

Autor

WALLACE NÓBREGA LOPO

**Otimização
Econômica na
Decisão de Parada
para Manutenção:
Uma Aplicação em
Máquina de Fiação de
Algodão**

Titulares Conselho Editorial

Rafaela Bohaczuk Venturelli Knop

Edinéia Pereira da Silva

Carla Zenita do Nascimento

Ricardo José Engel

Sidnei Gripa

Rosana Paza

Rodrigo Blödorn

Jeisa Benevenuti

Rosemari Glatz

Márcia Maria Junkes

Pastor Claudio Siegfried Schefer

Suplentes Conselho Editorial

Olga Luisa dos Santos

Simone Sartori

Angela Sikorski Santos

Luana Franciele Fernandes Alves

Eliani Aparecida Busnardo Buemo

Sergio Rubens Fantini

Misael Dalbosco

Julia Wakiuchi

Rafael Niebuhr Maia de Oliveira

Joel Haroldo Baade

Padre Eder Claudio Celva

Produção Editorial

Equipe Editora da UNIFEBE

Projeto Gráfico

Bernardo Vinicio Tell

Diagramação

Fernando Ringel

Revisão

Rosana Paza



UNIFEBE

Reitora

Rosemari Glatz

Vice-Reitor

Sergio Rubens Fantini

Pró-Reitor de

Ensino

Sidnei Gripa

Pró-Reitora de

Pós-graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura

Edinéia Pereira da Silva

Coordenação Editorial

Rafaela Bohaczuk Venturelli
Knop

Autor

WALLACE NÓBREGA LOPO

**Otimização
Econômica na
Decisão de Parada
para Manutenção:
Uma Aplicação em
Máquina de Fiação de
Algodão**

Editora UNIFEBE
Centro Universitário de Brusque
Fundação Educacional de Brusque
Endereço: Rua Dorval Luz, 123, Bairro Santa Terezinha
Brusque - SC, CEP: 88352-400
Caixa Postal: 1501
Telefone: (47) 3211-7000
Site: www.unifebe.edu.br
E-mail: editora@unifebe.edu.br

Lopo, Wallace Nóbrega.

Otimização econômica na decisão de parada para manutenção : uma aplicação em máquina de fiação de algodão / Wallace Nóbrega Lopo. - Brusque: Ed. UNIFEBE, 2020.

148 p. : il. ; 19 Mb.

ISBN 978-65-86346-05-3

1. Indústria têxtil. 2. Indústria de manufatura. I.
Título.

CDD 677

Ficha catalográfica elaborada por Bibliotecária - CRB 14/727

Copyright © 2019 Editora da UNIFEBE

Todos os direitos reservados. Qualquer parte desta publicação poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte. Os capítulos/artigos são de responsabilidade dos autores e não expressam, necessariamente, a opinião do Conselho Editorial ou da Editora.

Seu trabalho vai ocupar uma grande parte da sua vida. A única maneira de estar verdadeiramente satisfeito é fazendo aquilo que você acredita ser um ótimo trabalho. E o único jeito de fazer um ótimo trabalho é fazendo algo que você ama.

(Steve Jobs)



Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por iluminar minha trajetória de vida; à minha esposa Marcia, cúmplice em tudo e fiel parceira em especial nessa jornada, que se não fosse por sua insistência, eu não teria chegado até aqui; aos meus pais Cesar e Laura, que além da educação, moldaram meu caráter e me ensinaram que não importa o que aconteça, honestidade vem em primeiro lugar e ao meu filho Jeferson que motiva-me a ser exemplo para que tenha um futuro promissor.





Sumário

PREFACIO.....	3
INTRODUÇÃO	7
CAPÍTULO 1: Cenário do trabalho proposto.....	11
1.1 Razões para o trabalho proposto.....	13
1.2 Desenvolvimento da proposta de trabalho para a tomada de decisão.....	15
CAPÍTULO 2: Estudos dos fundamentos teóricos.....	23
2.1 Tecnologia dos processos de fabricação de fios têxteis.....	35
2.2 Manutenção de equipamentos industriais.....	38
2.3 Modelagem e otimização de trajetória estacionária.....	55
CAPÍTULO 3: Análise e segmentos obtidos.....	63
3.1 Projeção da trajetória da eficiência com uma cadeia de Markov.....	69



3.2 Estrutura da tendência de eficiência por análise de regressão.....	75
3.3 Análise econômica por Monte Carlo.....	79
CAPÍTULO 4: Análise e ponderação do experimento produzido.....	83
Referências.....	87
Apêndices.....	100



Da Comunidade Para a Comunidade

Rosemari Glatz

A Fundação Educacional de Brusque – FEBE, mantenedora do Centro Universitário de Brusque – UNIFEBE, foi instituída pela Lei Municipal Nº 527, de 15/01/1973 fazendo com que o ensino superior se tornasse uma realidade na região de Brusque. Resultado de necessidade de expansão, interiorização e regionalização do ensino superior, sua criação foi uma resposta às reivindicações da comunidade, uma vez que os cursos superiores estavam concentrados apenas na capital do Estado, fazendo com que muitos jovens deixassem de estudar por falta de oportunidade na região.

Com cultura voltada para a produção industrial, Brusque é conhecida nacionalmente pela sua força econômica, especialmente na área têxtil e, mais recentemente, no segmento metal mecânico, com grande projeção nos mercados interno e de exportação. A veia empreendedora dos imigrantes europeus que colonizaram a região criou a indústria a partir do final do século XIX e, desde 1973, a UNIFEBE atua



no ensino superior formando as lideranças que movem a economia regional. Com fortes vínculos e compromissos com a comunidade na qual está inserida, a instituição se aperfeiçoa constantemente e investe no processo de desenvolvimento regional.

De longa data, era a vontade da UNIFEFE conseguir fazer com que as obras produzidas pela comunidade acadêmica fossem imortalizadas pelo ato da publicação. Onde há um desejo, há um caminho e, deste modo, entendemos que já era hora de divulgar, para além dos limites da academia, aquilo que se produz em termos de pesquisa e inovação. Também entendemos ser urgente garantir o espaço para novos autores e/ou pesquisadores cuja publicação em outros nichos editoriais do mercado poderia ser mais dificultosa, motivos mais que suficientes para que déssemos um passo à frente e, com grande entusiasmo, já em 2017 inauguramos um novo tempo: a publicação de obras pela editora própria da UNIFEFE, dando mostra inequívoca do alcance de sua maturidade intelectual.

Ao publicar da comunidade para a comunidade, a instituição vem reafirmando sua própria identidade comunitária. Ao mesmo tempo, exerce um papel político fundamental, qual seja, a socialização do conhecimento, além de tornar-se um fator de fomento à qualidade do ensino acadêmico, em todas as áreas do saber. De igual modo, numa contribuição à biodiversidade, a editora da UNIFEFE tem investido na preservação da história e da memória local, e da cultura regional no seu mais amplo espectro.

Anualmente a UNIFEFE promove chamadas que apoiam financeiramente novas publicações. Cientes de que o conhecimento se constrói com o esforço e junção de “muitas mãos, cabeças e corações”, esta obra é a mostra concre-



ta do esforço coletivo de professores, alunos e funcionários da UNIFEBE para a construção do conhecimento, e oferece material de qualidade para uma leitura produtiva.

Ler estimula a criatividade, trabalha a imaginação, exercita a memória, contribui com o crescimento do vocabulário, melhora a escrita e aproxima as pessoas. Aproveite esta obra que chega às suas mãos e dedique algum tempo para extrair o que ela traz de melhor: uma contribuição ao conhecimento. Boa leitura!





Prefácio

Prof. Edgar A. Lanzer, Ph.D.

Em um certo dia, no final do inverno de 2014, fui procurado, em meu escritório na UNISOCIESC, por um homem que se apresentou solenemente como candidato ao nosso Curso de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção (eu atuava como Professor de Métodos Quantitativos e de Engenharia Econômica no Curso). Na conversa que se seguiu falou-me, de modo pausado e educado, que seu nome era Wallace Nóbrega Lopo, sendo Engenheiro Têxtil pela Faculdade de Engenharia Industrial (SP) e Bacharel em Administração pela Universidade São Francisco (SP). Além disto era detentor de dois MBAs em Gestão de Empresas (um pela FGV e outro pelo IBES). Wallace me solicitava a possibilidade de que eu o orientasse no Mestrado que queria fazer para seguir evoluindo em sua trajetória de vida. Fiquei bem impressionado.

O candidato tinha o perfil ideal para realizar o Mestrado Profissional. De fato, este tipo de formação de pós-graduação é voltado para o reforço do domínio do método científico para análise de problemas do mundo do trabalho em conjunto com a atualização do conhecimento para o desenho de soluções inovadoras e viáveis para aqueles problemas. Wallace impressionou-me bem. Sua maturidade



e sua vontade de continuar a formação mantendo o foco na indústria têxtil, onde já atuava profissionalmente há vários anos, e a vontade expressa de expandir suas atividades também na área acadêmica me convenceram de seu potencial e disposição.

Explicou-me, com desembaraço e competência, vários problemas que poderiam ser objeto de seu trabalho de Dissertação de Mestrado. A dissertação é um trabalho de pesquisa aplicada no qual o candidato ao título de Mestre deve demonstrar seu domínio do método científico e atualização na literatura relacionada ao problema que definiu como tema da pesquisa. Mas não apenas isto, pois estes aspectos devem transparecer de modo claro, direto e sintético em uma redação com estrutura científica, enxuta e sem margem para entendimentos ambíguos. Uma tarefa que está longe de ser trivial, sobretudo para quem a realiza em dupla jornada, isto é, sem a possibilidade de dedicar-se exclusivamente ao estudo e a pesquisa.

Dentre os problemas que Wallace me propôs estudar, manifestei-lhe minha possibilidade de ajudá-lo naqueles que permitiriam uma abordagem analítica com o apoio de modelos estatístico-matemáticos. Ao contrário de uma grande parte de potenciais orientados, Wallace respondeu-me com naturalidade que estaria bem para ele desenvolvermos a análise e resolução de um problema de minha escolha dentre as diversas possibilidades sobre as quais ele havia discorrido. O problema que indiquei certamente não era a escolha preferida do Wallace, mas ele o encarou de frente. Estudou, analisou, coletou dados e redigiu com invejável disposição.

As questões associadas a manutenção de equipamentos tendem, cada vez mais, a serem trazidas



em sensores e softwares de otimização matemática e de inteligência artificial embarcados nas novas máquinas da era da Internet das Coisas. Porém um parque de máquinas menos atualizadas tecnologicamente ainda apresenta competitividade se seu uso for feito com produtividade técnico-econômica otimizada. Por vezes estes espaços existem; por vezes a intuição e as recomendações de manuais técnicos são tão boas que pouco pode ser feito para melhorar o que está sendo feito. Todavia apenas a pesquisa com as informações detalhadas de cada caso será capaz de indicar, com confiabilidade mais elevada, se mudanças na operação podem trazer ganhos significativos.

Este é o quadro de fundo da pesquisa relatada no presente trabalho. Além do estudo de caso detalhado e emprego de métodos quantitativos que estão na base de muitos sistemas embarcados em máquinas modernas, Wallace acrescenta uma excelente revisão dos processos de fiação. E também faz uma apresentação retrospectiva da evolução da literatura associada ao conceito de manutenção e substituição de equipamentos.

Recomendo a leitura.





Introdução

Nas indústrias de manufatura e de transformação, as manutenções de equipamentos garantem, além da continuidade do processo, o prolongamento da vida útil da máquina. É primordial a execução dessa tarefa quando se faz necessário, mas é preciso determinar qual o melhor momento de parada para a realização da manutenção, que minimize a perda de produção, enquanto está sendo realizada.

No setor têxtil, essa preocupação com esse tipo de definição não é diferente e se faz necessária para garantir além da integridade do equipamento e da continuidade da produção, a manutenção do negócio como um todo, pois, essa tomada de decisão afeta as finanças da empresa. Os processos dentro da indústria têxtil, se dividem em etapas bem definidas, como na produção das chamadas fibras têxteis até a confecção do vestuário, passando pela produção de fios, tecidos/malhas e beneficiamentos dos artigos.

Na fabricação de fios têxteis, essa definição de quando parar para manutenção, não segue uma metodologia capaz de maximizar a produção no longo tempo, já que as empresas ou seguem orientações dos fabricantes do equipamento ou escolhem empiricamente o momento baseado em dados



históricos. O objetivo desta pesquisa foi o de construir um modelo para a tomada de decisão de quando realizar uma manutenção preventiva em uma máquina de fiação de algodão no sistema Open End, de modo a maximizar a renda líquida no longo prazo. Para tanto, foi realizada a coleta de dados (das variáveis eficiência do maquinário e o tempo) para estimar a trajetória da eficiência, de um dos maquinários de uma empresa que presta serviços de fiação de algodão em pluma.

A indústria têxtil no Brasil sofreria um grande revés a partir da década de 90's, logo depois da chamada era Collor, conforme Lee (2008) previa quando escreveu no *The New York*. Com a abertura do mercado para produtos estrangeiros, computadores, carros, matérias-primas e máquinas em geral, em breve serão capazes de entrar no mercado brasileiro sem tarifas.

