

ANÁLISE DE PERDAS EM UM PROCESSO PRODUTIVO DE EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS

*Guilherme Pereira da Silva*¹

*Me. Darlan Marques da Silva*²

RESUMO

A produção das embalagens plásticas tornam-se muito complexa devido às variáveis no processo de produção, a qualidade e especificações do produto são essenciais para sua aplicação e utilização no mercado. Através do polietileno em grão aquecido em alta temperatura transformam-se em uma pasta líquida que dá início à produção do plástico, resinas especiais denominadas como aditivos que contribuem para um melhor fluxo na produção e características do plástico como brilho, resistência à temperatura, melhor soldabilidade entre outros. O setor de extrusão é onde se inicia a transformação do polietileno em plástico, pois quaisquer falhas no setor ocasionam transtornos nos demais processos de produção; assim iniciamos um estudo na produção de dois produtos com estruturas iguais com dimensões diferentes, foram coletados dados da produção e quantidades de perdas por máquina, através da Análise de Dados do próprio Excel e do *software* @Minitab17 para gerar alguns gráficos, possibilitando analisar se há alguma diferença significativa da variabilidade das falhas entre as máquinas, através das análises foi possível identificar quais máquinas são melhores para a produção de determinado item, assim contribuindo para melhor aproveitamento de matéria-prima, menor custo para produção e maior lucratividade do produto.

Palavras-chaves: Perdas. Embalagens Plásticas. ANOVA. Máquinas.

¹ Acadêmico do curso de graduação em Engenharia de Produção.

² Professor da Universidade de Rio Verde – Orientador.

1. INTRODUÇÃO

O mercado de embalagens cresce ao redor do mundo, destacando-se o de embalagens plásticas, que demonstra uma evolução tecnológica sob forte influência na tendência e inovação de diversos produtos em vários setores industriais e comerciais, contribuindo na conservação destes produtos e no fácil manuseio que auxilia a distribuição de mercadorias, cooperando de forma positiva com as exportações e importações, refletindo-se na geração de novos empregos e oportunidades de negócios que eleva os indicadores econômicos (ABRE- Associação Brasileira de Embalagens, 2015).

Segundo a ABIEF (2016), com relação à produção de plástico no Brasil, destaca-se o plástico “verde” fabricado há cinco anos pela BRASKEM, sendo um polietileno criado da cana-de-açúcar. Em comparação com o polietileno tradicional usado na maioria dos processos de produção de plásticos, o polietileno verde além de ser economicamente viável é capaz de manter a qualidade da produção e ajudar nos aspectos ambientais, suas vantagens de fabricação mais realçadas e a sua completa biodegradação no meio ambiente, o processamento é totalmente correto e limpo, minimizando assim os impactos ambientais. Entretanto, o polietileno verde ganha espaço e força no mercado de resinas mundial, pois é utilizado para produção de diversos produtos em grandes e renomadas indústrias ao redor do mundo.

Com esse mercado aquecido e com alta competitividade, fabricantes de resinas analisam atentamente as oportunidades e buscam inovações e desenvolvimento de novas tecnologias, pois almejam conquistar novos mercados que permitem substituir ou utilizar o plástico no lugar de materiais como vidro, papel, madeira, dentre outros (FACHIN, 2006). Através da tecnologia consegue-se obter “design” e arte para atribuir cores, informações e ilustrações nas embalagens, e visa agregar valores ao produto, e facilitar o fluxo de informações que resulta em um menor tempo nas prateleiras, assim contribui na aceitação e maior comercialização de produtos. Para outras finalidades e segmentos, consegue-se produzir embalagens com resistência a impactos, oscilações de temperatura, barreiras a gases, contaminação microbiana e vapores.

Portanto, sabe-se que as embalagens plásticas são importantes para a evolução e concorrência de mercado, porém sua produção é complexa e variável, e exige um controle de qualidade rigoroso para que se produza de acordo com padrões solicitados pelos clientes.

Diante da complexidade e importância deste cenário, viabiliza o surgimento de uma lacuna em estudar a produção de embalagens, fazendo uma análise estatística para avaliar o desempenho da produção das máquinas em uma empresa deste segmento, situada em uma cidade na região sudoeste do estado de Goiás, o que possivelmente auxiliará a gerência no suporte e tomada de decisões na organização em estudo.

2. CONSTITUIÇÃO E PROPRIEDADES DAS EMBALAGENS

Com amplo mercado as embalagens plásticas atendem principalmente aos setores: farmacêuticos, industriais, cosméticos, alimentícios, de higiene e limpeza, e são divididas em: flexíveis, rígidas e sacaria de rafia. De acordo com o mercado consumidor e o tipo de produto acondicionado, a importância da embalagem para a comercialização do produto será diferente, embora, no geral, ela tenha as funções de descrever as características do produto, atrair a atenção, criar confiança do consumidor e reproduzir uma impressão global vantajosa (PADILHA; BOMTEMPO, 1999).

Alguns clientes demandam embalagens que priorizam o caráter de proteção ao produto, como é o caso das embalagens industriais com barreira de gases, sacaria e containers. Neste caso inovador, tanto no produto quanto no processo, visa sempre a atender às necessidades dos seus clientes no que tange às características físicas, químicas e mecânicas da embalagem. A escolha do produto inovador é baseada em atender às exigências do cliente em relação ao desempenho da embalagem, preço e qualidade (PADILHA; BOMTEMPO, 1999).

A indústria de produtos plásticos faz parte da cadeia produtiva da petroquímica; sendo o petróleo um mineral formado por vários compostos, através de sua destilação pode-se obter diversos produtos, como diesel, óleo combustível, gasolina, lubrificantes, e outros compostos químicos que são utilizados em indústrias de tintas na fabricação de pneus, resinas, fertilizantes, enfim, são inúmeros derivados do petróleo. Sabe-se que é imprescindível iniciar os estudos sobre a nafta, pois é a matéria-prima básica para toda a cadeia de produção das resinas plásticas (FACHIN, 2006).

