referentes à Estrutura 1.



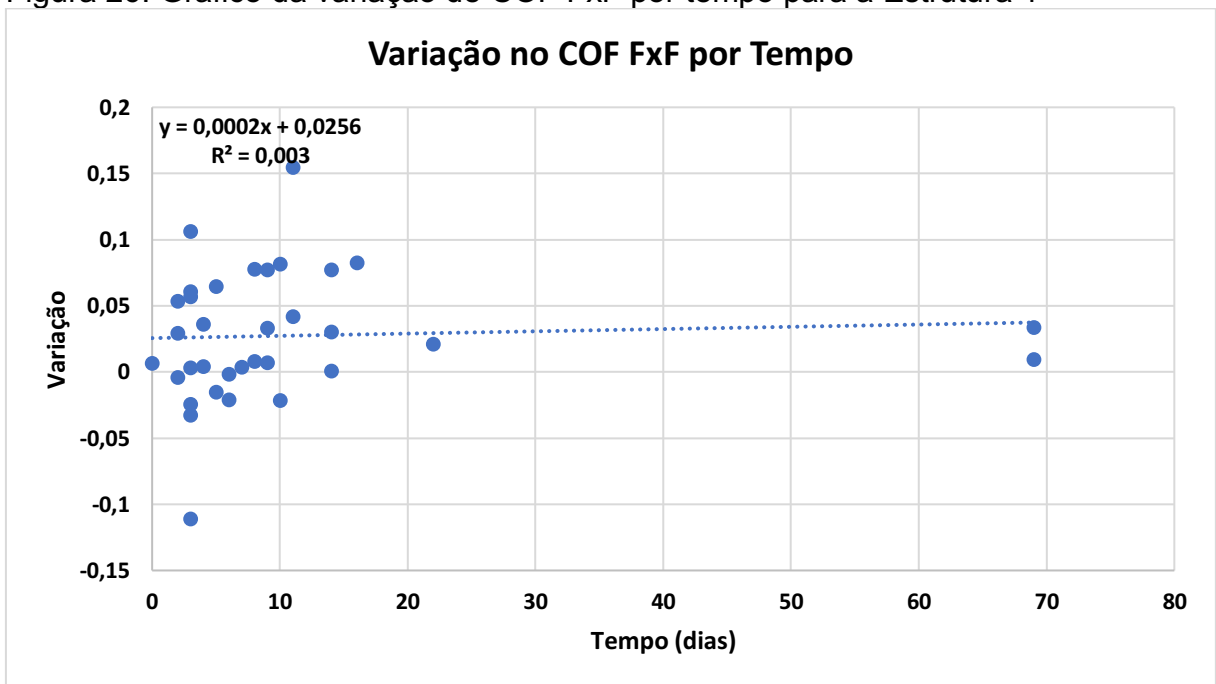
Fonte: da autora

Figura 25. Análise de correlação entre os valores de $COF_{Inicial}$ e COF_{Final} VxV referentes à Estrutura 1