Até então, as políticas de subsídios e de proteção para com o produto interno, fizeram que a indústria brasileira, principalmente a têxtil e de vestuário, operasse em uma situação confortável e de acomodação (KELLER, 2006). Mais ainda, segundo Keller (2006), é preciso destacar que o desenvolvimento do processo dessa abertura esteve associado a uma nítida apreciação da taxa de câmbio. Antes, competir para a indústria têxtil era estimar os preços de venda, calculados com uma margem de lucro, sobre custos de produção e de matéria-prima.

A ocorrência dessa abertura, fez que os preços de venda passassem a ser regidos por um mercado competitivo, já que a oferta se tornou maior e mais variada. Os lucros passaram a ser obtidos em função de uma melhor administração de custos. Em um mercado altamente competitivo, a busca por processos mais enxutos, que



visam reduzir custos e aumentar a produtividade, torna-se necessária para a sobrevivência das empresas (LOPES; FROTA, 2015).

Outro fator a ser levado em consideração, segundo Ernest e Kim (2002), é o da internacionalização das operações e o da globalização dos mercados, que representam fatores fundamentais na intensidade da concorrência entre indústrias têxteis. Para uma empresa se manter no mercado cada vez mais competitivo, precisa alterar a forma de gerir seu negócio de maneira muitas vezes até radical, começando com o modo de pensar, de projetar seus sistemas.

Nessa situação, afirmam Becker e Dietz (2002), destacam-se algumas ferramentas que propiciam melhores condições de competitividade, como Sistema Toyota de Produção, Lean Manufacturing e Indicadores de Desempenho; como uma maior rapidez nas entregas, menores custos de produção, qualidade perceptível ao cliente, flexibilidade nas negociações e a capacidade de inovação. Tais ferramentas fazem parte da gestão nos negócios até os dias atuais.

Essa última vem sendo um dos diferenciais para manter-se competitivo no mercado; a inovação está associada ao conhecimento, pois, não se inova se não houver conhecimento (FREITAS FILHO, 2013). Inova-se no produto, mas, também na geração de metodologias para reduzir custos e aumentar produtividade/produção; aliás, otimizar a produção vem sendo alvo de estudos cada vez mais profundos na área de engenharia de produção.

Lyford e Welch (2004) afirmam que a produção é de suma importância para a competitividade na indústria. Sua administração vem sendo aprimorada sempre que o modelo atual não é mais eficiente frente as necessidades atuais. Diante disso, as empresas vêm investindo grandes esforços



e recursos, objetivando promover melhoria contínua do processo de manufatura, para garantir o sucesso na sua posição frente ao mercado competitivo.

As indústrias têxteis e de confecção não estão fora dessa situação e precisam se preocupar com a modernização, automação e administração da sua produção, visto que têm um papel importante na economia. Essas indústrias vêm perdendo competitividade ao longo do tempo, conforme pesquisa realizada pela Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina (FIESC, 2017) indicaram que em termos de Valor Bruto de Produção Industrial (VBPI), a indústria têxtil no Brasil caiu 12,8% e a de confecção 7,9%, no período de 2012 a 2016. Porém, segundo a Fiesc (2017), a indústria catarinense teve uma redução muito menor em relação ao Brasil, da ordem de 0,4% na indústria têxtil como um todo e de 0,8% na de confecção.

Hoje, a indústria têxtil vive um momento de queda no volume de produção, principalmente de fiação de fibras descontínuas curtas, como no caso do algodão. Na contramão, o consumo das chamadas fibras têxteis, como um todo, cresceu em média 3,2% ao ano, de 2012 a 2016 (INSTITUTO DE ESTUDOS E MARKETING INDUSTRIAL – IEMI, 2017), porém, com destaque das chamadas fibras químicas, que superaram a de origem natural, nesse mesmo intervalo de tempo, passando de 48% para 66%. Com essa situação, são necessárias mudanças na administração do negócio, que segundo Carmen e Salzgeber (2005) visam antes de tudo sobreviver e depois, tornar-se mais competitivo.

Dentre os setores da indústria, a produção pode mudar a filosofia da sua administração, com controles dos estoques de matérias-primas, de materiais em processo, de produtos acabados, dos tempos de fluxos desses materiais



no processo produtivo, na otimização e maximização da produção. Esses itens estão relacionados com o custo do produto final, já que são oriundos do sistema de manufatura (HESELBARTH; SCHALTEGGER, 2014).

Outros fatores como o planejamento financeiro da empresa, o dimensionamento do maquinário e fluxo, previsão da demanda e políticas de substituição dos maquinários também são importantes para sua competitividade. De acordo com Chen, Oliver e Zhang (2008), na manufatura, o primordial é maximizar a produção, diminuindo o tempo improdutivo de um processo, ou parte dele, já que este é um dos fatores que impactam nos custos de produção.

Uma questão muito importante a ser considerada, são os custos de produção no setor de fiação. Comparando-se os modelos de fiação convencional e o de Open End, os custos de produção do sistema convencional cresceram 38,6% contra 13,4% no sistema Open End, de 1999 a 2017 (RIETER, 2017). Isso reforça a afirmação de Kaplan e Göktepe (2006), a respeito do crescimento desse modelo de fiação, daí a importância que essa pesquisa dá, ao estudar a otimização da produção de fios.

Maximizar a produtividade do processo produtivo, em destaque a do maquinário, é um dos objetivos do negócio da manufatura (PAIN Et al., 2009); e no setor de fiação no modelo Open End, esse será o problema a ser tratado nessa pesquisa, na forma de objetivo principal.





CENÁRIO DO TRABALHO PROPOSTO

1

O processo de industrialização no Brasil teve seu início na indústria têxtil, com a chegada dos colonizadores portugueses (STEIN, 1979). Até então os índios nativos exerciam atividades similares, de forma artesanal, utilizando-se de técnicas de entrelaçamento de fibras vegetais e produzindo para finalidade de cestas, abrigos e para proteção física.

O mesmo Stein (1979) afirma que com a chegada da família real, a indústria têxtil teve um impulso com a revogação de decretos que impediam seu desenvolvimento, em detrimento dos produtos portugueses. Com isso, a indústria têxtil pôde retomar sua produção e comercialização dentro e fora do Brasil. Em Santa Catarina, seu início ocorreu com a chegada dos imigrantes alemães, originados de regiões com características têxteis (RENAUX, 2010). O Vale do Itajaí, em Santa Catarina, foi um dessas regiões que abrigaram esses imigrantes e que iniciou a produção em escala de produtos



têxteis.

Santa Catarina, mais precisamente o Vale do Itajaí, segundo Cardoso (2017), pode ser caracterizado por uma forte evolução histórico-cultural na tradição de trabalhar com fibras e tecidos. Isso levou a região a obter destaque nacional e internacional no ramo têxtil e de confecção.

A indústria têxtil no mundo teve um papel de destaque, como pode ser observado com o início da revolução industrial, já que foi com a modernização dos teares que se revolucionou o papel da indústria na economia mundial (SILVA, 2011). Essa revolução mostrou a importância da indústria de tecidos, uma vez que essa manufatura era fundamental para a sociedade da época.

O Algodão, principal matéria-prima nessa época, teve seu início observado no período Paleolítico há 24 mil anos, no Egito, região da Escandinávia, Índia e China antes da era cristã (PEZZOLO, 2012). Sua importância pode ser destacada como uma das razões da guerra civil americana, que segundo Stein (1979), dividiu os estados do Sul (produtores dessa cultura) e do Norte devido à influência que essa economia sofreria com a abolição da escravidão.

As peças de tecido para vestuário, cama, mesa e banho são feitas por fios de fibras de algodão e/ou sintética. No caso do algodão, a pluma colhida na agricultura deve passar por um processo de limpeza, transformada em fios (fiação) que são enrolados em cones ou bobinas.

Os fios são usados para o processo de tecelagem, que os transforma em tecidos em rolo, para depois passar pelo beneficiamento, no qual são tintos e/ou estampados, transformando-se em tecidos acabados, com largura e qualidade distintas. Por fim, esses tecidos são cortados em formas distintas e costurados, para confeccionar camisas,



calças, blusas, toalhas de banho e de mesa, entre outros.

Na região de Brusque, no Estado de Santa Catarina (SC), existem algumas empresas especializadas na prestação de serviços de fiação. Frente ao cenário nacional, segundo o Sindicato da Indústria Têxtil de Santa Catarina (SINTEX, 2017), Santa Catarina representa 12% do total das indústrias de fiação do Brasil; isso respalda a importância desse setor na região.

As empresas em questão recebem o algodão em pluma dos clientes que pagam para obter o produto entregue transformado em fios, sob a forma de cones, com qualidade devidamente especificada e em quantidade previamente combinada. Em umas dessas empresas, a máquina de fiação trabalha em regime de 7 x 24 (sete dias por semana; 24 horas por dia). No caso, a máquina é capaz de produzir a quantidade de 2.127 kg de fio/dia, quando a 100% de sua capacidade. A máquina de origem alemã é composta por 500 fusos fiadores (unidade produtiva), cada um com funcionamento independente dos demais.

Eventualmente sujidades, problemas com a matéria-prima do processo, com o material input da máquina ou desgastes travam o funcionamento de algum fuso fiador. A parada leva um sistema automático (robô) até o fuso travado, para tentar executar uma emenda e fazê-lo voltar a produzir. Essa ação pode ou não ser bem-sucedida e, portanto, o fuso pode permanecer inativo por um tempo maior que o previsto.

Ao longo do tempo, o ritmo de produção oscila aleatoriamente em torno de uma tendência decrescente. Quando a eficiência chegar a um valor médio de 95% (preestabelecido pelos gestores) e se mantiver nesse patamar por uns dois ou três dias, a produção é interrompida para a realização de uma manutenção geral. Após essa



manutenção, a retomada da eficiência é gradativa. Entre a decisão de parar a produção para fazer a manutenção e a retomada completa da eficiência, após o serviço, decorre um período de quatro a sete dias (dependendo da natureza e intensidade da manutenção). Nesse período, a produção da máquina cai até zero, incorrendo-se em um custo equivalente à perda da receita líquida do serviço de fiação daqueles dias. Além disso, ocorrem despesas com peças de reposição, lubrificantes e serviços especializados.

O problema que aqui se levanta é: Qual o momento na trajetória da eficiência em que a máquina deve ser parada para realizar a manutenção, de modo a maximizar a renda líquida esperada?

Para tal, foi preciso definir um objetivo a ser traçado, para responder ao questionamento proposto. Esse objetivo, aqui chamada de geral e que foi proposto na pesquisa é o de construir um modelo para a tomada de decisão de quando realizar uma parada para manutenção preventiva em uma máquina de fiação de algodão no sistema Open End, de modo a maximizar a renda líquida no longo prazo.

Para alcançar esse objetivo geral, foi necessário pautar linhas de tarefas, para dar suporte na realização desse objetivo. Tais tarefas foram as de coletar dados (das variáveis eficiência do maquinário e o tempo) para estimar a trajetória da produtividade, dos maquinários da fiação; selecionar o(s) modelo(s) matemático(s) estatístico(s) mais adequado(s), no que se refere à representação da trajetória da eficiência, para aplicação do estudo em questão e otimizar a periodicidade da parada na produção para a realização da manutenção, de modo a maximizar o retorno da renda líquida média no longo prazo.



1.1 RAZÕES PARA O TRABALHO PROPOSTO

Devida à importância socioeconômica do setor têxtil, na região do Vale do Itajaí/SC, tornam-se necessários estudos que visem aumentar a produtividade dessa indústria, reduzindo custos médios para melhor competir com o mercado e a concentração de indústrias de fiação na região.

A escolha desse trabalho foi primeiramente devido ao fato de não terem sido encontrados, até o presente momento, estudos nesse campo na indústria têxtil de fiação, no que se refere à tomada de decisão quanto ao melhor momento de parada para manutenção, de um maquinário de fiação.

Depois, da necessidade de estudar e resolver o problema, pois, ele interfere na produtividade média anual e como consequência, impacto nos custos de produção e na qualidade do produto final, o fio de algodão. A realização dessa pesquisa proporcionará ao setor, uma ferramenta de apoio à tomada de decisão na administração do negócio, já que nas instituições de ensino da área têxtil, não há hoje nenhuma abordagem ou alguma disciplina que trate desse assunto.

A definição do melhor momento de parada para manutenção do maquinário atende aos requisitos sugeridos pelos fabricantes dos maquinários, visando à garantia do seu funcionamento, sem um estudo detalhado para cada situação em particular.

O que existem são estudos a respeito de melhoria dos processos, com o intuito de maximizar a produção no geral, a minimização dos custos do processo, programas de manutenção visando melhor funcionamento do maquinário e prolongar sua expectativa de vida útil.



Tudo isso apresentado, reforça a escolha pelo sistema de fabricação de fios cardados Open End, dentre os três sistemas apresentados, para o estudo dessa pesquisa em questão, que será detalhado para melhor entendimento a respeito. O detalhamento está associado ao estudo de caso, desta pesquisa.

Apesquisa se baseará em dados oriundos de empresa, coletados diariamente do maquinário, sem interferência do autor da pesquisa, e não de um experimento controlado, portanto:

A. o maquinário estudado, que fornecerá os dados necessários para realização do estudo é de um modelo específico, podendo estes, serem diferentes se obtidos de outros modelos ou de diferentes fabricantes;

B. a matéria-prima, o algodão, que se trabalhará na pesquisa, tem influência muito forte no comportamento da eficiência da máquina, já que por sua característica natural de irregularidade, pode alterar esses resultados, se variando o tipo de pluma de algodão de diferentes fornecedores;

C. as variações dos fatores climáticos, como temperatura e umidade relativa do ar no local da realização dos ensaios, não serão levados em consideração, visto que a empresa onde a pesquisa será realizada, não possui condições de controle absoluto desses fatores, os quais podem interferir na produtividade do maquinário.