2.1 MATÉRIA-PRIMA

Nos estudos de Gil (2007), através da extração da nafta a indústria petroquímica produz diferentes resinas plásticas. Os plásticos ou polímeros como são chamados, são polimerizados e transformados em pequenos grãos que têm um tamanho específico determinado, este tamanho é de extrema importância para o processo de transformação do plástico que faz o material descer de forma ordenada pelo funil da máquina cada qual voltada para uma finalidade específica, os principais polímeros fornecidos para as indústrias transformadoras de plástico são o Polipropileno³ (PP), Policloreto de Vinila⁴ (PVC - *Polyvinyl chloride*), Polietileno⁵ de Alta Densidade (PEAD), Polietileno de Baixa Densidade (PEBD).

Raramente as resinas possuem aditivos para melhorar as propriedades do plástico durante o processo de fabricação, ocasionalmente é necessário adicioná-los no processo; aditivos são pequenas quantidades de material que se incrementam ao polímero para manter ou melhorar seu desempenho, processabilidade, ou adicionar características ao plástico que se deseja fabricar para atender tal necessidade de uso (PIATTI, 2005).

As características impermeáveis do plástico que asseguram a vida útil de produtos perecíveis por mais tempo, contribuem para maior segurança alimentar e combatem o desperdício de comida. Além das vantagens de armazenamento e preservação da qualidade dos produtos, os plásticos também se sobressaem pela leveza, que proporcionam economia no transporte das mercadorias e redução de CO₂ emitido na atmosfera (NEOPLASTIC, 2016). Veja a Tabela 1 que mostra os principais aditivos e suas respectivas funções.

Estes aditivos são considerados como fatores cruciais que devem ser atendidos para que a empresa atenda a qualidade requerida pelos clientes, devendo a empresa focar naqueles que são mais importantes para cada tipo cliente, com as necessidades e objetivos delineados pelos mesmos.

3 Polipropileno é um polímero com fórmula molecular $(C_3H_6)_x$ densidade 0,85 g/cm³ amorfo e 0,95 g/cm³ cristalino com ponto de fusão aproximadamente 165° C.

4 Policloreto de Vinila conhecido como PVC, tem fórmula molecular $(C_2H_3Cl)_x$ e densidade 1,38 g/cm³ a 1,40 g/cm³.

5 Polietileno é polímero simples e barato o tipo mais comum dos plásticos, obtém-se pela polimerização do etileno.

TABELA 1: Aditivos e Funções

ADITIVO	FUNÇÃO
DESLIZANTE	É um aditivo que como o próprio nome diz promove uma superfície mais escorregadia, com menos atrito.
ANTIBLOQUEIO	Sua função é promover uma irregularidade superficial na camada aditivada normalmente costuma ser um mineral.
AUXILIAR DE FLUXO	É um composto tipo Teflon, que vai lubrificando as paredes da matriz evitando a rugosidade que é retirada do filme.
PIGMENTOS	Atribuir cor desejada.
CARGAS	Reduzir custos e aumentar a resistência ou desgaste por abrasão.
PLASTIFICANTE	Aumentar a flexibilidade.
BIOCIDA	Inibir a degradação por microrganismos.
ESTABILIZANTE TÉRMICO	Evitar a decomposição por aquecimento.
ANTIESTÁTICO	Evitar eletrização por atrito.
ANTIOXIDANTE	Minimizar a oxidação provocada com oxigênio e ozônio atmosféricos.
LUBRIFICANTE	Reduz a viscosidade.

Fonte: Adaptado de Piatti (2005).

2.2 PROPRIEDADES DOS POLÍMEROS

Na concepção de Rocha (2002) e Paula (2013), no processo de fabricação de embalagens plásticas flexíveis destacam-se algumas propriedades dos polímeros utilizados: Resistência Mecânica; Alongamento durante a Resistência Mecânica; Resistência à Soldabilidade, Ópticas e Barreira de Gases. Todas elas são destacadas abaixo sob o prisma destes mesmos autores.

- Resistência Mecânica: é a força necessária para romper uma área do filme, sendo medida em força por área (Kgf/cm²)⁶. Este valor é obtido por aparelho de laboratório

⁶ Kgf/cm² representa uma unidade de pressão, significa quilograma força por centímetro quadrado.

chamado dinamômetro que movimenta duas garras em sentido contrário, importante para definir quantos quilogramas (kg) a embalagem suportaria. Destacando-se em ótima resistência mecânica os Polímeros: Polietileno Metaloceno⁷ (EPE), PP e o NYLON.

- Alongamento durante a Resistência Mecânica: definindo-se o valor de alongamento durante a aplicação da força necessária para romper uma área do filme, é medida em porcentagem (%). Este valor é usado junto com a resistência mecânica para facilitar a interpretação, praticamente pode-se exemplificar as sacolas de supermercado que tem baixo alongamento. Destacando-se em ótimo alongamento os Polímeros: PEBD, Polietileno Linear de Baixa Densidade (PEBDL), EPE e PP.
- Resistência à Soldabilidade: Sendo a força necessária para romper a solda, é medida em força por área, Kgf/cm. Assim como a resistência mecânica, o seu valor é obtido em aparelho de laboratório chamado dinamômetro que movimenta duas garras em sentido contrário até o rompimento da solda. É utilizado para saber se a solda resistirá ao produto quando for colocado ou se a solda está fraca, destacando-se como ótimo neste requisito os Polímeros: PEBDL e EPE.
- Ópticas: são as propriedades visuais, brilho, transparência e opacidade.
- Barreira aos Gases: sendo uma importante propriedade da embalagem para barrar elementos gasosos que vão prejudicar o produto embalado, umidade e oxigênio são os mais comuns. São medidos em aparelhos específicos, destacam-se, contra vapores d'água e oxigênio os Polímeros: PEAD, PEBD, PEBDL, EPE, PP barreira de proteção à água, NYLON barreira de proteção a oxigênio.