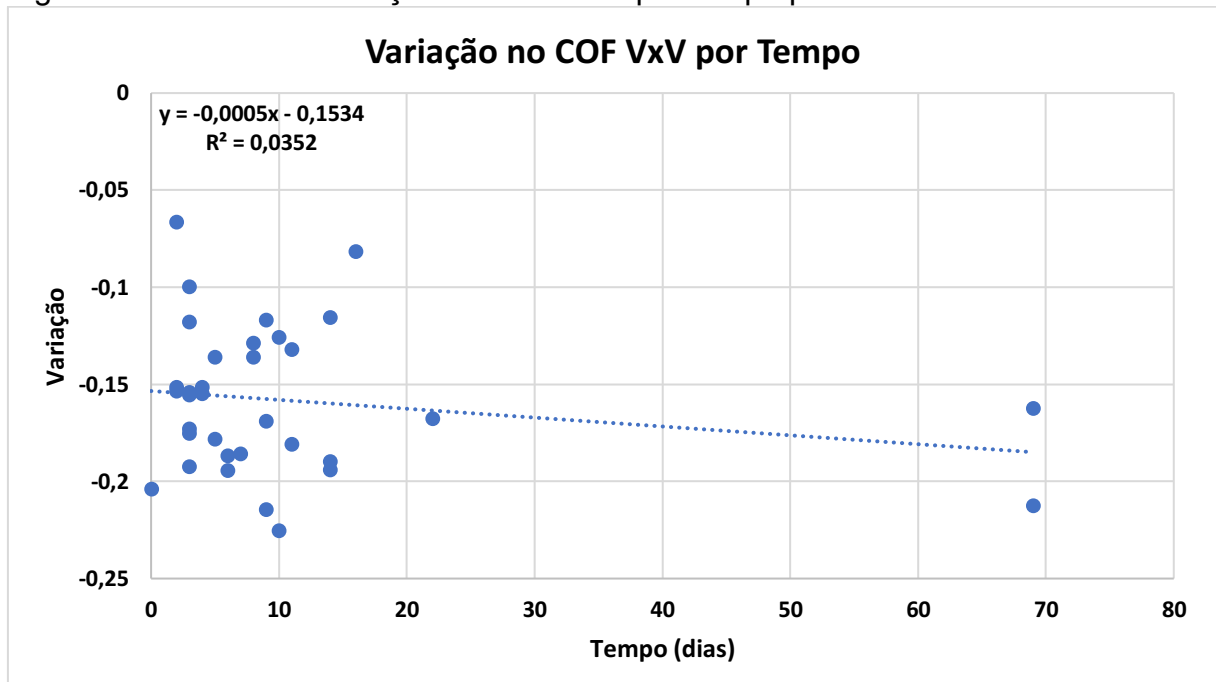
Fonte: da autora

Figura 26. Gráfico da variação de COF FxF por tempo para a Estrutura 1



Fonte: da autora

Figura 27. Gráfico da variação de COF VxV por tempo para a Estrutura 1

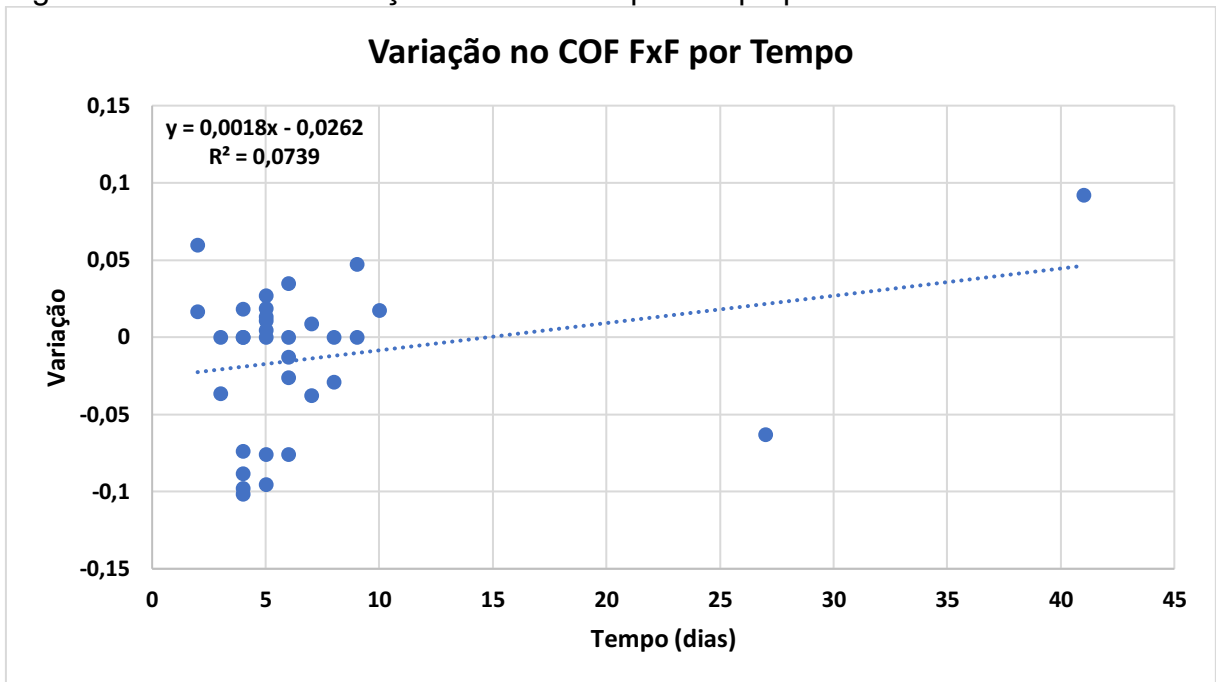


Fonte: da autora

3.6.2 Estrutura 2

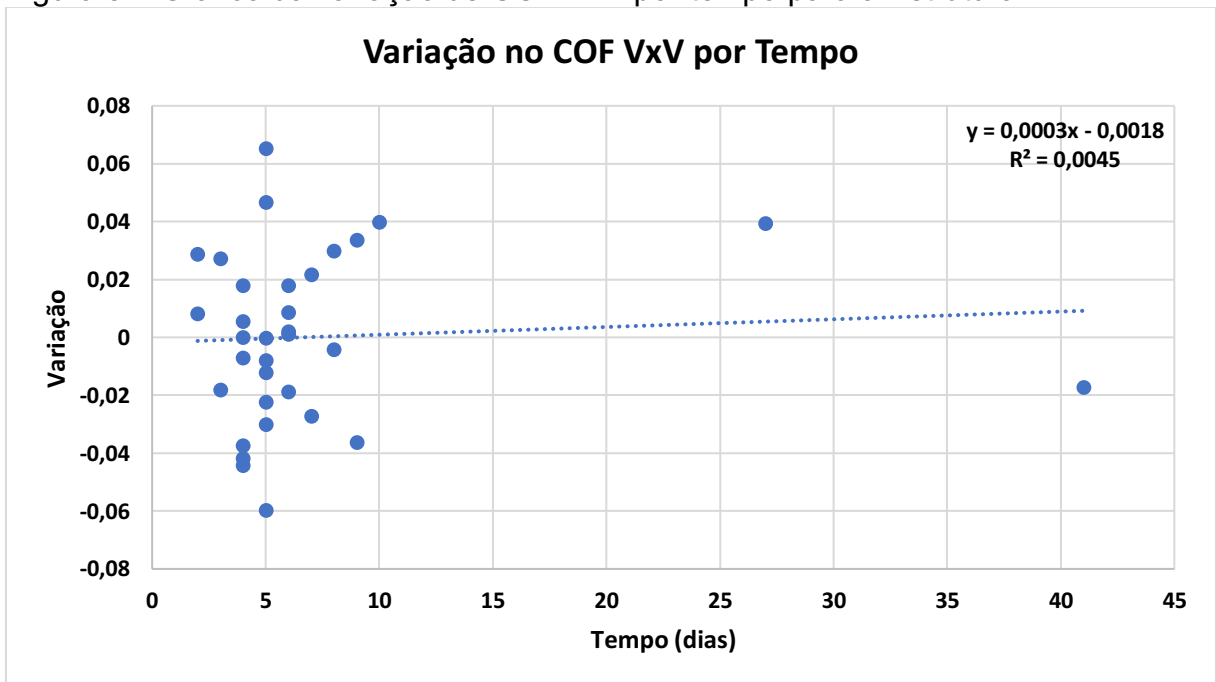
De forma similar à estrutura anterior, os gráficos referentes às análises de correlação para a estrutura formada por um filme de BOPP transparente e um filme de BOPP metalizado estão demonstrados nas figuras abaixo, sendo as Figuras 28 e 29 referentes às análises de correlação entre os valores de COF encontrados nas duas fases do processo, e as Figuras 30 e 31 referentes às análises de correlação da variação nos valores de COF FxF e COF VxV com o tempo, em dias.