1.2 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DE TRABALHO PARA A TOMADA DE DECISÃO



Uma determinada empresa, situada na cidade de Brusque na região do Vale do Itajaí em Santa Catarina, possui uma indústria especializada na fabricação de fios de algodão pelo processo Open End a rotor. A empresa presta serviços terceirizados de fabricação de fios para malharia circular, ou seja, recebem o algodão em pluma dos clientes, produz o fio no seu parque de máquinas e cobra por esse serviço.

A empresa possui uma linha de produção, composta por uma linha de abertura, modelo Rieter® (2018a), com capacidade atual de preparar até 1.000 kg/h de manta de algodão para as seis cardas da máquina Trützschler® (2018a) modelo T07, que fazem parte do segundo processo de fabricação de fios.

Essas seis cardas possuem capacidade individual de produção de 80 kg/h de fitas de algodão cardados, e são responsáveis pelo abastecimento da próxima etapa do processo, os dois passadores. Estes passadores, modelo TD7 da Trützschler® (2016b), têm capacidade de produção individual de 230 kg/h de fitas de algodão cardado homogêneo. Essas fitas abastecem filatórios Open End, modelo R66 da Rieter® (2018b), cada um com 500 fusos. Existem dois maquinários desse tipo na empresa. Um desses filatório Open End será o objeto do estudo da presente pesquisa; essa máquina foi adquirida nova e possui cinco anos de funcionamento na empresa; trabalha no regime de 7 x 24, ou seja, trabalha sete dias por semana e vinte e quatro horas por dia.

A máquina em questão passa por manutenções periódicas e a decisão de efetuá-las segue orientações do fabricante, Rieter® Textile Machinery, baseado no tempo de utilização e/ou no volume de produção efetuada, quando a matéria-prima é heterogênea entre lotes. As manutenções



sugeridas pelo fabricante, que levam em consideração o tempo de funcionamento, requerem alguns procedimentos, conforme é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Procedimentos de manutenção do filatório Open End

Periodicidade	Manutenção	Procedimentos
0,5 anos	A	Limpeza, lubrificação geral, ajustes nas correias sincronizadas, nos batentes de caixa, nas gaxetas, nos retentores e lubrificação.
2,0 anos	B	Limpeza, lubrificação geral, substituição das correias tangenciais do rotor e relubrificação dos mancais axiais com lubrificante importado.
3,0 anos	C	Limpeza, lubrificação geral e troca dos sistemas de freios das caixas de fiar.
4,0 anos	D	Limpeza, lubrificação geral e troca dos sistemas de freios das caixas de fiar.
5,0 anos	E	Limpeza, lubrificação geral e troca de cilindros abridores.

Fonte: O autor (2019).

Como é possível constatar, os cinco diferentes tipos de manutenções sugeridas pelo fabricante do maquinário, levam em consideração dois aspectos distintos; gerais e específicos. A limpeza e lubrificação geral do maquinário, independente do período proposto para as paradas e as específicas, para garantir a segurança no funcionamento do maquinário, frente a desgastes específicos. Isso incorrerá em custos diferenciados para cada tipo de manutenção a ser executada.

O tempo que a máquina permanece totalmente parada, para cada tipo de manutenção, é em média 24 horas. Antes de iniciar a manutenção, é programado um desabastecimento progressivo de input, com o intuito de garantir que todo o material que ainda está em processo na



máquina se transforme em fio; não sobrando nenhuma fita de passador nas latas, depois do início da manutenção. Essa atitude é importante, pois, visa garantir que esse material de entrada, não fique parado e exposto a contaminações com sujeiras do ambiente, durante o período de parada.

Enquanto é realizada a manutenção, os processos anteriores continuam funcionando normalmente; produzindo material que será utilizado para o reabastecimento posterior do filatório, logo depois de realizada a manutenção. Todo esse material é armazenado em local, longe do filatório em manutenção para não ser contaminado com sujidades.

Logo após o término da manutenção, a máquina é abastecida progressivamente, com o material que foi reservado para essa função. Ao todo, o tempo total entre o desabastecimento e o abastecimento progressivos, faz com que o filatório, permaneça um tempo equivalente a 72 horas de parada total para a realizada da manutenção programada.

Atualmente a empresa recebe o algodão dos seus clientes, com a condição que tal matéria-prima apresente um valor mínimo para o índice de fiabilidade Count Strength Product (CSP). Esse parâmetro serve para definir a característica da resistência dos fios, em especial de fios Open End a rotor, e o seu andamento no filatório. Esse índice leva em consideração características da fibra de algodão como finura, uniformidade, grau de folha e resistência da fibra.

A empresa só aceita a matéria-prima, caso ela possua um valor mínimo de CSP de dois mil (esse valor é puro; não possui unidade). Fibras de algodão com valores de CSP inferiores a dois mil fazem que a produção de fios seja prejudicada, pois, a eficiência dos filatórios tende a diminuir devido à maior quantidade de rupturas dos fios, no processo de fiar.

Como a empresa é uma prestadora de serviço, o valor de



mercado da matéria prima não faz parte dos custos do negócio, já que ela é fornecida pelo cliente. O maior custo do serviço é da energia elétrica, que chega a alcançar pouco mais da metade do custo total. Já o item manutenção representa quase 6% do custo total da empresa, isso faz que a otimização da produção seja o principal objetivo do negócio, já que o faturamento está diretamente ligado a ela.

Para otimizar a rentabilidade da produção, será necessário definir o melhor momento para a parada para a manutenção do maquinário. Hoje essa decisão está ligada à trajetória da eficiência da máquina, com implicação para o fluxo de despesas e receitas. Embora a empresa procure observar, basicamente, as recomendações do fabricante no que se refere às paradas para manutenção, verificou-se que, em paralelo, é seguida uma regra prática de realizar uma parada quando a trajetória da eficiência do filatório apresenta dificuldades frequentes em se manter acima do patamar de 95% da capacidade máxima nominal do maquinário.

Alguma flexibilidade é observada para aproveitar paradas natalinas (férias coletivas) para manutenção bem como evitar atrasos em contratos de prestação de serviços de fiação.

É interessante notar que, como o filatório tem 500 fusos, com 25 deles parados e sem possibilidade de conserto pelo robô, a eficiência fica limitada a um máximo de 95%. Um rompimento de fio causa a parada do fuso automaticamente e ativa um comando, que faz que um robô se desloque para tentar emendá-lo. Com vários rompimentos simultâneos, cria-se uma fila de atendimento para o robô de conserto.

Apesar de as despesas com manutenções representarem cerca de 5,71% dos custos totais, existe a perda de faturamento líquido pela parada do maquinário, o problema



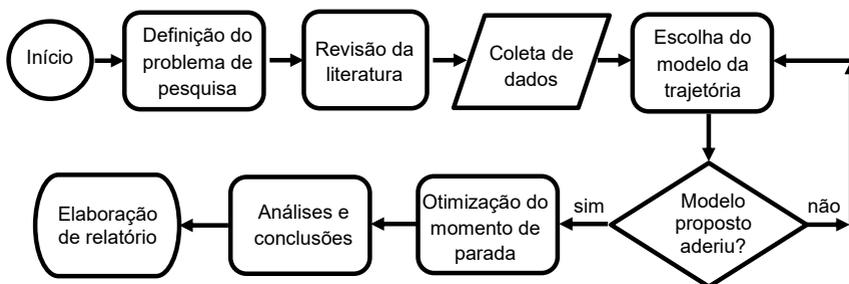
desta pesquisa consiste em definir qual o momento na trajetória da eficiência em que a máquina deve ser parada para realizar a manutenção de modo a maximizar a renda líquida esperada. Considerou-se como renda líquida, a diferença entre a renda bruta e as despesas em que essas levaram em consideração, além dos custos fixos da empresa, e como variáveis apenas o custo médio de manutenção ao longo de um período de cinco anos de observações. Essa renda líquida esperada, será um dado estatístico desse valor médio, calculado por meio de várias repetições realizadas no modelo matemático estatístico definido na pesquisa.

Para chegar ao objetivo proposto, que é o de desenvolver uma metodologia para tomada de decisão de qual o melhor momento para realizar uma manutenção preventiva, numa fiação de algodão no sistema Open End, de modo a otimizar a produtividade

média a longo prazo, as fases de pesquisa foram organizadas em um fluxograma detalhado, que apresentarão essas fases bem definidas.

Nesse fluxograma pode ser observado que, as fases são bem definidas e uma não pode ser iniciada, sem que anterior esteja completada. A Figura 1 mostra como funcionará o fluxograma dessa pesquisa.

Figura 1 – Fluxograma de fases da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).



Já no que se refere à escolha do modelo matemático estatístico para definição da trajetória da eficiência, a utilização de Cadeias de Markov, que é frequentemente utilizado em pesquisas de otimização econômica de manutenção e substituição de maquinários, pode não aderir a situação estudada na pesquisa.

Diante dessa possível impossibilidade de se utilizar o modelo inicialmente proposto, se recorrerá a utilização de outros modelos mais comumente empregados em análises unidimensionais de queda da eficiência, que se utilizam de modelagem de trajetórias por médias móveis da variável de interesse ou por ajustes de tendência delas obtidas por análise de regressão. A modelagem de tendências por análise de regressão pode se valer de modelos lineares, polinomiais e exponenciais, entre outros. A coleta e posterior análise dos dados, mostrará qual modelo terá maior aderência a proposta feita na pesquisa.

Os dados foram disponibilizados por uma empresa de prestação de serviços, na produção de fios 100% Algodão do sistema Open End a rotor, especificada na contextualização da pesquisa. Nesses dados, conforme observado em visita preliminar, é especificada a produção em kg de fio por turno de produção e a eficiência equivalente, como percentagem em relação à produção nominal máxima que o filatório teoricamente teria condições de produzir no turno.

O filatório modelo R66 da Rieter® (2018b), com 500 fusos produtivos, tem capacidade máxima nominal de 2.146 kg de fio por dia ininterrupto de trabalho (três turnos de trabalho; fio tipo Ne 30/1 100% Algodão para malharia). Os dados disponíveis para a pesquisa cobrem o período de julho de 2015 até julho de 2018. Em todo o período a empresa operou em regime de três turnos diários. Também



serão ainda levantados os preços cobrados pela prestação do serviço de fiação, conforme a média durante o período da coleta dos dados de produção. O mesmo se aplicará aos itens de custos da operação. Essas informações foram necessárias para obter a margem econômica líquida que a empresa obtém com a sua operação.

Em princípio buscar-se-á representar a trajetória da eficiência produtiva como uma cadeia de Markov. Serão efetuados estudos para definir os intervalos de classes de eficiência produtiva que especificam os estados do sistema, bem como estudadas alternativas de escolha do período de tempo das transições (por turno de trabalho, por dia, por semana).

A modelagem por cadeias de Markov deve, idealmente, resultar no instanciamento de uma matriz ergódica, a partir da qual é possível computar uma matriz de probabilidades estacionárias por exponenciação sequencial. Assim será possível avaliar decisões distintas sobre em qual estado de produtividade que, uma vez alcançado, será feita a parada do maquinário e realizada a manutenção para maximizar a margem líquida financeira (média por período de transição).

Na eventualidade de não se conseguir representação adequada da trajetória da eficiência com o ajuste de uma cadeia de Markov, por limitação dos dados ou outra razão, a alternativa de análise será a de representar a trajetória de eficiência como uma linha de tendência, estimada por análise de regressão linear. Neste caso, serão tentados ajustes com modelos lineares e exponenciais.

Esta etapa depende da anterior.

No caso de sucesso no ajuste estatístico do modelo markoviano, a otimização poderá ser feita por comparações de margens econômicas líquidas associadas aos vários estados



de eficiência ponderados pelas respectivas probabilidades estacionárias de longo prazo (ver cap. 2, item 2.6). No caso de utilização de representação da trajetória com uma (ou mais) equações de tendência, a otimização será feita utilizando o método de Monte Carlo (simulação). Nessa simulação será estimada a consequência de distintos critérios de parada sobre a rentabilidade e econômica (margem financeira) média do maquinário.

Na caracterização da pesquisa é considerada a classificação de todas as fases necessárias para o planejamento de um processo científico/investigativo e para isso, foi referenciada a pesquisa apelidada de ‘cebola’ dos autores Saunders, Lewis e Thornhill (2012). Essa classificação do processo de pesquisa é conceitualizada de fora para dentro por meio de cinco etapas bem distintas, conforme é observado na Figura 2.

Figura 2 - Classificação de pesquisa



Fonte: Adaptado de Saunders, Lewis e Thornhill (2012)



Essas etapas são:

- a) filosofia da pesquisa, caracterizada pelo positivismo, pelo realismo e pelo interpretativismo;
- b) lógica da pesquisa, representada por dedutiva e indutiva;
- c) tipos de estratégias de pesquisa: experimental, survey, estudo de caso, bibliográfica, etnográfica e pesquisa-ação;
- d) horizonte de tempo, dividido em Transversal e Longitudinal;
- e) a última etapa é a coleta de dados, caracterizada por amostragem, dados secundários, observação, entrevista e questionário.