Partindo do pressuposto de que se conhecem as propriedades e a constituição dos produtos em estudo, faz-se necessário conhecer por quais etapas ou processos que passam os insumos, para a constituição do produto final, como será retratado na próxima seção.

⁷ Polietileno Metaloceno é polímero de nova tecnologia de síntese com microestrutura e propriedades controladas, obtidos via sistema catalítico metaloceno/MAO.

3. ETAPAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Diante de muitas variáveis do processo de transformação da matéria-prima ao produto pronto para comercialização, implica grandes desafios perante a grande variedade e personalização das embalagens plásticas. Toda produção é flexível e pode-se produzir em diferentes tamanhos e formas; destacam-se as etapas do processo de fabricação: Extrusão, Impressão e Corte solda.

A extrusão, segundo Rocha (2002), durante a transformação da matéria-prima plástica consiste em forçar em movimento horizontal através de um canhão de aquecimento com o auxílio de uma rosca em movimento constante, por meio da pressão e temperatura, em uma matriz com a forma de um anel, onde um jato de ar constante expande o material formando um balão, roletes localizados acima achatam e mantêm o plástico esticado que logo em seguida é bobinado. Na preparação onde se misturam os polietilenos com aditivos específicos que dão as características ao material, o processo de extrusão é onde se inicia a transformação da matéria-prima sólida em um produto plastificado.

Soares (2012) esclarece que os principais componentes de uma extrusora são destacados abaixo.

- Motor: responsável pela rotação da rosca.
- Cilindro: região por onde os polietilenos são introduzidos nas zonas de aquecimento, onde se dará a fusão completa do polímero.
- Rosca: tem como função transportar o polietileno em grão contido no funil de alimentação através do cilindro aquecido, para promover sua plastificação. Em seguida ocorre a homogeneização do material fundido, que terá seu fluxo direcionado para a matriz.
- Telas e porta-telas: a tela tem como função reter impurezas que possam causar furos no balão e propiciar uma contrapressão adequada ao escoamento de material, permitir maior grau de homogeneização do fundido. O porta-telas melhora a homogeneização do fundido, além de quebrar o escoamento circular causado pela rosca, transformando-o num escoamento laminar.

- Matriz: a matriz ou cabeçote tem importância na distribuição do fluxo de massa fundida proveniente da extrusora. Para proporcionar que a massa fundida escoe em regime laminar na saída da matriz e resulte em um filme de superfície uniforme.
- Unidade de resfriamento: A importância do anel de ar é fundamental para se obter um resfriamento uniforme, boas propriedades mecânicas e espessuras uniformes para os filmes. O resfriamento é executado através de um anel de ar. O ar não deve somente resfriar a massa fundida uniformemente, mas também suportá-la, o que contribui para a estabilidade do balão.
- Unidade de arraste: Esta unidade é constituída por uma estrutura metálica chamada de torre, e serve de suporte para os demais elementos da unidade de arraste: as saias, os rolos guias e os rolos puxadores. A torre é um elemento de grande importância na obtenção de filmes com boa qualidade, o filme passa por ela até chegar ao bobinamento.

Devido à complexidade do processo com um alto grau de exigência e eficácia, os equipamentos mais utilizados no processo de impressão das embalagens plásticas são as máquinas *Offset*, seguidas pelas Rotogravuras e Flexografia (COLANERI; GARCIA, 2007). De acordo com Scarpeta (2007), a impressão é o processo mais complexo da produção, as impressoras denominadas como impressoras flexográficas, é onde os filmes obtidos no processo de extrusão são impressos.

Na visão de Bem (2002), os principais componentes básicos para impressão dos filmes plásticos através de uma impressora flexográfica são destacados abaixo:

- Desbobinados: têm como função acoplar a bobina de filme à máquina e promover o desbobinamento do filme.
- Tambor central: é um suporte para manter o filme devidamente ajustado para receber a impressão dos grupos impressores.
- Grupos impressor: o grupo é composto por Câmara *doctor-blade*, Anilox, Clichê e Cilindro porta-clichês. A Câmara *doctor-blade* é uma espécie de estojo que contém um par de lâminas. Esta câmara acomoda e distribui a tinta em todo anilox, as lâminas raspa o excesso de tinta que retorna a um recipiente próprio. O Anilox é um cilindro cerâmico cuja sua superfície é constituída de células gravadas a laser numa quantidade e profundidade pré-estabelecida, as células são responsáveis por captar a tinta e

transferir para o clichê. O clichê é feito de fotopolímero flexível onde através de um equipamento específico são gravadas as formas que se desejam imprimir, o clichê é colado com uma fita dupla-face no cilindro porta-clichês que por sua vez é um tipo de camisa com material polimérico que serve de suporte para o clichê.

- Rebobinador: tem função de rebobinar o filme já impresso no final do processo.

O corte faz parte do processo final de acabamento, esse processo é responsável pela transformação dos filmes impressos em sacos. A bobina impressa é alinhada na máquina que passa por um alinhador triângulo para dobrar o filme, em seguida passa em um registro de fotocélula onde aciona os rolos tracionadores ativando o cabeçote de selagem, assim o cabeçote desce sobre o filme dobrado que por sua vez faz o corte no material. Esse é um processo que requer maior tempo para ser realizado, pois as embalagens são cortadas individualmente (CARVALHO *et al.*, 2014).