Figura 30. Gráfico da variação de COF FxF por tempo para a Estrutura 2



Fonte: da autora

Figura 31. Gráfico da variação de COF VxV por tempo para a Estrutura 2



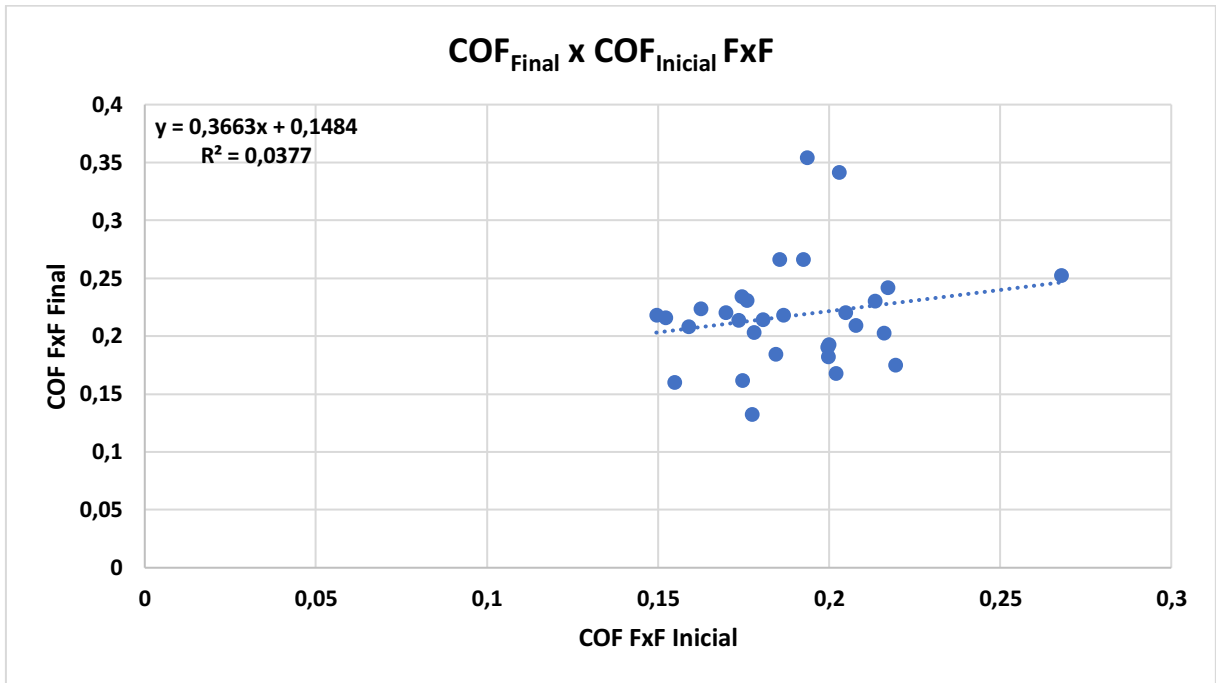
Fonte: da autora

3.6.3 Estrutura 3

Para a Estrutura 3, formada por dois filmes de BOPP transparente, as análises de correlação entre os valores de COF encontrados nas duas fases do processo estão