No trabalho de pesquisa realizado em questão, a primeira etapa composta pela Filosofia da pesquisa, o trabalho é classificado como positivista, pois é um estudo que busca resolver o problema de pesquisa por meio de dados quantitativos e qualitativos, com a utilização de modelagem estatística e otimização econômica e não por meios interpretativos.

Na segunda etapa o presente estudo ganha característica de uma pesquisa indutiva, pois conforme Saunders, Lewis e Thornhill (2012), a lógica indutiva consiste na formulação de uma teoria por meio dos resultados observados (dados matemáticos/estatísticos). Já na definição da estratégia de pesquisa (terceira etapa), o presente estudo é classificado como um estudo de caso, pois utiliza dados reais de uma máquina de produção de fios 100% algodão do sistema Open End a rotor de uma empresa e tem como objetivo, definir um modelo matemático para tomada de decisão de quando parar para manutenção, visando otimizar a produção do ponto de vista econômico.

Pode-se também considerar como uma pesquisa



empírica dentro de um contexto real no processo de fabricação de fios têxteis. A quarta etapa é composta pelo horizonte de tempo, o presente estudo apresenta características de uma pesquisa longitudinal, pois, trata-se de uma metodologia positivista com objetivo de definir um modelo para tomada de decisão de manutenção periódicas por meio dos dados coletados durante um período de tempo de no mínimo dois anos.

Na quinta e última etapa, o estudo utilizou o método de coleta de dados secundários, tendo sido coletados de um determinado maquinário pelos seus operadores de maneira sistemática e para propósitos gerenciais. Não houve a interferência do autor da pesquisa.



O estudo dos principais fundamentos teóricos têxteis, aqui narrados, busca definições sobre processos de fabricação de fios em uma manufatura têxtil, em particular da fiação cardada do sistema Open End e políticas de manutenção como estratégia de gestão da produção; a tomada de decisão baseada em modelos matemático-estatísticos de parada para realização da manutenção de maquinários, visando à otimização da produção de fios 100% algodão.

Dentro de uma manufatura, a maximização da produção é objetivo principal da gestão, acompanhado da minimização dos seus custos e da melhoria contínua da qualidade do produto. Uma das vertentes para contribuir com a máxima produção e com isso, a melhoria da eficiência do processo é a diminuição do tempo improdutivo.

2.1 TECNOLOGIA DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE FIOS TÊXTEIS

A cadeia têxtil é formada diversos processos



produtivos que, de acordo com Cebeci (2009), dentre eles está o sistema formador de fios, que utiliza como input, fibras têxteis classificadas como naturais ou químicas; estas últimas manufaturadas pelo homem, conhecidas como sintéticas e artificiais; e todas podem ser transformadas em fios.

No caso da manufatura têxtil, esta é composta por uma sequência produtiva, que vai desde a fabricação ou obtenção da fibra até a confecção do vestuário, como produto final (LOBO; LIMEIRA; MARQUES, 2014). Nesse contexto, destacam-se os sistemas de fabricação de fio que, segundo Baykal, Babaarslan e Erol (2006), são formados pelos sistemas de fiação de filamentos e cardados; esse último dividido em convencionais e Open End. Nesse último processo se destaca a utilização do algodão, como principal matéria-prima.

Antes de tratar de melhorias no processo de manufatura, é preciso estudá-lo, começando por suas definições (ABDULMALEK; RAJGOPAL, 2007). Algumas correntes defendem pontos de vistas diferentes com relação à contextualização de processo, dependendo da escola as quais pertencem.

Uma das principais tendências ao se definir um processo, refere-se como principal alvo o cliente final, consumidor do produto. Dentre eles estão Smith e Fingar (2003), que reforçam a relação de processos com a coordenação do trabalho e definem processos como um conjunto de atividades colaborativas e transacionais coordenadas dinamicamente e completamente para entregar valor para o consumidor.

Já Zarifian (1999) define processo como uma corporação de atividades e recursos distintos voltados à realização de um objetivo global, orientado para o cliente



final, que é comum ao processo e ao produto/serviço. Já no conceito de reengenharia, Attaran (2004) define processo como um conjunto de atividades que juntas, produzem um resultado de valor para o consumidor. Essas definições até aqui, deixam aberto o caminho para explorar todas as possíveis variáveis, dentro de uma linha de produção. Todas as etapas intermediárias e integrantes do processo devem ter influência sobre a característica do produto final.

Alvarenga Netto (2006) deixa amplo o espaço, ao definir um processo empresarial como simplesmente o modo como uma organização que realiza seu trabalho – uma série de atividades que são executadas para alcançar um dado cliente seja ele, interno ou externo. Diante disso, pode-se concluir que o cliente interno para ser um dos componentes do processo a ser beneficiado, com atitudes de tomadas de decisão, quer seja para melhora do seu desempenho ou da qualidade do seu trabalho.

Outra tendência ao se definir processos, além-se mais às atividades internas a eles, como Kuehn (2006) dentre algumas de suas considerações sobre várias definições a respeito, afirma que um processo é bastante em si, ou seja, envolve a realização de um conjunto de atividades. Pode-se afirmar então ser uma sequência lógica e temporal de atividades de manufatura que são executadas como fases de uma transformação.

Para Davenport (2000), um processo é uma ordenação específica de atividades de trabalho através do tempo e do espaço, como um início, um fim e um conjunto claramente definidos de entradas e saídas: uma estrutura para a ação. E finalmente, Pain et al. (2009) sintetizam as definições de processos, propostos nos estudos deles, a saber, os três principais:



- a) processos finalísticos, cujos resultados gerados são produto(s) e serviço(s) para os clientes da organização;
- b) processos gerenciais, promovem o funcionamento da organização de seus processos; e
- c) processos de suporte, que prestam apoio aos demais processos da organização.

Segundo Loos, Rodrigues e Follmann (2015), atualmente os processos de transformação de matérias-primas estão em constante mudanças, isso com o objetivo de melhorar a performance de fabricar os produtos. Dessa maneira ao estudar processos na indústria têxtil e de vestuário em geral, faz-se necessário conhecer alguns produtos e processos intermediários em questão; que podem ser desde a fibra têxtil até a confecção final, passando por todas as outras etapas produtivas da manufatura.

Como esse estudo observa em particular, uma manufatura de produção, cujos produtos são fios de algodão, para o setor de malharia circular, várias etapas devem ser estudadas para o seu desenvolvimento. Seguindo esse raciocínio, Rosenfeld et al. (2006) afirmam que, o processo de desenvolvimento de um determinado produto consiste em um conjunto de atividades por meio das quais se busca chegar às especificações do mesmo e de seu processo de produção.

Devido as crescentes exigências dos clientes em relação à qualidade, custo e entrega, é importante que apenas os produtos que enfrentam esses requisitos sejam lançados (LOOS; MIGUEL, 2012), isso vem ao encontro da necessidade de estudar os processos produtivos, visando maximizar a produção para minimizar seus custos.

A intenção dessa pesquisa é corroborar como os autores Davenport (2000), Kuehn (2006), Rosenfeld et al. (2006) e



Pain et al. (2009), que defendem as etapas individuais de um processo, como parte importante da definição dele, objeto do qual este trabalho visa estudar, com o aumento da sua eficiência e a diminuição do tempo em que partes do processo ficam sem efetivamente produzir. Isso fará o produto se tornar mais competitivo, já que terá seu custo do processo de produção diminuído.

As fibras naturais, especificamente o algodão, devido a suas características, são encontradas grandes variações quanto a propriedades físicas e químicas; o pleno conhecimento dessas propriedades, segundo Dayik (2009), é fundamental no gerenciamento dessa matéria-prima, como garantia para o bom desempenho da fiação, atendendo às expectativas dos consumidores, nos processos seguintes e cliente final.

A cultura do algodão no Brasil é considerada uma das mais importantes na sua economia. Segundo Kiawu, Valdes e MacDonald (2011), o Brasil é um dos principais produtores de algodão do mundo e um concorrente importante dos Estados Unidos para os mercados asiáticos e europeus.

O algodão já foi considerado 'ouro branco' (STEIN, 1979), pela sua importância econômica mundial; isso corrobora com a necessidade de estudos a respeito dessa fibra e como consequência, de seus processos produtivos na indústria têxtil.

Entre os diversos tipos de fibras têxteis existentes, cerca de três quartos da população mundial utiliza o algodão no vestuário, portanto, é a fibra mais utilizada no mundo (CHANTAIGNIER, 2006), isso se deve ao conforto e toque agradável que as roupas de algodão proporcionam, e o Brasil ocupa a quinta posição entre os maiores produtores mundiais de têxteis (SABRÁ, 2014).

O algodão é a principal fibra têxtil de origem vegetal no Brasil e no mundo; é uma fibra de semente vegetal



(*Gossypiumherbaceum*) que, em estado seco, possui cerca de 88 a 96% de material celulósico (KOECH; SMITH; GILLIES, 2010). Além de celulose, ela contém pequenas porções de proteína, pectina, ceras, cinzas, ácidos orgânicos e pigmentos.

Segundo Jackowska et al. (2008), trata-se de uma fibra fina com diâmetro variando 3,9 e 4,5 μm , e comprimento entre 24 e 38 mm; por não apresentar grandes exigências em relação ao clima ou ao solo, pode ser produzido em praticamente todos os continentes.

As variáveis dimensionais que possui a fibra de algodão, como resistência (g/tex), comprimento (mm), grau de folha (%), finura ($\mu\text{g}/\text{in}$), índice de fibras curtas, uniformidade (%), alongamento (%) e quantidade de neps (unid./g) (LOBO; LIMEIRA; MARQUES, 2014). Conforme Dayik (2009), essas variáveis influenciam na característica final do fio e no andamento do processo de fiação, razão pela qual devem ser pontuadas antes da fibra ser processada.

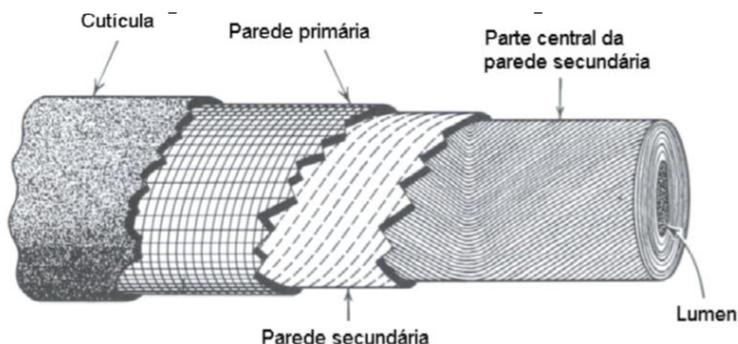
Essa grande variação de suas dimensões, deve-se ao fato da sua origem natural vegetal, que de acordo com diversos fatores como, genéticos, climáticos, de solo, de plantio, de colheita e de beneficiamento, por exemplo, influenciam nesses resultados. No que se refere às condições de cultivo e plantio, o solo mais indicado é o úmido, porém não encharcado, com temperatura entre 24 e 28°C no ar e no solo são condições ideais para essa cultura (DAS; GHOSH, 2015).

Sua tecnologia é uma das mais avançadas, com a utilização de maquinários totalmente automatizados para cultivo, plantio e colheita, com a utilização inclusive de aplicativos de Global Positioning System (GPS) para otimizar a colheita do produto. Por ser uma fibra vegetal, sua estrutura molecular é celulósica, constituída por quatro camadas sendo de fora para dentro a Cutícula, a Parede Primária, a Parede



Secundária e a Parede Central da parede secundária, como mostra é apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Estrutura da fibra do algodão



Fonte: Textile Learner (2016)

O estabelecimento da melhor época de plantio está ligado aos conceitos de menor risco de prejuízos devido ao tempo e de menor prazo possível de plantio. Deve ser escolhido o período de plantio dentro do qual sejam menores, na média de vários anos, os riscos de prejuízo por condições adversas como estiagem, chuva, baixa temperatura.

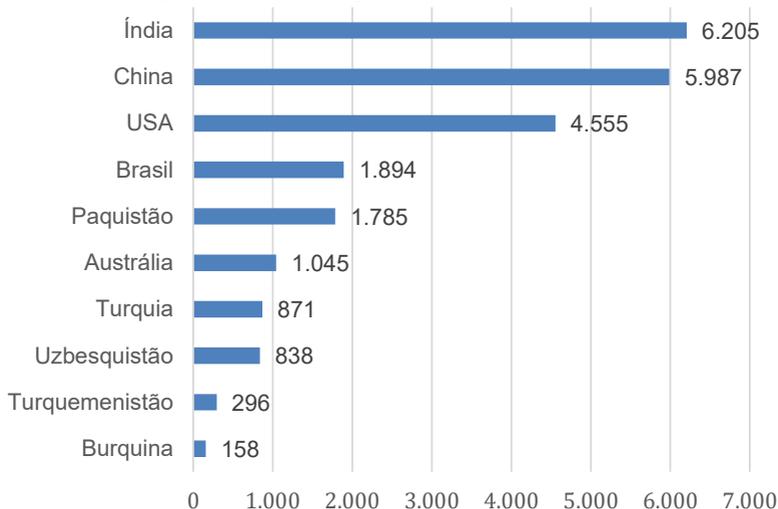
Na região Centro Oeste, a melhor época para o plantio vai de novembro a janeiro; para o nordeste de janeiro a maio e no sudeste de outubro a dezembro (CANAL RURAL, 2014). Hoje, o destaque da produção no Brasil é o estado de Mato Grosso, com 68,2% da produção nacional, seguido pela Bahia com 19,2% (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2017).