4. PROCESSAMENTO DE EMBALAGENS

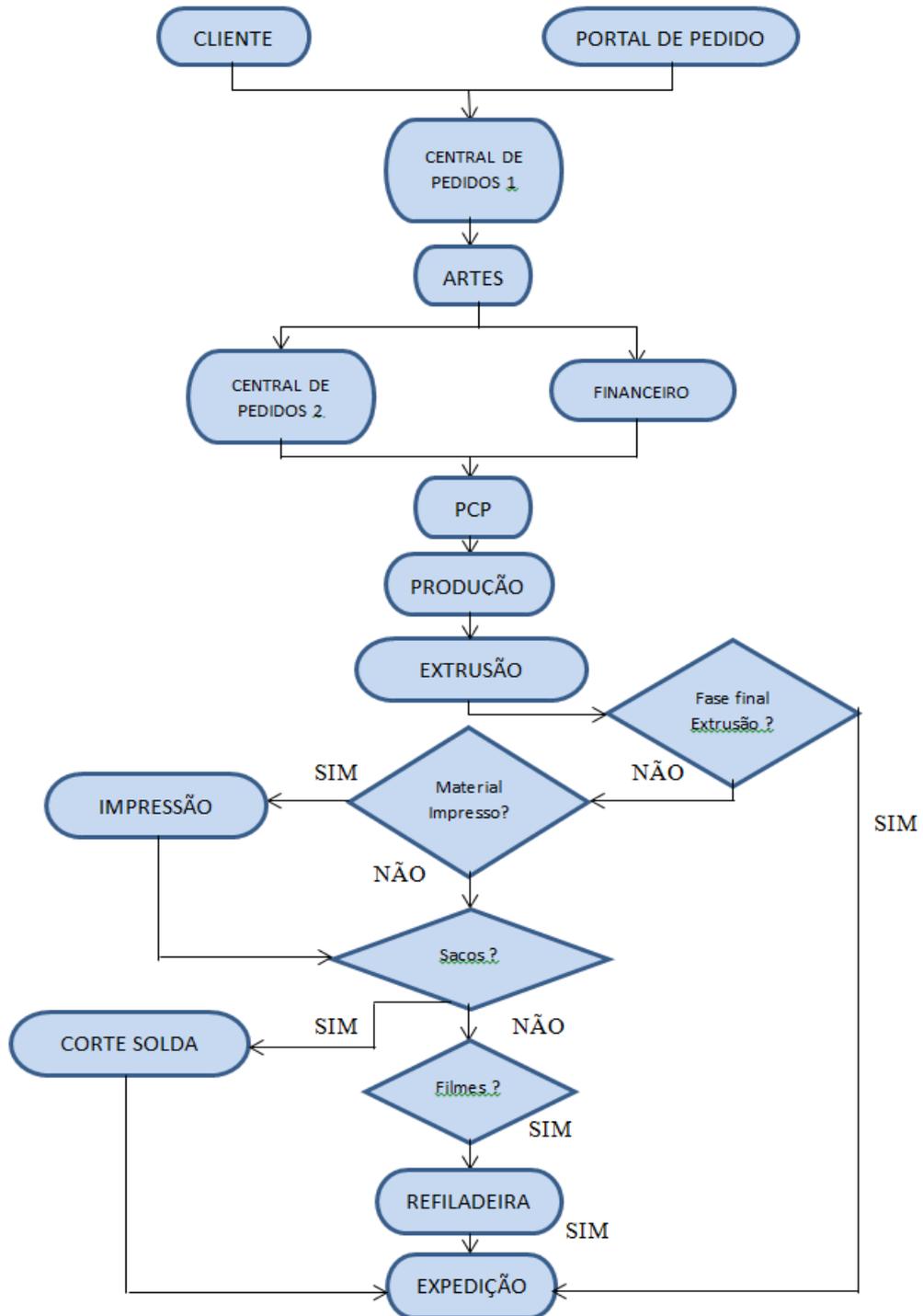
Na empresa em estudo as embalagens plásticas são produzidas através de pedidos, em uma produção empurrada e com *Lead Time* a cumprir, torna-se necessária uma produção rápida, eficaz e com qualidade para o cumprimento da programação do maquinário, quantidades a produzir e previsão de produção. Veja esquema de produção na Figura 1 para melhor entendimento das fases de produção de determinados itens.

O portal de pedidos é onde o cliente faz seus pedidos via internet com as devidas medidas, observações e exigências. Em seguida os pedidos entram na central de pedidos 1 onde é feito todo cadastro dos itens e o mapeamento da produção por qual determinado item irá passar. O departamento de arte recebe os itens já cadastrados e busca aprovação da arte dos materiais junto com o cliente, com a arte aprovada os pedidos são liberados para o financeiro conferir prazos de pagamento e limites de créditos bancários, a central de pedidos 2 é responsável de liberar os pedidos para o PCP onde se confere quantidades, datas de entrega, logística e liberação para produção.

Na produção os itens passam pelos setores de acordo com suas fases de produção, tudo acompanhado pelo PCP que organiza a programação da produção e dimensionamento, o material pronto é direcionado à expedição por qual ficará estocado até no dia do carregamento de acordo com a data de entrega. A cadeia de processos foi projetada com intuito de otimizar

o tempo para produzir e evitar retrabalhos, portanto cada setor tem seu *lead time*, assim nenhum pedido ou procedimento fica parado, e faz girar todo processo.

FIGURA 1: A fabricação de embalagens dentro da empresa



Fonte: Desenvolvido pelo próprio autor (2016).

Como se sabe, que em todo processo produtivo é praticamente inviável trabalhar com 100% de otimização de forma que não haja falhas. No ramo da produção de embalagens não é

diferente, assim é importante destacar esta definição que pode gerar altos custos às organizações.