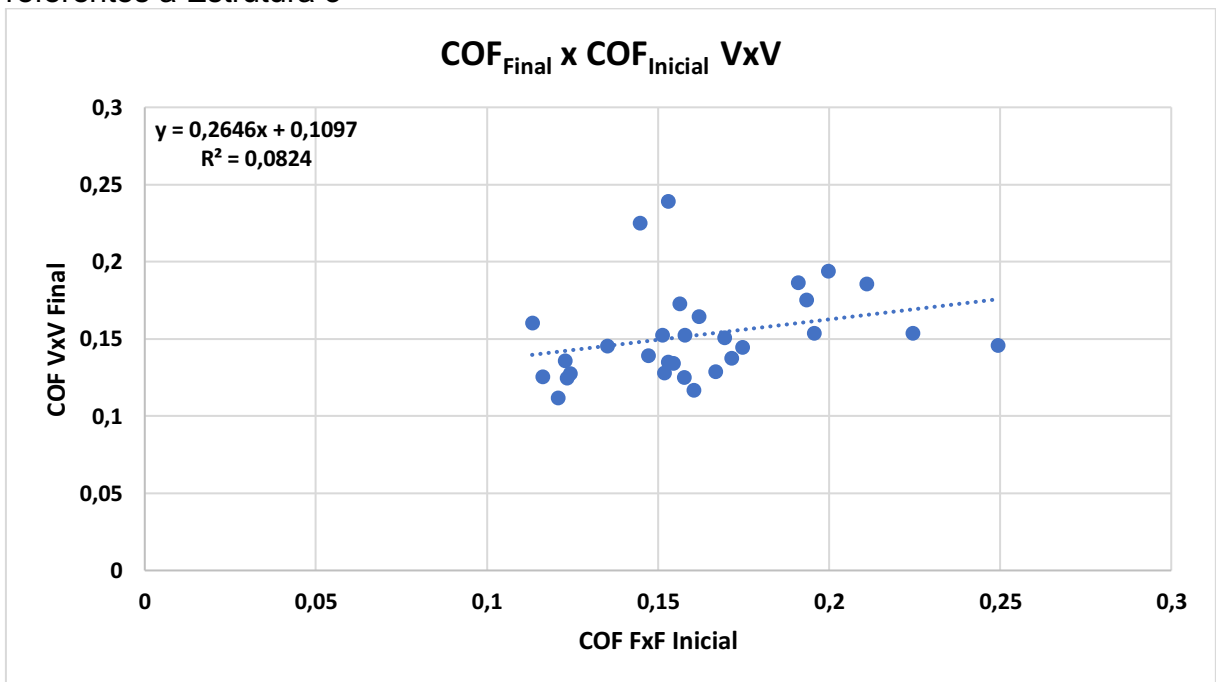
demonstradas nas Figuras 32 e 33, e as análises de correlação da variação do COF com o tempo estão demonstradas nas Figuras 34 e 35.

Figura 32. Análise de correlação entre os valores de $COF_{Inicial}$ e COF_{Final} FxF referentes à Estrutura 3



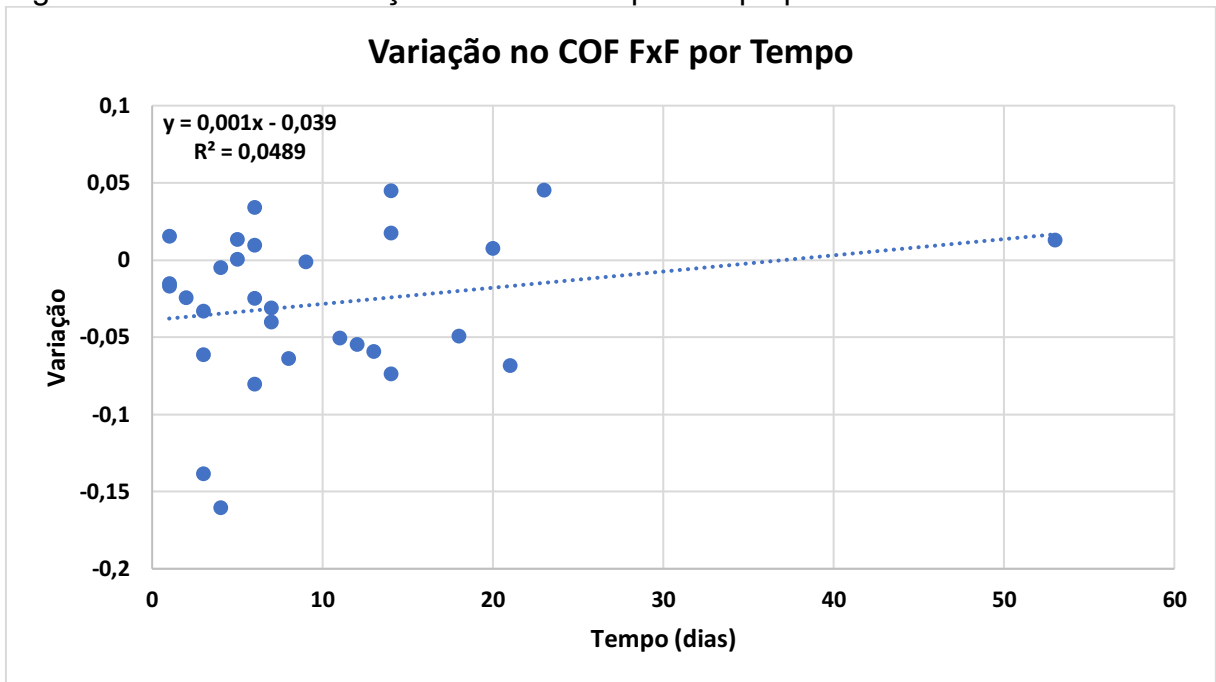
Fonte: da autora

Figura 33. Análise de correlação entre os valores de $COF_{Inicial}$ e COF_{Final} VxV referentes à Estrutura 3