Na contramão dessa estatística, o Brasil exportou, por exemplo, aproximadamente 44% da produção nacional em 2015 (CONAB, 2017); com os principais destinos à Indonésia com 16% e à China com 12%, fruto de acordos comerciais que favorecerem essas transações.



O Brasil é um dos maiores produtores de algodão no mundo, ficando atrás da Índia, China e Estados Unidos. Nos anos de 2017/2018, o Brasil ocupou o quarto lugar nesse ranking, conforme se demonstra no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Produção mundial de algodão (milhares de toneladas) - 2017/2018



Fonte: Adaptado de The Statistics Portal (2019)

Esses dados tornam a cultura que envolve o algodão, importante para o cenário econômico brasileiro. A quarta posição que o Brasil ocupa, em volume de produção no cenário mundial, mantém-se desde 2013 (THE STATISTICS PORTAL, 2019). Segundo o Ministério da Agricultura (2018), a indústria têxtil brasileira consome mais de um milhão de toneladas do algodão produzido no País, o que garante o pleno abastecimento, para a indústria de fabricação de fio de algodão.

Pode-se entender que, na Indústria Têxtil encontra-se uma sequência de transformações no substrato, iniciando com a fiação, e tornando-se o produto mais valioso



subsequentemente (LOBO; LIMEIRA; MARQUES, 2014).

A região sul se evidencia na cadeia têxtil, pois, segundo Bezerra (2014), essa região possui, no geral, 30,4% dos estabelecimentos industriais têxtil do Brasil e no setor de fibras e fiação, cerca de 19,2%. No estado de Santa Catarina, o setor de fiação representa 12,9% do volume nacional (SINTEX, 2017). Esses dados reforçam a importância do setor de fabricação de fios, no estado, dentro do processo produtivo têxtil.

Os fios têxteis podem ser fabricados para diversas finalidades, como para malharia, tecelagem plana, linhas de costura ou de bordados. Conforme o destino, características específicas são atribuídas ao produto no processo de fabricação do fio, para atender às exigências do processo subsequente.

O fio é produzido a partir de uma fibra têxtil de diferentes origens e que, de acordo com Jackowska et al. (2004), a fiação pode também ser definida como um processo que transforma as fibras naturais, químicas ou suas misturas em fios. Com exceção da seda, todas as fibras naturais possuem comprimentos limitados e definidos.

Na fiação, essas fibras são transformadas em um fio contínuo, coeso e maleável. Ou seja, a fiação consiste em transformar uma fibra têxtil em fio com massa por unidade e comprimento definidos, em que “o processo de fabricação de fios, paraleliza as fibras utilizando diversas passagens de estiramentos e torções de modo a prenderem-se umas nas outras por meio de atrito” (SHAHID et al., 2012, p. 35).

Durante o processo, o fio de algodão é torcido em torno de seu eixo. Ursíny (2010) corrobora com Shahid et al. (2012, p. 36) ao afirmar que “essas voltas em torno do seu eixo são aplicadas ao fio com a finalidade de evitar que



as fibras possam soltar-se uma das outras”, e, portanto, a torção dá resistência ao fio por meio da compressão das fibras e do aumento do atrito entre elas.

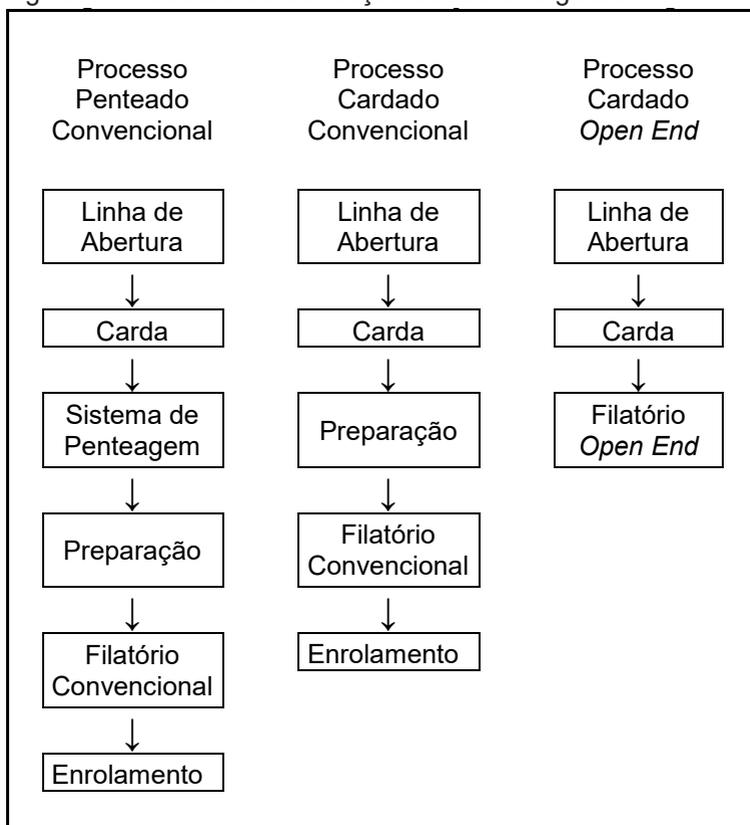
De acordo com Esfahani e Shanbeh (2014), no setor da fiação, são encontrados diversos processos formadores de fios e podem ser classificados por processo de fios penteados; de fios cardados convencionais e processos fios cardados a rotor ou Open End (OE).

Cada um desses processos de fabricação de fios, atendem a determinadas especificações que se requer do fio, que vão desde a aparência final do produto a ser utilizado por ele, até o custo final, passando por etapas como tecimento, beneficiamento e estamparia, que são definidas de acordo com o tipo de processo pelo qual o fio passou.

As etapas do processo de fabricação de fios, para fibras de algodão, diferem pelo tipo de maquinário e etapas às quais essa fibra é submetida. Na Figura 4, são apresentados esses três sistemas básicos de fabricação de fios, de fibras naturais de algodão.



Figura 4 - Processo de fabricação de fios de algodão



Fonte: Adaptado de Lobo, Limeira e Marques (2014)

Conforme Baykal, Babaarslan e Erol (2006), o processo cardado Open End é mais curto que o penteadado e o cardado convencional, já que utiliza uma quantidade menor de maquinário no processo (Figura 2); essa afirmação corrobora com a demonstração de Lobo, Limeira e Marques (2014), quanto aos tipos de processos de fabricação de fios têxteis.

Estimando que, os três processos apresentados foram projetados para que produzam o mesmo volume de output



(kg de fios/h), Kaplan e Göktepe (2006) afirmam, que o processo Open End apresenta um custo final inferior aos demais, devido à menor quantidade de maquinários. Isso reflete pela menor quantidade de mão de obra envolvida, de consumo de energia elétrica por quilograma de fio produzido, de espaço físico necessário e de custo de manutenção.

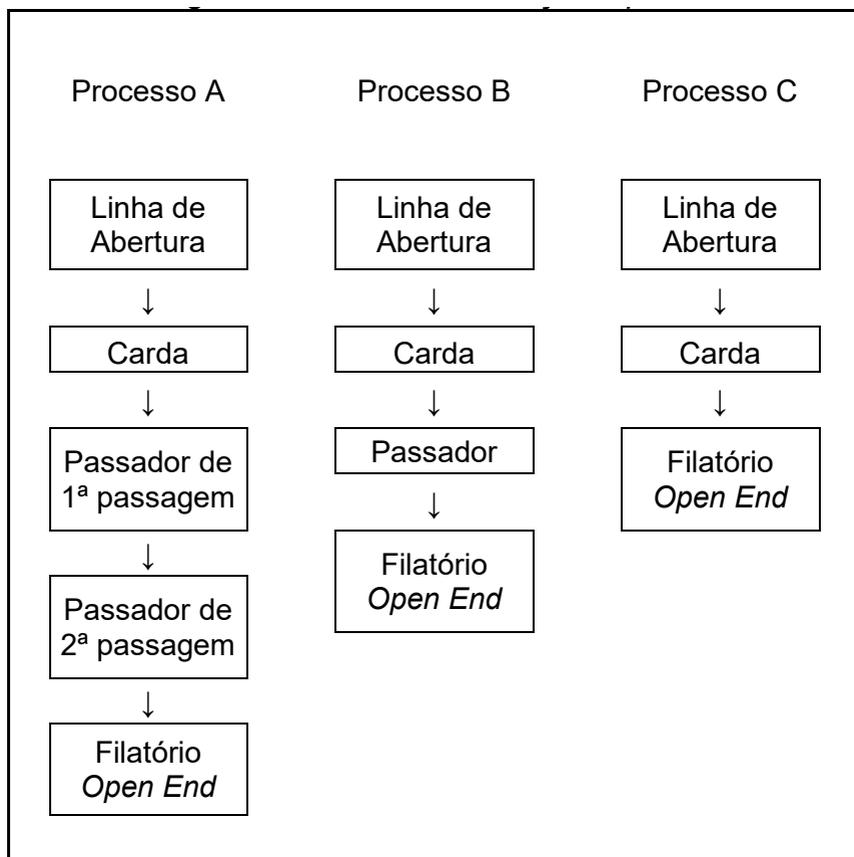
O modelo de processo de fiação Open End é o que mais evoluiu ao longo do tempo, tendo hoje destaque mundial em termos de quantidade de unidades fabris; nove em cada dez fiações de algodão, instaladas hoje no mundo, são do sistema Open End (KAPLAN; GÖKTEPE, 2006).

Conforme Yang e Wang (2008), o processo Open End tem sido adotado em todo o mundo na indústria têxtil; suas principais vantagens sobre a fiação convencional são os altos volumes de produção de fios, redução dos custos de produção, aumento do título e melhor uniformidade dos fios. O processo de fiação evoluiu ao longo do tempo. Danielzyk e Stadnicki (2015) afirmam que, os avanços tecnológicos das máquinas de fiação, vieram com o aumento de velocidades, componentes específicos para cada tipo de fibra têxtil, controles automáticos dos processos e parâmetros, sistemas de limpeza mais eficientes, descarregamento automático na saída das máquinas, dentre outros; que proporcionaram aumento da produção sem prejuízo à qualidade.

Na fiação Open End do sistema a rotor, ainda existem alguns diferentes tipos de processos em funcionamento, de acordo com o tipo de maquinário (mais antigo ou mais novo), tipo de fibra de algodão, de produto final que se deseja produzir, quanto ao destino do fio de algodão e seu peso por unidade de comprimento (título Ne). Conforme a Figura 5 podem-se observar três diferentes processos de fiação Open End e sua diversificação de maquinário.



Figura 5 - Processo de fiação Open End



Fonte: O autor (2018)

Conforme se observa ao longo do tempo, o processo variou, pois, já possuiu subprocessos de Linha de abertura, Carda, Passador de 1ª passada, Passador de 2ª passada (Figura 5 – Processo A) e por último, o Filatório *Open End*.

No Passador ocorreram avanços com as novas geometrias do trem de estiragem, possibilitando aumento de velocidade de saída, porém, sem queda nos padrões



de qualidade do produto (ISHTIAQUE; MUKHOPADHYAY; KUMAR, 2009b). Isso fez que a necessidade de um segundo Passador no processo não fosse mais indispensável.

Já o filatório Open End, de acordo com Foulk et al. (2004), pode aumentar seu volume de produção, já que o material de input, passou a chegar em melhores condições, com uma maior homogeneidade da massa por unidade de comprimento, paralelização das fibras e menor quantidade de irregularidades que ocasionavam ruptura dos fusos no filatório.

O tamanho, com relação à quantidade de fusos desse maquinário, aumentou consideravelmente, podendo hoje existir filatórios com até 700 fusos e eficiência chegando à casa dos 100% por determinados períodos (RIETER, 2018b). Com tudo isso, o fluxo produtivo pode ser diminuído, a ponto de deixar de utilizar alguns maquinários, sem perder com isso, qualidade, eficiência e volumes de produção, conforme se pode observar na Figura 5 – Processo B e C.

No fluxo considerado mais antigo (Figura 5 – Processo A) exigia a necessidade de se utilizar dois passadores (FARAZ; KHAN, 2012). Isso devido ao fato de a menor capacidade de eficiência de abertura e limpeza da linha de abertura, da menor eficiência de cardagem e da maior sensibilidade dos filatórios Open End, quanto ao tipo de preparação que o material tinha, ao chegar nesse ponto do processo.

Com o avanço tecnológico e um selecionamento mais rigoroso da matéria prima, foi outro fator que propiciou a eliminação da necessidade do segundo passador na linha (Figura 5 – Processo B) e em alguns casos, como os das cardas com trem de estiragem na saída (cardas c/ TE), e a eliminação do próprio passador (Figura 5 – Processo C).



O passador de 2ª passagem tinha praticamente as mesmas funções do maquinário anterior, conforme Dhamija e Chopra (2007), mas, necessário para o melhoramento da eficiência e qualidade no filatório Open End, já que se fazia necessária, com o intuito de poder reduzir ao máximo os ganchos das fibras, as irregularidades advindas da abertura e cardagem, devido às ineficiências das etapas anteriores da época, já citadas anteriormente.