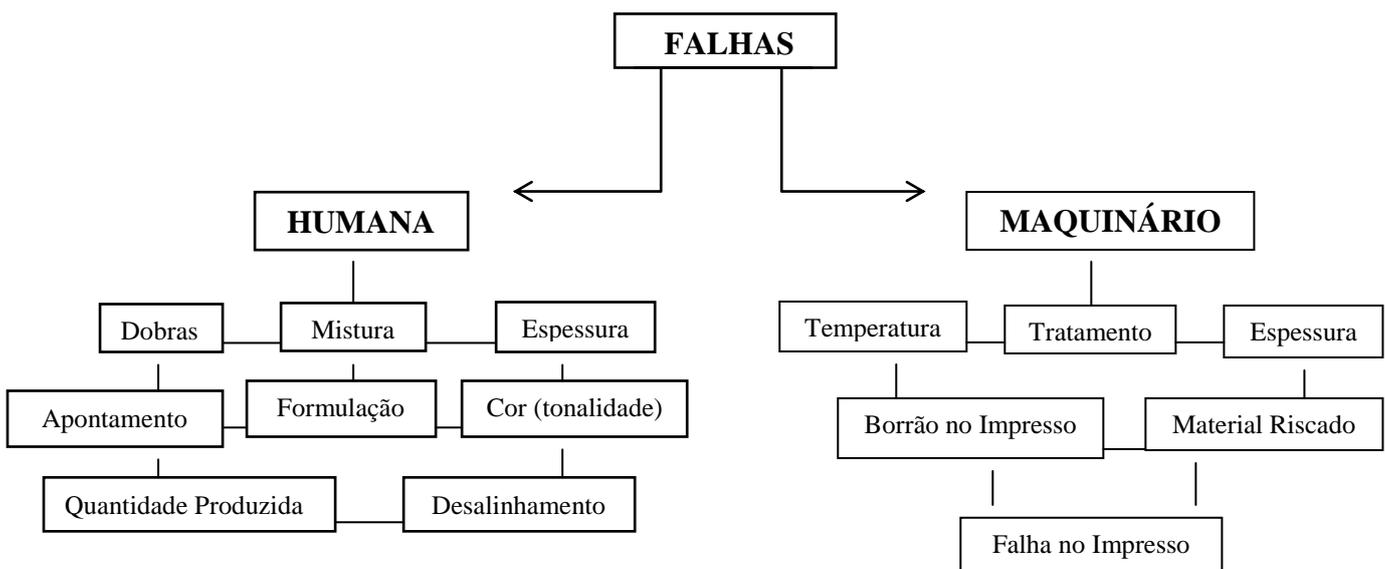
5. FALHAS

Fillietaz (2006) esclarece que minimizar as falhas e recuperá-las é uma forma da empresa ganhar vantagens competitivas sobre as outras, pois quanto menor os custos do processo produtivo, maior será sua margem de lucro dos produtos.

Segundo o mesmo autor as falhas podem ser classificadas em três tipos: (1) as falhas que têm fontes dentro da produção, devido ao projeto global mal feito, ou porque suas instalações e pessoal não fazem o procedimento correto que deveriam; (2) falhas que são causadas por falhas de informação fornecidas à operação, ou por falhas no material e; (3) falhas que são causadas por ações dos clientes.

Quando um processo apresenta um grande número de falhas é essencial fazer o estudo de como será realizada a produção de determinado item complexo, assim prevenimos alguma possibilidade de ocorrer falha humana e minimizar as chances no falhas no maquinário. Veja abaixo a figura das principais falhas no processo em estudo, divididas em falhas humanas ou decorrentes do maquinário.

FIGURA 2: Falhas do processo



Fonte: Desenvolvido pelo próprio autor (2016).

Com o controle e conhecimento das falhas o comportamento operacional ou processo de produção podem mudar. Slack (1997) destaca que as formas de medir falhas através das taxas de falhas, especifica com que frequência as falhas ocorrem, confiabilidade, disponibilidade e o período de tempo útil disponível para a operação.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o sistema de gestão da produção pode-se organizar, programar, coletar informações e organizar bancos de dados; assim possibilita estabelecer um “status” da produção melhorando o dimensionamento e MRP (*Manufacturing Resource Planning*) da produção.

O filme Termoencolhível é um dos materiais mais produzidos na empresa em estudo, é um filme de alta resistência que quando em contato com altas temperaturas encolhe-se transversal e longitudinal, sua maior aplicação concentra-se em indústrias de bebidas, alimentícias, cosméticos, açúcar e álcool. O tamanho e espessura do filme podem variar dependendo de cada aplicação, portando a qualidade e características do filme devem ser produzidas perfeitamente de acordo com o pedido do cliente. Diante da máxima exigência de qualidade tornou-se necessário iniciar um estudo de perdas, produtividade e melhor rendimento da produção desses itens.

Foi realizado um estudo de caso com coletas de dados reais, *in loco*, da produção durante oito meses, registrando as quantidades produzidas, perdas e tempo gasto para produção de dois diferentes tamanhos de filmes (FILME 80x 0,020 e FILME 75x 0,020) em três máquinas diferentes (M02, M09 e M10) que produziam os dois produtos.

Para se fazer uma análise estatística da variabilidade dentro do grupo de máquinas e entre as máquinas utilizadas para produzir, e possibilitar o diagnóstico se as perdas das máquinas e variabilidade entre elas se relacionam, ou seja, se existe algum problema fora do comum na produção em determinada máquina. Os dados foram lançados como planilha no Excel e as interpretações foram realizadas utilizando as ferramentas de análise estatística de variância (ANOVA com um fator único) através da Análise de Dados do próprio Excel e do *software* @Minitab17 para gerar alguns gráficos, pois a análise de variância é a metodologia estatística que avalia a significância dos diversos fatores e interações (RIBEIRO; CATEN, 2011) mostra se há diferença significativa das perdas ou se não há nenhuma diferença

significativa, assim colabora na tomada de decisões em qual máquina deve-se produzir para melhor rendimento e menor perda.

Vale ressaltar, que todos os cálculos foram tomados como tolerância um erro de 5%, ou seja, trabalhou-se com uma confiança de 95%.

7. ANÁLISE DE DADOS

Para a análise dos dados vale destacar que o percentual de perdas por lote foi estabelecido através da quantidade de aparas dividida pela quantidade produzida. O tempo gasto para produção dos lotes foi calculado respeitando as seguintes restrições de rendimento das máquinas: M02- 160 Kg/hr; M09- 130 Kg/hr; M10- 130 Kg/hr, dividindo a quantidade produzida pela capacidade do maquinário obteve-se o tempo gasto para produzir cada lote.