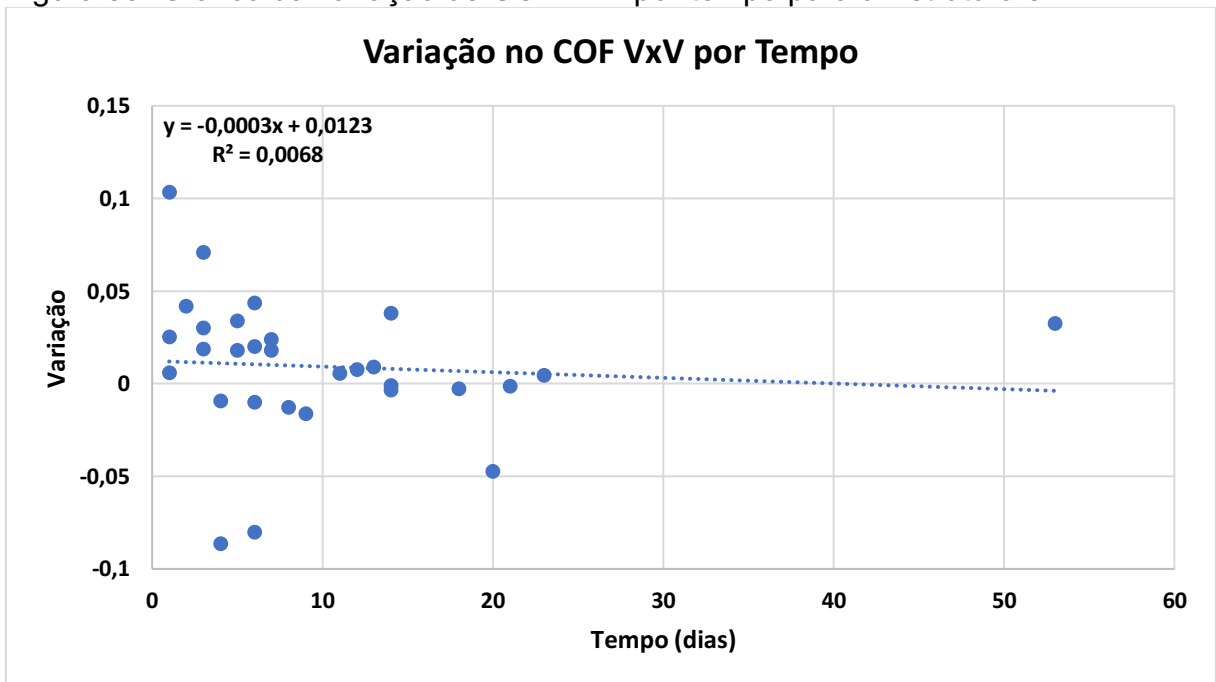
Fonte: da autora

Figura 34. Gráfico da variação de COF FxF por tempo para a Estrutura 3



Fonte: da autora

Figura 35. Gráfico da variação de COF VxV por tempo para a Estrutura 3



Fonte: da autora

4 DISCUSSÃO

A partir da análise dos gráficos X/MR , pode-se dizer que o parâmetro de COF não está sob controle estatístico para nenhuma das estruturas estudadas, tanto na fase de impressão e laminação como na fase final do corte, uma vez que ocorreram pontos fora dos limites de controle em todos os casos apresentados.

O estudo de capacidade do processo foi feito com o intuito de confirmar a não estabilidade do processo, uma vez que o C_p e C_{pk} devem ser calculados a partir de um processo que esteja sob controle estatístico. Por isto, os índices P_p e P_{pk} são melhores para discutir o desempenho do processo.

Abaixo é possível observar a comparação dos índices estudados para os parâmetros de COF FxF e COF VxV, nas duas fases de fabricação (Tabelas 17, 18, 19 e 20). Apesar de alguns índices de C_p estarem acima do valor 1,0, os índices C_{pk} , para todos os casos estudados se mostraram consideravelmente abaixo deste valor, confirmando assim que os processos de impressão. Isto ocorre, também, pelo fato de que a média do processo está deslocada em relação ao valor alvo esperado, para todos os casos estudados, fazendo com o índice C_{pk} fique com valores baixos.

Tabela 17. Comparação entre os índices C_p , C_{pk} , P_p , P_{pk} e PPM para o parâmetro de COF FxF na fase de impressão e laminação.

Indicador	Estrutura 1	Estrutura 2	Estrutura 3
C_p	0,930	0,602	0,488
C_{pk}	0,268	0,528	0,316
PPM	210.719	77.898	195.708
P_p	0,7834	0,4648	0,3582
P_{pk}	0,2258	0,4073	0,2318

Fonte: da autora

Tabela 18. Comparação entre os índices C_p , C_{pk} , P_p , P_{pk} e PPM para o parâmetro de COF FxF na fase de corte.

Indicador	Estrutura 1	Estrutura 2	Estrutura 3
C_p	1,346	0,698	0,744
C_{pk}	0,758	0,594	0,583
PPM	11.526	45.329	43.463
P_p	1,156	0,547	0,665
P_{pk}	0,650	0,465	0,521

Fonte: da autora

Tabela 19. Comparação entre os índices C_p , C_{pk} , P_p , P_{pk} e PPM para o parâmetro de COF VxV na fase de impressão e laminação.