Com variedade e quantidades de processos de manufatura, no setor de fiação, faz-se necessário um estudo de previsão de manutenção de todo esse maquinário, garantindo seu bom funcionamento e a maximização da produção no longo prazo.

Iniciando o processo de fabricação de fios de fibras descontínuas e/ou curtas, tem-se a chamada linha de abertura, que segundo Araújo e Castro (1987), tem como finalidade abrir, limpar, misturar e uniformizar a massa de fibras. Pode-se dizer que nessa etapa as fibras em forma de flocos são transportadas por tubulações para a operação seguinte.

Como as fibras são naturais, estas possuem impurezas e sujeiras e com isso, o maquinário para esse tipo de material precisa ser ajustado para eliminá-las ao máximo, mas sem prejudicar a qualidade das fibras nem a velocidade do fluxo. Assim, uma abertura eficiente não só melhora a limpeza de fibra, mas também propriedades do fio, como a resistência do fio e suas imperfeições (KHAN; SARKER; RAHMAN, 2015).

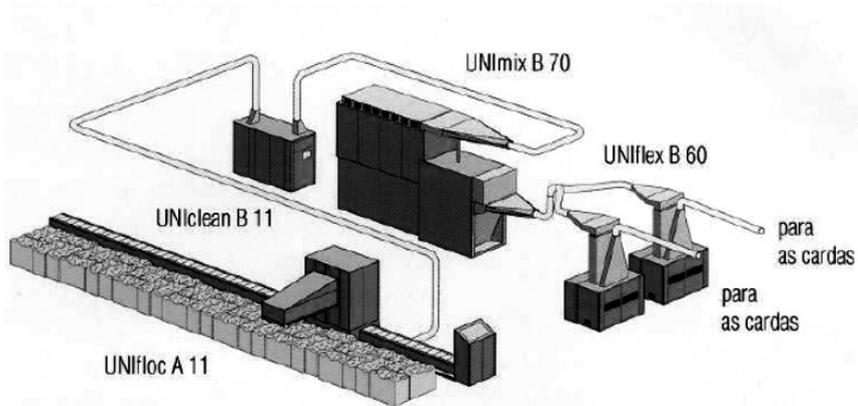
A abertura e limpeza das fibras de algodão, esse processo requer uma sequência de etapas distintas. Conforme Hossain et al. (2016), ela é composta por um grupo de máquinas interligadas, que vão desde a abertura dos



fardos de algodão (input), até chegar às cardas em forma de manta de baixa densidade (output), passando por diversos processos de descompactação das fibras, limpeza e mistura de diferentes tipos dessas fibras. Essa limpeza é realizada por meio de ações mecânicas que fazem com as fibras em movimento, tenham desprendidas as sujeiras naturais desse tipo de material.

Em toda essa linha, um sistema de sucção se encarrega de retirar do algodão, os resíduos que não farão parte da composição do fio e direcionando a um filtro, que separará as impurezas grossas das finas, que poderão ser utilizados em outros seguimentos. A Figura 6 apresenta essa sequência de maquinário que compõe uma linha padrão de abertura para fiação de algodão, do fabricante alemão Rieter®.

Figura 6 - Linha de abertura da Rieter®



Fonte: Rieter® (2018a)

A seguir, no processo de fabricação dos fios de algodão vem a Carda, que conforme Danielzyk e Stadnicki (2015), tem como finalidade, além de cardar (separar as fibras, iniciando o processo de paralelização delas), estirar (afinar o produto) terminar de limpar do material. Considerada fundamental na



fiação, por suas funções, tem sido alvo de diversos avanços tecnológicos ao longo dos tempos.

Na saída da Carda (output) se dá por material em forma de uma fita, por meio do comprimento por unidade de peso, chamado de título inglês Ne. Conforme Swicofil (2016), esse título Ne é calculado pela quantidade de meadas de 840 jardas do produto, necessárias para formar uma libra em peso. Essa unidade de densidade é tradicionalmente utilizada em fiações de fibras descontínuas para efeito de cálculos de produção e padronizar as fitas, mechas, pavios e fios a ser produzidos no processo.

Em questão de trabalho, a Carda é interligada com a linha de abertura, e tem como input, a manta de fibras de algodão mais limpa e uniforme, controladas pelo peso por unidade de área (g/m^2). A Figura 7 mostra um modelo TC07 da carda do fabricante alemão Trützschler®.

Figura 7 - Carda da Trützschler®

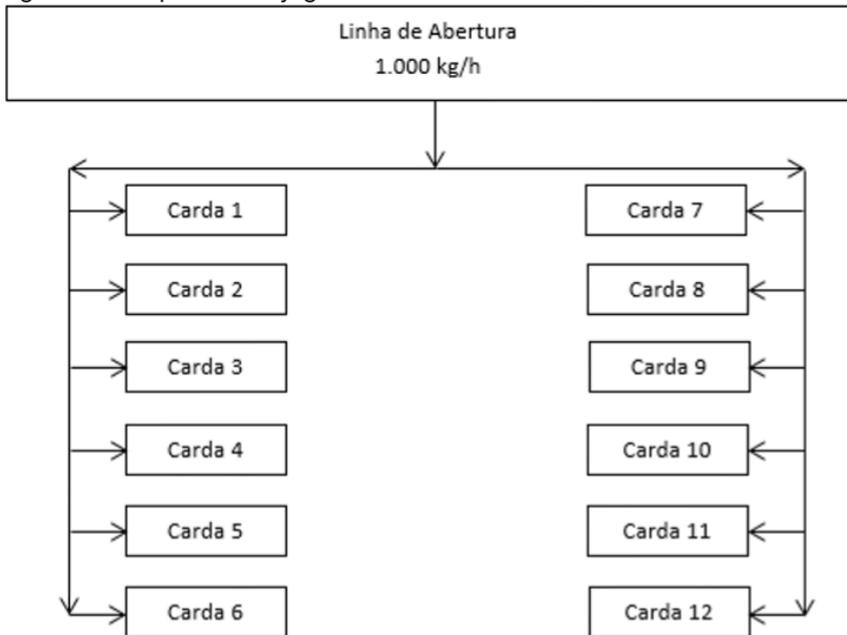


Fonte: Trützschler® (2018a)



A capacidade produtiva (kg/h) individual da Carda é menor que a da saída da Linha de Abertura (EL-SAYED et al., 2012); isso faz que ocorra a necessidade de se dispor uma quantidade maior de cardas na saída dessa linha, proporcional ao seu volume de produção. A Figura 8 apresenta um esquema conjugado entre a Linha de Abertura, com capacidade instalada de 1.000 kg/h de output e doze Cardas, com capacidades individuais de output de 80 kg/h.

Figura 8 - Esquema conjugado Linha de Abertura/Cardas



Fonte: O autor (2018)

Conforme pode ser observado, a capacidade de produção da Linha de Abertura é proporcional à somatória das capacidades individuais das Cardas, já que o sistema é conjunto. Assim:



$$\text{Output da Linha de Abertura} = \sum \text{Input da carda}$$

O sistema é autocontrolado, que se refere aos input e output, ou seja, quando a alimentação (input) das Cardas diminui, automaticamente a saída (output) da Linha de Abertura também diminui, fazendo que não ocorra excesso e/ou falta de material na linha, durante o processo de produção.

Dando continuidade ao processo o material, oriundo da carda, segue para o próximo setor, o Passador, em forma de mecha ou fita (input). Este, de acordo com Ishtiaque, Mukhopadhyay e Kumar (2009a), tem como objetivo uniformizar o peso por unidade de comprimento, estirar (afinar o produto), paralelizar as fibras, reduzir os ganchos formados na linha de abertura e da própria carda e homogeneizar o material (a partir da mistura das fitas de diversas cardas).

É considerada a máquina mais simples em termos de tecnologia, funcionamento, custos de aquisição e de funcionamento, dentro do processo de fiação de fibras descontínuas (URSÍNY, 2010). Apesar de essa aparente simplicidade, sua utilização impacta diretamente no resultado final do produto fio e na eficiência da produção na etapa seguinte do processo, o filatório Open End, já que o output, também na forma de fitas, é mais regular.

Estudos apontam que a melhoria da qualidade no fio, é da ordem de 0,3 a 1,5% no coeficiente de variação nos parâmetros de qualidade e de até 1,5% na eficiência da produção do filatório Open End, segundo Mahmood, Jamil e Ahmad (2006) e Jabbar, Hussain e Moqheet (2013), em relação ao fio cujo processo não contempla a utilização do Passador, logo depois das Cardas, para misturar essas fitas. A Figura 9 mostra um modelo TD7 do passador do fabricante alemão Trützschler®.



Figura 9 – Passador da Trützschler®



Fonte: Trützschler® (2018b).

Nessa Figura 9 é possível observar que a unidade de material de entrada (input) oriundo das Cardas, é maior que a de saída (output) do Passador, fazendo que ocorra uma maior homogeneidade do produto. Esse produto, mais homogêneo, será a alimentação (input) da próxima máquina do processo, o filatório Open End.

As fibras, agora em forma de fita (input), passam para a etapa final o filatório Open End, que conforme Kaplan e Göktepe (2006), têm a finalidade de abrir essa fita, agrupar novamente, esticar para dar o título (densidade) final ao fio e torcer as fibras, de acordo com o destino a ser dado a ele. Finalmente, o fio (output) está pronto para ser utilizado para as mais variadas finalidades, como para malharia, tecelagem plana, linha de costura etc.

O filatório Open End possui uma das maiores tecnologias do setor têxtil, pela sua complexidade de funcionamento, ajustes e exigir grandes velocidades. De acordo com Yang, Yuan e Wang (2009), as fibras são alimentadas para os rolos de alimentação por meio de um



dispositivo de tensão e um guia adequado; em seguida, move-se em frente através do tubo guia e são arrastadas para o rotor por meio de sucção.

No rotor, as fibras são agrupadas pela força centrífuga, para formar o fio propriamente dito o qual, depois de torcido, é puxado através do funil de saída e finalmente enrolado no cone ou bobina de recolhimento (ESFAHANI; SHANBEH, 2014). Esse tipo de turbina ou rotor, chega a rotações da ordem de 150.000 rpm, dependendo do título final do fio e da qualidade da fita na entrada.

A Figura 10 mostra esse tipo de maquinário e do mesmo modelo no qual foi realizada a pesquisa, aqui proposta.

Figura 10 – Filatório Open End da Rieter®



Fonte: Rieter® (2018b).

Observa-se que, na parte inferior da máquina está o material de entrada do filatório, oriundo do passador e na parte superior, as bobinas que acumulam o fio produzido. A velocidade de alimentação (consumo de material) desse



modelo de filatório é de 0,38 kg/h/fuso; num total de 228 kg/h. A produção do passador representa um valor de 230 kg/h. Isso representa que, o filatório Open End com 600 fusos, é abastecido por um único Passador.

2.2 MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

O surgimento do conceito de manutenção de equipamentos, segundo Rezende et al. (2007), teria ocorrido em meados do século XVI, com o surgimento das máquinas têxteis, movidas a vapor. Praticamente se iniciou com os próprios equipamentos industriais (OLIVEIRA; LOPES; FIGUEIREDO, 2014) e hoje, abrange não só os bens de produção da empresa, mas também, maquinários auxiliares, instalações em geral, edifícios, etc.

Santos e Ferreira (2013) afirmam que, foi na Revolução Industrial que a manutenção teve seu marco inicial e mais tarde, na Segunda Grande Guerra, surgiram as primeiras gerações de sistemas de manutenção. No período inicial, a manutenção se propunha a executar reparos após quebra de maquinários, limpezas e lubrificação de veículos e armamentos bélicos (SOUZA, 2007).

A manutenção é importante dentro do processo industrial, pois, garante além da conservação do equipamento, seu bom funcionamento e a segurança da continuidade da produção. Seu impacto na manufatura é tão fundamental que, segundo Faccio et al. (2014), é um fator estratégico para garantir alta produtividade dos sistemas industriais. A elaboração de políticas adequadas de manutenção, garantem a eficiência das unidades de produção, em termos de otimização, qualidade e disponibilidade dos maquinários. Por esta razão, o conceito de manutenção evoluiu



significativamente ao longo do tempo, graças a grandes contribuições sem pesquisa nos ambientes industriais.

Conforme Azizi e Fathi (2014), a manutenção é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um maquinário ou instalação em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. A manutenção pode incluir uma modificação de um item ou maquinário, logo, ela é o conjunto de ações necessárias para que um item seja conservado ou restaurado de modo a poder permanecer de acordo com uma condição especificada (WANG; LIU; WANG, 2008).

Cabe à Manutenção fazer que seus clientes (operação e fornecedores) atuem, também, de maneira sistêmica para alcançar esses objetivos. Segundo Lind (2008), a permanência do maquinário em condições satisfatórias significa vida útil mais longa e, isso só é obtido por meio de um sistema adequado e eficiente de manutenção. O gasto com métodos, processos, instrumentos e ferramentas destinadas à manutenção representa um aumento da vida útil do maquinário e retomada (parcial ou total) de sua produtividade.

Os sistemas de manutenção que surgiram, foram a corretiva, preventiva e preditiva, que segundo Xenos (2004), têm como objetivo, evitar ocorrências de quebras/falhas nos maquinários em geral. Esses modelos de manutenção são aplicados conforme, os conceitos e definições de cada uma delas.