7.1 ANÁLISES DE VARIÂNCIA FILME 80x 0,020

A Análise de Variância (ANOVA) pode ser usada para testar a igualdade dos efeitos de tratamentos (MONTGOMERY; RUNGER, 2009), ou seja, deve-se verificar se existe uma diferença significativa entre as falhas ou se não existe nenhuma diferença significativa. Através da ferramenta ANOVA com fator único, formou-se a hipótese nula e alternativa a serem testadas, contudo realizou-se uma comparação múltipla das médias e quantidade de explicação entre e dentro dos grupos.

Hipóteses:

- { H₀: Não há diferença significativa de variabilidade entre as máquinas,
- { H₁: Há diferença significativa de variabilidade entre as máquinas.

Os dados para análise do primeiro produto estão destacados, no quadro abaixo (Ver Figura 3).

FIGURA 3: Percentual de perdas por máquina do filme 80x 0,02

TAMANHO 80x 0,020

M2	M9	M10
2,00%	1,33%	4,71%
6,08%	7,47%	7,22%
4,44%	3,78%	2,00%
14,05%	10,05%	0,82%
7,26%	11,91%	13,95%
8,84%	7,57%	17,88%
30,35%	1,78%	4,21%
15,78%	5,25%	4,74%
8,88%		
8,82%		
11,95%		
8,57%		
2,85%		
10,24%		

Fonte: Empresa em estudo (2016).

A seguir tem-se o resumo dos dados, de acordo com o Excel (ver Figura 4), na qual revela a quantidade de dados para cada máquina, sendo a M9 e M10 com 8 e a M2 com 14 amostragens. O valor médio da M2 (0,100076) caracterizou-se um pouco mais elevado que as demais máquinas, enquanto que variância da M9 (0,001441) mostrou-se um menor valor.

FIGURA 4: Resumo do Excel para o Filme 80x0,02

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
M2	14	1,40106	0,100076	0,004944
M9	8	0,4913	0,061412	0,001441
M10	8	0,55537	0,069421	0,003543

Fonte: Saída do @Excel (2016).

Em seguida tem-se a saída do @Excel em relação à ANOVA, que nos permite concluir através do P-valor (0,30089), por ser maior que 0,05 (erro considerado), não se

rejeita a hipótese nula que não há diferença significativa de variabilidade entre as máquinas, conforme a Figura 5.

FIGURA 5: ANOVA para verificar o teste de hipótese do Filme 80x0,02

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,009225848	2	0,004613	1,256061	0,30089	3,35413
Dentro dos grupos	0,099158393	27	0,003673			
Total	0,108384241	29				

Fonte: Saída do @Excel (2016).

Assim, permitiu-se realizar a Comparação Múltipla das Médias para comprovar tal fato e desenhar o Gráfico de Médias, analisando primeiro o Desvio Padrão das Médias \bar{S}_y (Fórmula 1) tendo: MQR (quadrado médio residual) a variância dentro do grupo e NC (quantidade média de grupos nos níveis dos fatores) a quantidade de dados dividida pela quantidade de grupos. Salienta-se que todas as fórmulas foram baseadas em Montgomery e Ruger (2009).

$$\bar{S}_y = \sqrt{MQR} / \sqrt{NC} \quad (1)$$

$$\bar{S}_y = \sqrt{0,0036725} / \sqrt{10}$$

$$\bar{S}_y = 0,01916$$

Assim, viabilizou realizar o cálculo do Limite de Decisão L_d (Fórmula 2).

$$L_d = 3 \cdot \bar{S}_y \quad (2)$$

$$L_d = 3 \cdot (0,01916)$$

$$L_d = 0,05748$$

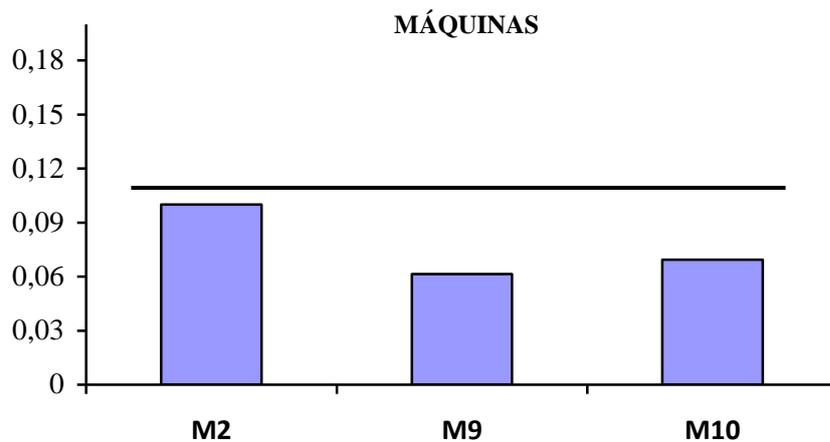
Comparando o valor do limite de decisão com a média entre as máquinas pode-se verificar se existe diferença significativa entre as máquinas por pares. Usando-se barras contínuas sobre as médias que não diferem entre si,

- $M2(0,1000756) - M9(0,0614121) = 0,03866 < L_d (0,05748)$, então não há diferença significativa;

- $M9(0,0614121) - M10(0,0694213) = 0,00801 < L_d (0,05748)$, então não há diferença significativa.

O que se permitiu fazer o gráfico de análise das médias (Figura 6). Como as máquinas não diferem entre si a máquina M9 apresentando um menor valor médio é a melhor opção em relação às perdas do processo, aparas.

FIGURA 6: Gráfico das perdas em função de cada máquina



Fonte: Saída do Excel (2016).