Indicador	Estrutura 1	Estrutura 2	Estrutura 3
C_p	1,276	1,463	0,869
C_{pk}	0,602	0,707	0,608
PPM	35.437	17.023	34.322
P_p	1,016	1,181	0,830
P_{pk}	0,479	0,570	0,581

Fonte: da autora

Tabela 20. Comparação entre os índices C_p , C_{pk} , P_p , P_{pk} e PPM para o parâmetro de COF VxV na fase de corte

Indicador	Estrutura 1	Estrutura 2	Estrutura 3
C_p	1,037	1,338	0,842
C_{pk}	0,532	0,648	0,693
PPM	55.268	25.859	20.274
P_p	0,844	0,975	0,758
P_{pk}	0,433	0,472	0,624

Fonte: da autora

O mesmo pode ser observado para os índices de P_p e P_{pk} , como para o parâmetro de COF VxV na fase de impressão e laminação, onde os valores de P_p para as estruturas 2 e 3 ficaram acima de 1,0, no entanto, todos os valores encontrados do índice P_{pk} ficaram abaixo deste valor, mostrando mais uma vez que o processo deve ser considerado como incapaz.

O índice PPM indica a quantidade de medições, em partes por milhão, que pode ser encontrada fora dos limites de especificação do cliente. Para os parâmetros e estruturas estudados, este índice variou de 11.526 até 210.719 medições, sendo os dois referentes à mesma estrutura e ao COF FxF, porém, o primeiro se refere à fase de corte e o segundo à fase de impressão e laminação. Esta diminuição de medições fora do limite de especificação é coerente, uma vez que, o processo de corte é a última etapa no processo de fabricação antes do material ser expedido, sendo assim, o material deve estar estável após ocorrer o processo de cura do adesivo. No entanto, para o COF VxV isto ocorreu apenas para a estrutura 3, mostrando assim, mais uma vez, que o parâmetro de COF é bastante variável e dependente de diversos fatores.

Para este estudo foram feitas duas análises de correlação, uma entre os valores obtidos nas análises realizadas durante a fase de corte (COF_{Final}) e nas análises realizadas durante a fase de impressão e laminação ($COF_{Inicial}$), e outra avaliando se existe correlação entre a variação no valor de COF com tempo decorrido entre as duas fases do processo. Com estes estudos é possível avaliar se existe uma tendência de comportamento para o parâmetro de COF nas estruturas. O resultado das análises está demonstrado nas tabelas abaixo (Tabelas 21 a 24).

Tabela 21. Correlação entre $COF_{FxF_{Final}}$ e $COF_{FxF_{Inicial}}$ para as três estruturas estudadas

Estrutura	Intercept	Slope	R²
1	0,2726	0,0656	0,0092
2	-0,0514	0,2161	0,0019
3	0,1484	0,3663	0,0377

Fonte: da autora

Tabela 22. Correlação entre $COF_{VxV_{Final}}$ e $COF_{VxV_{Inicial}}$ para as três estruturas estudadas

Estrutura	Intercept	Slope	R²
1	0,2957	-0,0149	0,0002
2	0,1169	0,1416	0,0272
3	0,1097	0,2646	0,0824

Fonte: da autora

Tabela 23. Correlação do COF FxF com o tempo entre as fases de corte e impressão e laminação das três estruturas estudadas.

Estrutura	Intercept	Slope	R²
1	0,0256	0,0002	0,003
2	0,0018	-0,0262	0,0739
3	-0,039	0,001	0,0489

Fonte: da autora

Tabela 24. Correlação do COF VxV com o tempo entre as fases de corte e impressão e laminação das três estruturas estudadas

Estrutura	Intercept	Slope	R²
1	-0,1534	-0,0005	0,0352
2	-0,0018	0,0003	0,0045
3	0,0123	-0,0003	0,0068

Fonte: da autora

Os resultados mostrados acima demonstram que não existe correlação significativa para nenhum dos casos propostos. Portanto, não há uma tendência de

comportamento para os valores de COF FxF e COF VxV encontrados na fase do corte, quando comparado com os valores encontrados na fase de impressão e laminação, sendo que os índices de R^2 variaram entre 0,0019 e 0,0377 para os valores de COF FxF (Tabela 21) e entre 0,0002 e 0,0824 para os valores de COF VxV (Tabela 22).