Esse sistema de manutenção evidencia-se pela ação de restabelecer a capacidade de funcionamento ou uma falha que ocorreu em um determinado maquinário (WANG, 2002). Nesse contexto, Kardec e Xavier (2009) afirmam que,



a manutenção corretiva é aquela que ocorre quando um sistema falha e ações são realizadas para restaurar o item a sua condição específica.

Para a empresa, do ponto de vista econômico, essa manutenção é o que incorre no menor custo imediato, porém, em termos de benefício pode ser mais prejudicial, pois, não se tem nem a garantia de quando a falha irá ocorrer ou se repetir nem se sua intensidade será semelhante ao já ocorrido.

Ainda corroborando com Kardec e Xavier (2009, p. 39), ao ressaltarem que “mesmo que a decisão gerencial seja de deixar o maquinário funcionar até a falha, essa decisão deve ser conhecida, e algum planejamento pode ser feito quando a máquina não operar mais”; a empresa deve estar preparada para esse tipo de ocorrência, se for esse formato de manutenção a ser adotado.

A manutenção preventiva, segundo Poduval e Raj (2014), realizar operações, em intervalos de períodos devidamente organizados, com a intenção de manter o maquinário em condições de funcionamento. Esse tipo de manutenção é realizado periodicamente em intervalo especificado para evitar deterioração e possíveis quebras do maquinário podendo incluir, a lubrificação, limpeza, substituição, ajuste e aperto (SAMROUT et al., 2009).

Ainda conforme Poduval e Raj (2014), a essencial vantagem da manutenção preventiva é que, conforme é realizada por atividades programadas em intervalos de tempo, a equipe de serviço se antecipa as quebras ou desgastes de componentes do maquinário. Com isso, se antecipa para a realização desse evento, com a aquisição das peças a serem substituídas.

Esse modelo de manutenção se caracteriza por



verificações periódicas, com aferições, leituras e outras atividades de inspeção com propósito de verificar e acompanhar a vida útil dos maquinários (FARACO, 2010). Xenos (2004, p. 25), descreve que

a manutenção preditiva permite otimizar a troca das peças ou reforma dos componentes e estender o intervalo de manutenção, pois permite prever quando a peça ou componente estarão próximos do seu limite de vida.

A manutenção preditiva tem o objetivo de acompanhar e mapear o desgaste dos maquinários, visando à intervenção antes que ocorram falhas (WANG, 2002). A abordagem preditiva ajuda a evitar paradas não planejadas e a identificar partes defeituosas da máquina antes que elas afetem a qualidade do produto ou venha causar paradas não programadas. A importância da manutenção no processo industrial vai além de garantir o funcionamento dos maquinários; mas, também a continuidade do negócio. Otimizar a manutenção, de forma econômica, vai ao encontro a pesquisa proposta.

A Total Productive Maintenance (TPM) é conhecida como uma abordagem inovadora de manutenção que aperfeiçoa a eficácia do maquinário, eliminando falhas e promovendo uma manutenção autônoma pelos operadores, por meio das atividades diárias envolvendo a força de trabalho total (BHADURY, 2000). A manutenção produtiva total (TPM) é um estilo americano de manutenção produtiva que foi modificado e melhorado para se encaixar no ambiente industrial japonês.

Essa sistemática de manutenção propõe as atividades da manutenção produtiva com o envolvimento de todos os



níveis hierárquicos da empresa, desde o alto executivo até o operador da máquina, buscando o melhor desempenho global possível (CHANDEGRA; DESHPANDE, 2014).

É semelhante ao gerenciamento just-in-time (JIT) e ao gerenciamento de qualidade total (TQM), além de ser uma extensão da manutenção preventiva. Conforme Almeanazel (2010), a implementação da TPM envolve funcionários relevantes e se concentra em atividades de prevenção de falhas.

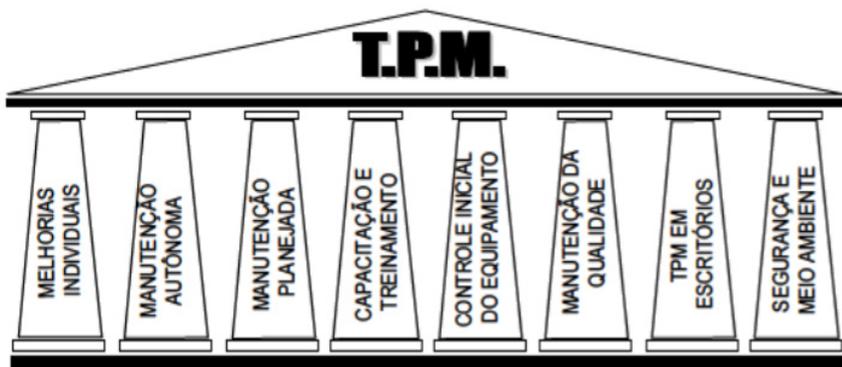
TPM é uma estratégia de manutenção desenvolvida para atender às novas necessidades de manutenção. Pathak (2015) descreveu que a TPM tem uma abordagem japonesa, com cinco pontos principais, que envolve diversos setores direta e indiretamente ligados ao maquinário:

- i. Utilizar a máquina de forma eficiente.
- ii. Estabelece um sistema de manutenção preventiva total.
- iii. Requer a participação de todos os departamentos.
- iv. Envolve todos os empregados e empregadores.
- v. Promove e implementa a manutenção preventiva

Apesar de a TPM ter o foco na redução de custos, melhoria contínua e da qualidade, não é uma das metodologias mais usadas nas organizações brasileiras, pelo menos até recentemente (PEIXOTO; BASTOS, 2012); porém estes autores acreditam que a prática desse método venha ser a mais utilizada no futuro. Outros autores apresentam os pilares da TPM e defendem que eles dependem da estrutura e metodologia que a organização utiliza, consideram-se os oito pilares nos quais conforme Singh e Ahuja (2013) são demonstrados na Figura 11.



Figura 11 - Os outros pilares da TPM



Fonte: Adaptado de Singh e Ahuja (2013)

Rodrigues e Hatakeyama (2006) afirmam que esses oito pilares da TPM, causam efeitos nas organizações. Os efeitos podem ser nas estruturas da organização, processo, produtos e em pessoas e esses resultados causam impactos diretos, devido às seguintes relações, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Efeitos dos pilares da TPM

Pilares da TPM	Efeitos na organização
Melhorias individuais	Melhoria individual dos maquinários para elevar a eficiência.
Manutenção autônoma	Estruturas da manutenção autônoma do operador.
Manutenção planejada	Estruturas da manutenção planejada do setor de manutenção.
Capacitação e treinamento	Treino para melhorar as capacidades da operadores e técnicos de manutenção.
Controle inicial do estado do maquinário	Elaboração de uma estrutura de controle inicial dos estados dos maquinários.
Manutenção da qualidade	Manutenção da qualidade dos processos e produtos.
TPM em escritórios	Aumento das eficiências das áreas administrativas e outros.
Segurança e meio ambiente	Melhorias ao nível da segurança, higiene e meio ambiente.

Fonte: Adaptado de Rodrigues e Hatakeyama (2013)



Conforme pode ser observado, os efeitos causados pelos pilares da TPM afetam comportamentos, principalmente das pessoas envolvidas na organização e como nos resultados do negócio. Vários autores destacam os fatores de sucesso obtidos com a implementação da TPM.

Assim, Ahuja e Kumar (2009) exaltam que a TPM traz benefícios para as organizações como, melhoria contínua das habilidades e aumento do conhecimento, satisfação e a motivação das pessoas, na qual se percebe a melhoria na qualidade de vida, redução de absenteísmo e maior comunicação no ambiente de trabalho.

A TPM é importante para que as empresas aumentem sua eficácia de manutenção, melhorando os indicadores de eficiência do maquinário e a minimização do reprocesso, atacando as origens dos problemas (BARTZ, 2011). A TPM não pode ser encarada apenas como um dos tipos de manutenção, mas sim, como um novo modelo de gestão.

Afey (2014) descreve que fatores são obtidos pela organização, com a TPM, como a maximização de seus recursos disponíveis quer sejam eles materiais ou humanos. Já Belinelli et al. (2009) concluem que a TPM tem influência direta na mudança cultural dos colaboradores, maximizando a satisfação, responsabilidade, produtividade e reduzindo desperdícios. Isso faz que a participação das pessoas, seja fundamental para a implantação e sucesso da TPM.

O desempenho de manutenção, nos dias de hoje, surge como um fator significativo para os gestores da produção de empresas de manufatura. Mudanças da sistemática de gestão na indústria geraram alterações drásticas na gestão, nas tecnologias, nas demandas dos clientes, nos fornecedores e nos comportamentos competitivos, nas últimas décadas (AHUJA; SINGH, 2012).



Dentre essas mudanças, está a consciência de que manutenção precisa demandar esforços para manter os equipamentos funcionando, e continuar gerando receitas ao negócio. Os custos de manutenção, esforços esses necessários nesse contexto, são os valores gastos normalmente para reparar ou manter os maquinários em funcionamento.

Os componentes que fizeram parte desses custos da manutenção são as peças de reposição, maquinários de auxílio à manutenção, mão de obra envolvida e atividades de manutenção do local (POORE; WALFORD, 2008). Outro importante item referente ao custo de manutenção, que não foi abordado por esses autores, é o custo da perda com a parada da produção, devido à realização da manutenção. Para Lee, Houssein e Shahidul (2016), esse custo com a parada da produção, leva em consideração além da perda de receitas, o gasto com as horas de envolvimento, da diretoria, da gerência, dos operados e de outras pessoas relacionadas com o processo.

Kandlikar e Grande (2003), Alsyouf (2004) e Azizi e Fathi (2014) afirmaram que, os custos de manutenção dos maquinários estão associados à qualidade das máquinas. Além disso, esses autores argumentaram que para diminuir os custos de manutenção, é necessário melhorar a qualidade de projeto e fabricação dos maquinários. A otimização desses custos é um fator importante para melhorar o desempenho operacional das máquinas.

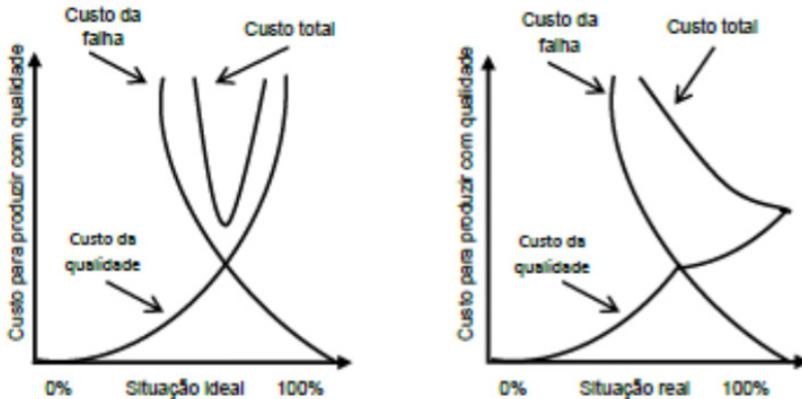
A manutenção está evoluindo rapidamente como principais contribuintes para o desempenho e rentabilidade dos sistemas de produção (AHUJA; SINGH, 2012). Lee, Houssein e Shahidul (2016) desenvolveram um modelo integrado de otimização de custos para a manutenção de máquinas industriais com base no equilíbrio entre os custos de manutenção preventiva e corretiva (Gráfico 2) no que se refere à qualidade da produção



e do produto.

Esse modelo contribuiu para melhorar a confiabilidade operacional e as taxas de falha de máquinas. Conforme pode ser observado no modelo, a qualidade da manutenção e seu custo são inversamente proporcionais.

Gráfico 2 - Custos com a manutenção



Fonte: Lee, Houssein e Shahidul (2016).

Nos processos de fabricação, os custos dos insumos são integrados para projetar o custo total do produto. Sobre essa ótica, as atividades de manutenção podem ser consideradas entrada para o processo de produção; e seus custos é um fator de entrada para o custo de produção em si. Como consequência, custos de manutenção mais elevados, contribuem para aumentar o custo de produção.

Todos os componentes dos custos de manutenção devem ser identificados e otimizados para reduzir os custos de produção. No passado, estudos abordaram métodos de manutenção em manufaturas, filosofias e estratégias. Muitos desses métodos, foram apresentados como modelos e foram discutidos em trabalhos de Wang e Pham (2006) e Wang (2002).



Modelos similares também foram desenvolvidos por Shum e Gong (2006) e Saranga (2004), para minimizar os custos de manutenção e aumentar a disponibilidade dos maquinários na produção.

Schiffauerova e Thomsom (2006) afirmaram que a indústria transformadora hoje em dia é altamente competitiva na perspectiva de alta qualidade do produto e baixo custo de produção. Eles também apontaram que a alta qualidade do produto e o baixo custo de produção só podem ser alcançados se cada componente de custo for otimizado. Componentes de custo de manutenção são pouco discutidos em estudos anteriores (POORE; WALFORD, 2008), porém são de suma importância para o mapeamento dos custos totais com as manutenções.

Os componentes dos custos de manutenção foram classificados em grupos, relacionando subcomponentes que são materiais, ações e infraestruturas relacionadas (LEE; HOUSSEIN; SHAHIDUL, 2016). O Quadro 3 apresenta esses componentes e seus respectivos subcomponentes.