Com a finalidade de verificar o quanto da variação é explicado dentro da máquina e entre as máquinas, a opção foi estimar os componentes de variação: MQR - Variância dentro do grupo (Fórmula 3) e MQG - Variância entre grupos (Fórmula 4),

$$E [MQR] = \sigma^2 \quad (3)$$

$$E [MQR] = 0,0036725,$$

e,

$$E [MQG] = \sigma^2 + NC \cdot \sigma^2 \quad (4)$$

$$0,0046129 = 0,0036725 + 10 \cdot \sigma^2$$

$$\sigma^2 = 0,00009404.$$

A estimativa total (Fórmula 5),

$$\sigma^2 = \sigma^2 + \sigma^2 \quad (5)$$

$$\sigma^2 = 0,0036725 + 0,00009404$$

$$\sigma^2 = 0,00376654,$$

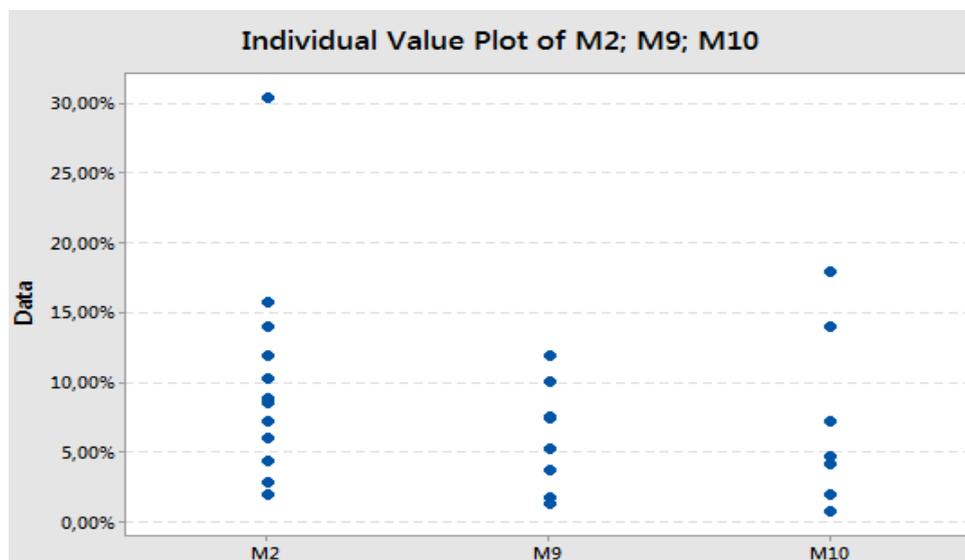
logo,

$$\begin{aligned} & \sigma^2 / \sigma^2 \\ & = 0,0036725 / 0,00376654 \\ & = 0,975 \\ & \sim 97,50 \% . \end{aligned}$$

Desta forma, aproximadamente, 97,50% da variabilidade total observada dos valores das perdas das máquinas deve-se a diferença “entre as máquinas” e apenas 2,50% deve-se a diferença dos valores “dentro das próprias máquinas”.

A visualização gráfica permite observar a variação dos dados com bastante clareza, sendo mais acentuada para a máquina M2, principalmente devido à influência do ponto que se encontra em torno dos 30% (Ver Figura 7).

FIGURA 7: Visualização gráfica variação dos dados



Fonte: Saída do @Mintab17.

7.2 ANÁLISE DE VARIÂNCIA FILME 75x 0,020

A análise também foi realizada para a produção de filme 75x0,020. Os dados para análise deste filme estão destacados no quadro abaixo (ver Figura 8).

FIGURA 8: Percentual de perdas por máquina do filme 75x0,020

TAMANHO 75x 0,020

M2	M9	M10
10,97%	2,50%	1,64%
0,38%	0,62%	0,36%
0,85%	8,48%	1,94%
0,62%	1,24%	3,50%
1,42%	3,15%	1,83%
2,89%	1,88%	1,02%
7,57%	10,47%	5,19%
0,89%		1,54%
23,20%		1,22%
6,80%		4,59%
13,65%		6,28%
0,08%		4,36%
3,90%		6,75%
46,83%		

Fonte: Empresa em estudo (2016).

De acordo com o Excel (ver Figura 9), revela a quantidade de dados para cada máquina sendo a M9 com 7, M10 com 13 e M2 com 14 amostragens. O valor médio da M2 (1,20046) mostrou mais elevado que as demais máquinas, enquanto que M10 (0,03093) mostrou-se um menor valor de variância. Destaca-se que as hipóteses levantadas foram as mesmas do tópico anterior.

FIGURA 9: Resumo do Excel para o Filme 75x0,02

RESUMO					
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
M2		14	1,20046	0,08575	0,01646
M9		7	0,28352	0,0405	0,00147
M10		13	0,40209	0,03093	0,00046

Fonte: Saída do @Excel (2016).

Em seguida tem-se a saída do @Excel em relação à ANOVA, através do P-valor (0,23683), por ser maior que 0,05 (erro considero), não se rejeita a hipótese nula que não há diferença significativa de variabilidade entre as máquinas, conforme a Figura 10.

FIGURA 10: ANOVA para verificar o teste de hipótese do Filme 75x0,02

ANOVA							
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	
Entre grupos	0,02223	2	0,01112	1,50945	0,23683	3,30482	
Dentro dos grupos	0,22828	31	0,00736				
Total	0,25051	33					

Fonte: Saída do @Excel (2016).

Usando (Fórmula 1) desvio padrão das médias:

$$\bar{S}_y = \sqrt{0,007364 / \sqrt{11,333333}}$$

$$\bar{S}_y = 0,02549.$$

O Limite de Decisão L_d (Fórmula 2):

$$L_d = 3 \cdot (0,02549)$$

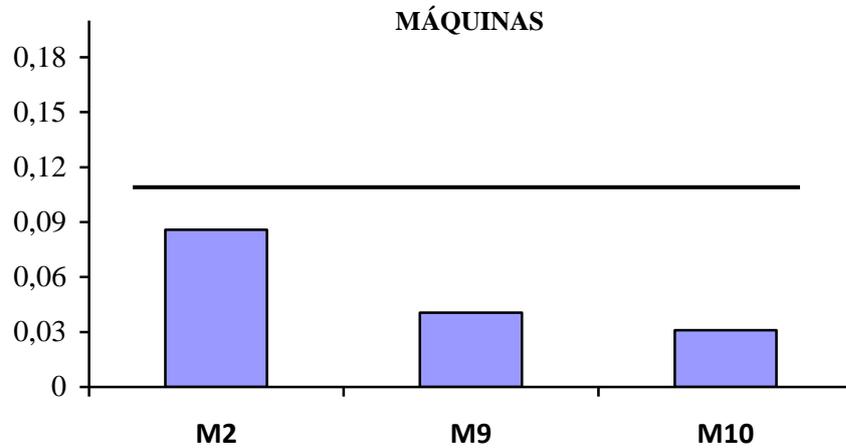
$$L_d = 0,07647.$$

Analisou-se o valor do limite de decisão com a média entre as máquinas, usaram-se barras contínuas sobre as médias que não diferem entre si,