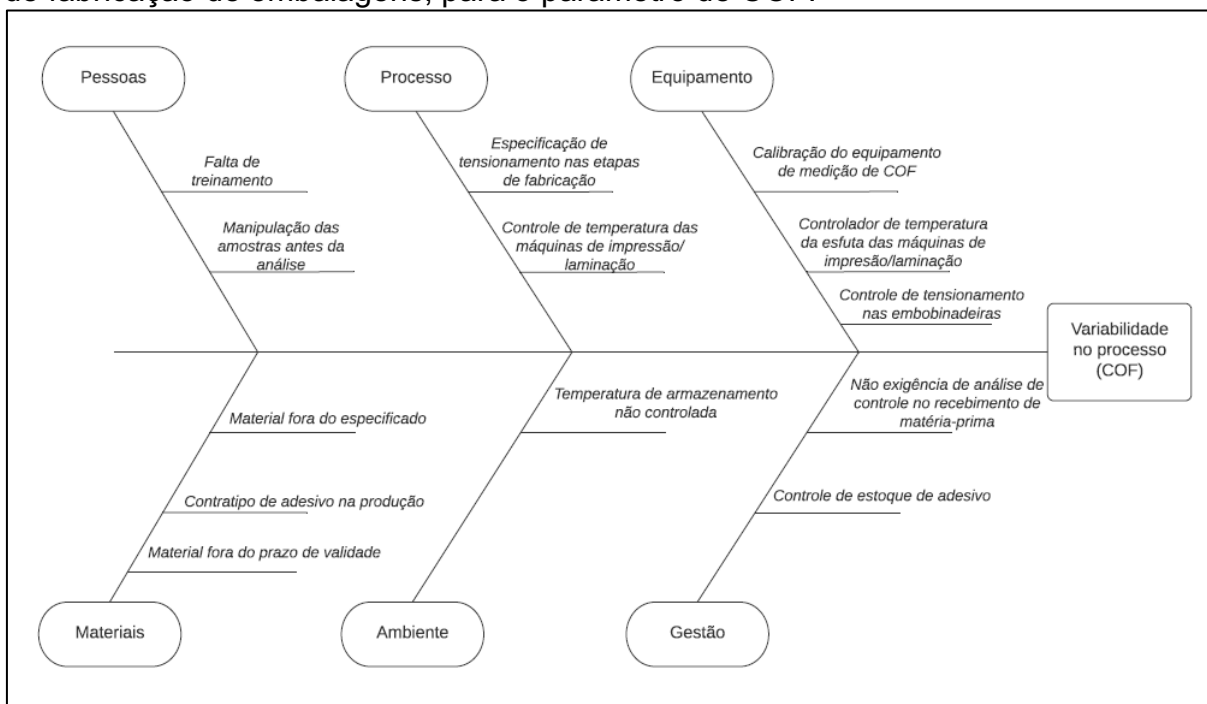
Além disto, também não foi possível observar correlação na variação de COF com o tempo transcorrido entre uma etapa do processo e outra, para nenhuma das três estruturas, tendo sido obtido índices de R^2 variando entre 0,003 e 0,0739 para o COF FxF e entre 0,0045 e 0,0352 para o COF VxV.

Outro ponto importante a ser analisado é a inclinação da reta (*slope*), o qual ficou com valores próximos a zero, indicando também que não há relação significativa nos casos avaliados, uma vez que, entre o COF_{Final} e $COF_{Inicial}$, o maior valor de *slope* obtido foi para a estrutura 3, tanto para o COF FxF como para o COF VxV, com valores de 0,3663 e 0,2646, respectivamente. Referente a correlação entre o tempo entre as fases do processo, os valores do *slope* foram ainda mais baixas, não ultrapassando o valor nominal de 0,0262, com inclinação negativa, para o COF FxF da estrutura 2.

Considerando as observações feitas até o momento, a pesquisa de campo realizada e as variáveis analisadas, foi realizado um *brainstorming* para que futuras pesquisas possam ser feitas para a melhor compreensão do comportamento do parâmetro de COF nas embalagens de biscoito, visto que este parâmetro não possui um processo altamente capaz, e, assim, a empresa fica sujeita à possíveis lotes de produção com valores fora dos limites de especificação, aumento retrabalho e perdas durante o processo.

O *brainstorming* foi realizado utilizando a ferramenta do Google Meet, e, participaram da reunião quatro pessoas que já estiveram envolvidas no processo da empresa e com as dificuldades apresentadas em relação ao parâmetro de COF, dentre os participantes, estavam presentes um pesquisador, um técnico de laboratório e dois analistas de Pesquisa e Desenvolvimento. A partir do *brainstorming* realizado, foi elaborado um diagrama de Ishikawa com possíveis causas na variabilidade do processo para o parâmetro de COF, e o mesmo está mostrado abaixo (Figura 36).

Figura 36. Diagrama de Ishikawa para possíveis causas da variabilidade no processo de fabricação de embalagens, para o parâmetro de COF.



Fonte: da autora

Com a elaboração do diagrama de Ishikawa foi possível observar diferentes possíveis causas para a variabilidade do processo e, para realizar um estudo mais aprofundado de algumas destas, seria necessário recursos extras por parte da empresa. Inicialmente, o ideal seria realizar treinamento dos profissionais dos laboratórios de controle de qualidade, com o intuito de padronizar o procedimento de medição das análises, frisando a importância na maneira de manipulação das amostras.

Além disto, como proposta de melhoria para a empresa, pode-se ressaltar a importância de se realizar o controle de qualidade no recebimento das matérias prima e uma gestão de estoque de matéria prima e químicos mais eficiente, além de se realizar um controle das variáveis mais críticas de forma a se obter resultados mais rapidamente, para que seja possível a tomada de decisão para melhoria do processo.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho abordou a complexidade na conversão de embalagens plásticas flexíveis para biscoito, uma vez que existem diversas variáveis envolvidas no processo, e a necessidade de ser realizado um rígido controle de qualidade para que todas as especificações do cliente sejam atingidas, para que o mesmo não possua problemas durante o processo de envase de seus produtos. Um dos parâmetros de maior importância é o coeficiente de fricção das embalagens, o qual reflete diretamente na velocidade de empacotamento e, por consequência, na produtividade do cliente.

Primeiramente foram escolhidas três estruturas de embalagem para biscoito dentro do portfólio da empresa, priorizando a mesma rota de produção. Após esta escolha, foram coletadas amostras durante as fases de produção e realizadas as medições do parâmetro de COF FxF e COF VxV, além de informações como data de produção, temperatura média e umidade relativa do ar.