- $M2(0,08575) - M9(0,04050) = 0,04524 < L_d (0,07647)$, então não há diferença significativa;
- $M9(0,04050) - M10(0,03093) = 0,00958 < L_d (0,05748)$, então não há diferença significativa.

Veja gráfico de análise das médias (Figura 11). Como as máquinas não diferem entre si, portanto a melhor opção em relação às perdas do processo é a máquina M10 apresentando um menor valor médio.

FIGURA 11: Gráfico das perdas em função de cada máquina



Fonte: Saída do Excel (2016).

Usando as fórmulas (3) e (4), respectivamente, dos componentes de variação:

$$E [MQR] = 0,007364,$$

e,

$$0,011115 = 0,007364 + 11,333333 \cdot \sigma^2$$

$$\sigma^2 = 0,00375100.$$

A estimativa total (Fórmula 5),

$$\sigma^2 = 0,007364 + 0,00375100$$

$$\sigma^2 = 0,011115,$$

logo,

$$\sigma^2 / \sigma^2$$

$$= 0,007364 / 0,011115$$

$$= 0,663$$

$$\sim 66,25 \%$$

(maior que 10%) em comparação às demais máquinas; tendo em vista os aspectos observados na produção do filme 75x0,020 a máquina M10 é a melhor opção em relação ao menor percentual de perdas, para este filme a M2 apresentou o pior desempenho entre as máquinas.

Em virtude dos fatos mencionados, a máquina M2 apresentou um nível mais elevado de variação e percentual de perdas, portando essa máquina é a pior opção para se produzir Filme Termoencolhível nos tamanhos 75x0,020 e 80x0,020.

REFERÊNCIAS

ABIEF. **Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Plásticas Flexíveis**. Disponível em: <www.abief.com.br/noticias.php#580> Acesso em: 20 de Abril de 2016.

ABRE. **Associação Brasileira de Embalagens**. Disponível em: <www.abre.org.br/setor/apresentacao-do-setor/a-embalagem/> Acesso em: 21 de Abril de 2016.

BEM, A. N. **Implantação do conceito de troca rápida de ferramentas no setor de impressão flexográfica em empresas produtoras de embalagens plásticas flexíveis**. Universidade Federal de Santa Catarina, mestrado em engenharia, Florianópolis, 2002.

CARVALHO, E.; EMILIA, M.; AUGUSTO, A. **Processo de fabricação de filmes plásticos de polietileno- Gestão da Qualidade**, Universidade Estadual de Paraíba, 2014.

COLANERI, D.; GARCIA, C. **Automação Industrial- Desenvolvimento e modelagem de transdutor fotoelétrico destinado máquinas cortadeiras para embalagens flexíveis**. Sba Controle & Automação, 2007.

FACHIN, L. A. Estudo e pesquisa **indústria de embalagens plásticas da grande Florianópolis-SC**, Universitária da UFSC, 2006.

FILLIETAZ, F. J. **Análise do processo produtivo utilizando ferramentas de gestão da qualidade para diminuição de custos com perdas e falhas**, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

FLEXO TECH. Disponível em: <www.flexotech.com.br/produtos/solution-sleeve-cnc-6-e-8-cores> Acesso em: 11 de Junho de 2016.

GIL, N. V. **Tudo Sobre Petróleo**. Disponível em: <www.petroleo.50webs.com/refino.htm> Acesso em: 21 de Maio de 2016.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. Editora LTC, 4º Ed. Rio de Janeiro, 2009.

NEOPLASTIC. **O plástico revolucionando as embalagens**. Disponível em: <www.neoplastic.com.br/pt/noticias/noticias-do-site/o-plastico-revolucionando-as-embalagens> Acesso em: 24 de Setembro de 2016.

PADILHA, G. M. A; BOMTEMPO, J. V. **Artigo mercadologia- A inserção dos transformadores de plásticos na cadeia produtiva de produtos plásticos**. Escola de química UFRJ, Ilha do Fundão, 1999.

PAULA, A. A. **Instituto de Embalagem e pesquisa**. Disponível em: <www.institutodeembalagens.com.br/clippings/522492edecba5.pdf> Acesso em: 22 de Maio de 2016.

PIATTE, M. T. **Plásticos: características, uso, produção e impactos ambientais**, Universidade federal de Alagoas-UFAL, Maceio, 2005.

RIBEIRO, D. L. J; CATEN, T. S. C. **Série monografia qualidade- Projeto de Experimentos**. Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ROCHA, P. A. **Conceitos Básicos de Extrusão e Coextrusão para Embalagens Plásticas Flexíveis**, Apostila 2º edição set/2002.

SCARPETA, E. **Flexografia Manual Prático**. 1º ed. São Paulo: Bloco Comunicação, 2007.

SLACK, N. **Administração da Produção**. Revisão técnica. São Paulo: Editora Atlas, 1997.

SOARES, A. L. F. **Estudo da permeabilidade em filmes de polietileno verde**. Escola de engenharia- Departamento de engenharia química, Universidade Federal do Rio Grande de Sul, Porto Alegre, 2012.

SOUZA, J. A.; AMBRÓSIO, D. J. **Livro Extrusão de Termoplásticos**. 1º ed, 2001.