Posteriormente foi feito o estudo da capacidade do processo completo, iniciando-se com a avaliação dos dados para a tomada de decisão de qual gráfico de carta controle seria utilizado, e então, devido à predominância da variabilidade entre as amostras e à baixa variabilidade intra-amostral, decidiu-se utilizar o gráfico X/MR . Após os cálculos dos parâmetros de processo, o mesmo foi avaliado e então os índices de capacidade foram calculados e, por fim, as análises de correlação foram feitas.

A partir do exposto, concluiu-se que os parâmetros de COF para as três estruturas estudadas não atendem o estudo de capacidade, uma vez que este parâmetro não está sob controle estatístico, e, portanto, o processo se mostrou incapaz em todos os casos. Além disto, viu-se que não há correlação significativa nem entre os valores de COF encontrados durante a fase final do processo e durante a fase de impressão e laminação; nem entre a variação dos valores de COF com o tempo decorrido entre as duas etapas do processo. Com isto, foi realizado um *brainstorming* para analisar outras possíveis causas para a variabilidade do processo, e assim, foi construído um Diagrama de Ishikawa para que a empresa avalie os possíveis estudos futuros, com o intuito de alcançar um processo produtivo capaz.

REFERÊNCIAS

ABRE, **Estudo ABRE macroeconômico e de tendências**, 2019. Disponível em: < <https://www.abre.org.br/dados-do-setor/ano2019/> >. Acesso em: 29 mar 2021.

BARÃO, M. Z. **Embalagens para produtos alimentícios**. Dossiê técnico – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2011, Paraná, 2011.

BAYEUX, C. **Análise da capacidade de processos (Parte I)**. Banas Qualidade, p. 57-60, 2001.

BERNARDI, E. **Boas Práticas de Fabricação: Controle de qualidade de matérias-primas, ingredientes e embalagens**. Instituto Federal de Santa Catarina – Campus São Miguel do Oeste, 2017. Disponível em: < <http://tecnologiaemalimentos.smo.ifsc.edu.br/wp-content/uploads/2017/05/Relat%C3%B3rio-de-est%C3%A1gio-Eliza-Bernardi.pdf> >. Acesso em: 11 mai. 2021.

DIRECT INDUSTRY. **Catálogo de produtos**. Disponível em: < <https://www.directindustry.com/pt/prod/comexi-group-industries/product-75442-1412959.html> >. Acesso em: 07 mai. 2021

FARIAS, A.M.L.; DEMARQUI, F.N. **Análise de variância de um fator**. Instituto de Matemática e Estatística, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2017.

FILHO, D. B. F.; ROCHA, E. C.; JUNIOR, J. A. S.; *et al.* **Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson: o retorno**. Leviathan, n.8, p. 66-95, 2014.

GAVA, A. J. **Tecnologia de Alimentos: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008.

GONÇALVES, P. U.; WERNER, L. **Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não-normais**. Gestão da Produção, v.16, n. 1, p. 121-132, 2009.

GUIMARÃES, P. R. B. **Análise de correlação e medidas de associação**. n.d. Disponível em: < <https://docs.ufpr.br/~jomarc/correlacao.pdf> >. Acesso em: 20 abr 2021.

LINS, B. F. E. **Ferramentas básicas da qualidade**. Ciência da Informação, v. 22, n. 2, p. 153 – 161, Brasília, 1993.

MENDES, A. S. **Gráficos de controle fuzzy para o monitoramento da média e amplitude de processos univariados**. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2019.

MENDONÇA, B. **Estudo da ocorrência de canaletas no processo de laminação em uma indústria de embalagens flexíveis**. 2019. 44 f. Relatório Técnico/Científico (Graduação) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Santa Catarina, 2019.

MOTA, L. R. **Controle de qualidade de embalagens flexíveis para biscoitos**. 2004. 69 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Católica de Goiás, Goiás, 2004.

NOBRE LAMINADOS. **Portfólio online**. Disponível em: < <http://www.nobrelaminados.com.br/portfolio/embalagem-para-biscoitos/> >. Acesso em: 07 mai. 2021

PIVA, A. C. **Caracterização de aditivos em filmes flexíveis de polietileno**. Dissertação (Mestrado). Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2014.

REIS, M. M. **Um modelo para o Ensino do Controle Estatístico da Qualidade**. Florianópolis: UFSC, 2001.

ROMANI, S.; TAPPI, S.; BALESTRA, F.; *et al.* **Effect of diferente new packaging materials on biscuit quality during accelerated storage**. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 95, p. 1736-1746, 2015.

ROSA, L. C. **Introdução ao controle estatístico de processos**, 2^a ed., Santa Maria: EdUFMS, 2015.

SAMOHYL, R. W. **Controle Estatístico da Qualidade**. Rio de Janeiro, Elsevier, 2009.

SILVA, A. L. F.; NOQUEIRA, E. L.; CAMPOS, W. S. *et al.*, Using control charts for variables (x and R): study on the diameter of the screws using the minitab® software, Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications, Vol 05, n 18, p 105-112, 2019.

TWED, D.; GODDARD, R. **Materiais para embalagem**. Tradução, 2^a ed. São Paulo: Ed Blucher, 2009.

VASQUEZ, M. **Melhoria do controle do impresso em processos de rotogravura**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

THOMAS, D. W.; BARRETT, C. S.; BLANKESTEIN, E. E. *et al.* **Statistical Quality Control Handbook**. Western Electric Company, New York: Mack Printing Company, 1956.