Quadro 3 - Componentes dos custos de manutenção

Componentes		Subcomponentes
1	Gerenciamento de peças de reposição para manutenção	Custos das peças a serem substituídas
		Custo do estoque
		Custo da encomenda
2	Estoque total	Custo dos itens consumíveis
		Custo logístico
		Custo da instalação
3	Mão de obra da manutenção	Pessoal de manutenção – hora/homem
		Tempo gasto na manutenção
		Nível de habilidade operacional (qualificação)
4	Gerenciamento de manutenção	Taxa de pessoal de gestão por hora
		Tempo gasto na gestão
		Custo de gestão de materiais
		Nível de habilidade gerencial (qualificação)
		ITC maquinário

Fonte: Adaptado de Lee, Houssein e Shahidul (2016)



Conforme se observa, os componentes de custo de manutenção, tais como peças de reposição, estoque, mão de obra e gerenciamento, devem ser descritos sob a forma de valores financeiros. Mesmo os subcomponentes que levam em consideração a qualificação profissional, de quem executa tarefas ligadas à manutenção, são mensuradas dessa forma.

Segundo Ahuja e Kumar (2009) e Afefy (2014), ao longo do tempo a questão técnica da manutenção se afastou um pouco do aspecto econômico e evoluiu para a Total Productive Maintenance (TPM), associada ao Lean Manufacturing: conceito de perda zero e/ou produtividade física máxima da produção.

Para que a manutenção possa proporcionar a produtividade máxima possível do maquinário, um bom planejamento torna-se fundamental (HU; YANG; HU, 2012). Essa forma eficaz de organização da manutenção reduz o número de intervenções, atuando preventivamente, de modo a atender à disponibilidade e confiabilidade operacional do maquinário.

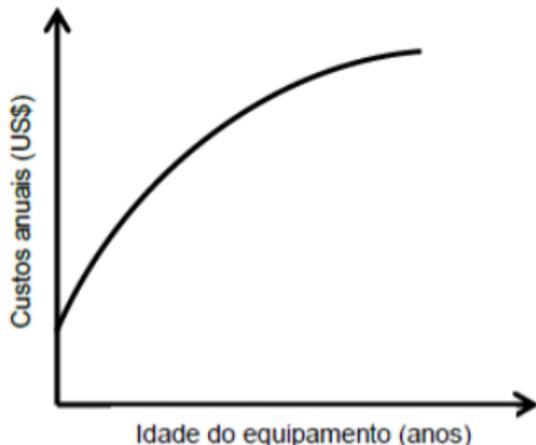
Ao longo do tempo, o maquinário tende a ter desgastes ocasionados por diversos fatores, diminuindo sua eficiência e aumentando seus custos operacionais. Alchian (1958), em seu estudo clássico sobre Políticas Econômicas de Substituição, afirma que ao longo do tempo, os custos anuais de operação e de manutenção, relacionados com a idade dos maquinários aumentam. Isso se deve ao fato de que, durante a vida útil são necessárias de manutenções cada vez mais onerosas, já que as peças vão se desgastando com uma maior periodicidade e intensidade.

Nesse estudo, Alchian (1958) afirma que os custos de manutenção e de operação de um maquinário com um determinado tempo de uso, são diferentes se comparando a máquina com um tempo menor de utilização. Quaisquer



que sejam os custos que um maquinário proporciona, com o passar do tempo de funcionamento, eles são considerados cada vez mais elevados se mantido sua utilização por mais tempo, conforme é demonstrado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Custos anuais x idade do maquinário



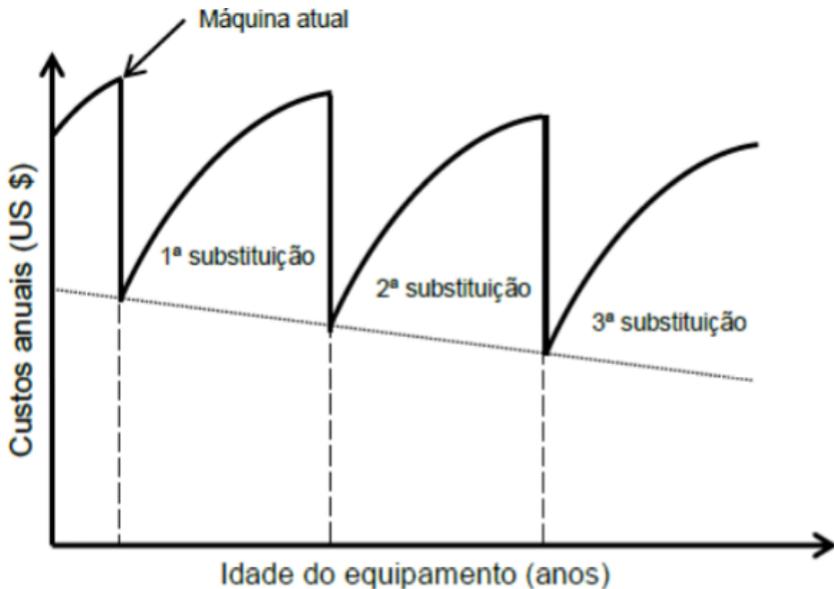
Fonte: Adaptado de Alchian (1958)

Essa forma com que a curva se comporta; côncava no caso de Alchian pode ser discutida, já que autores como Lee, Houssein e Shahidul (2016) apontam para um comportamento de forma convexa para esse tipo de curva. Independentemente do tipo de comportamento da curva (côncava ou convexa), isso torna a manutenção, quanto ao seu planejamento, fundamental para maximizar a eficiência da produção e a minimização dos custos operacionais do maquinário.

Alchian (1958) afirma também que, quando a máquina atual é substituída por uma nova, esse maquinário terá custos médios ainda mais baixos de operação e de manutenção, ao final dos anos projetados de sua utilização. Isso se repete ao longo dos anos de substituições por novos maquinários, como pode ser observado no Gráfico 4.



Gráfico 4 - Adaptado de Alchain (1958)



Fonte: Adaptado de Alchain (1958)

Essa diminuição dos custos médios operacionais e de manutenção é resultado de evoluções tecnológicas que acompanham a fabricação de novos maquinários, pois, segundo Kandlikar e Grande (2003), os novos maquinários consomem menos energia elétrica, possuem maior capacidade de produção e tendem a durar por mais tempo, pois, conjuntos de novas tecnologias acompanham toda essa evolução.

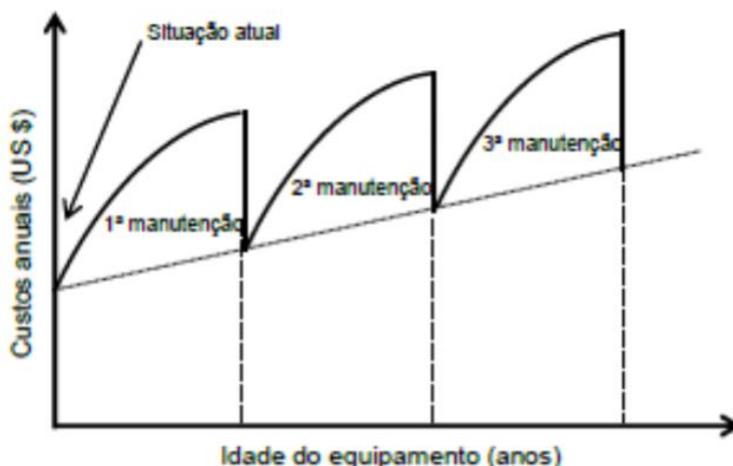
Alchain (1958) também concluiu que esses custos operacionais e de manutenção são funções exponenciais de tempo histórico, bem como a idade dos maquinários. Isso graças às evoluções tecnológicas que acompanham os novos maquinários, com o passar do tempo.

Fazendo uma análise do trabalho de Alchain e o relacionando com a realização de manutenções periódicas



programadas (preventivas e preditivas), observa-se que, ao longo do tempo, mesmo com a realização dessas manutenções, os custos operacionais anuais para manter o maquinário em pleno funcionamento, aumento gradativamente, conforme pode ser observado no Gráfico 5. Nele foi traçado um histórico de realizações periódicas de manutenções em um determinado maquinário e seus custos com a operacionalização ao longo de tempo.

Gráfico 5 – Custos anuais x Manutenção do maquinário



Fonte: O autor (2018)

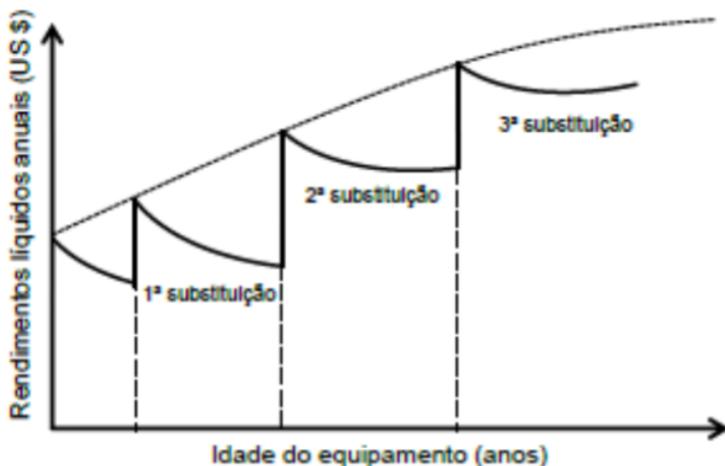
Conforme pode ser verificado, com o passar do tempo os custos operacionais do maquinário aumentam gradativamente, ao longo da realização das manutenções; isso está relacionado com os desgastes dele, de forma geral fazendo que os custos da própria manutenção aumentem com a realização com mais frequência de trocas de peças, ajustes com regulagens e lubrificações. Esse resultado afeta os rendimentos com o funcionamento desse maquinário ao logo da sua vida útil.



O rendimento médio anual, com a utilização de maquinário, também foi estudado por Alchian (1958), ao afirmar que com a troca dos maquinários, os rendimentos monetários anuais aumentam, com a aquisição de maquinários com novas tecnologias. Esse aumento do rendimento financeiro ocorre com o aumento da eficiência da produção e a diminuição dos custos operacionais e de manutenção. Isso é apresentado no Gráfico 6.

No Gráfico 6, Alchian traçou a evolução geral dos rendimentos que o negócio proporciona, com o funcionamento dos maquinários, ao longo das substituições programadas, com novos maquinários.

Gráfico 6- Rendimentos anuais x Substituição do maquinário



Fonte: Adaptado de Alchian (1958)

As suposições feitas sob a forma como a troca dos maquinários ao tempo impacta nos rendimentos médios anuais, conforme são demonstradas no Gráfico 6, demonstram a teoria de que, com as substituições há



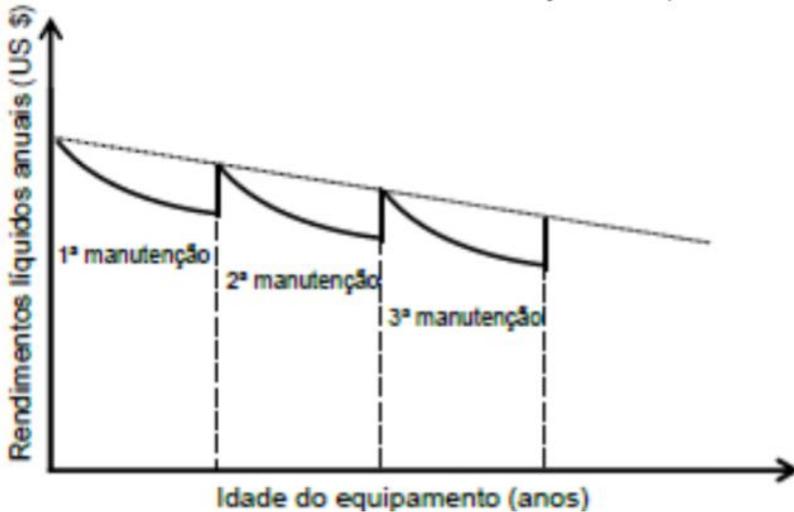
um aumento efetivo desses rendimentos. A linha cheia é a sequência histórica das taxas de receitas líquidas de serviços encomendados pela série de máquinas. Para a máquina existente, presume-se que o rendimento para o ano corrente diminui lentamente a certa taxa. Para o novo maquinário, é assumido que o rendimento volta a crescer e inicia-se num patamar maior que o da máquina anterior.

Ao longo das substituições, os rendimentos médios anuais, sempre retornam a valores superiores à dos maquinários anteriores, pelas mesmas razões já explicadas, quando das diminuições dos custos operacionais e de manutenção é a inovação tecnológica, pois segundo Freitas Filho (2013), essas inovações tecnológicas agregam muito mais valor, gerando mais riquezas às empresas.

Da mesma maneira, fazendo uma análise do trabalho de Alchian e o relacionando com a realização de manutenções periódicas programadas (preventivas e preditivas), também se observa que, ao longo do tempo, mesmo com a realização dessas manutenções, ocorre uma variação dos rendimentos, conforme pode ser constatado no Gráfico 7. Neste gráfico, foi traçado um histórico de realizações periódicas de manutenções programadas, em um determinado maquinário e seus rendimentos relacionados com a produtividade, que ele efetivamente proporciona ao longo do seu funcionamento.



Gráfico 7 - Rendimentos anuais x Manutenção do maquinário



Fonte: O autor (2016)

Ao verificar o Gráfico 7, observa-se que com o passar do tempo os rendimentos anuais que o maquinário proporciona, diminuem gradativamente, ao longo da realização das manutenções; isso está relacionado com diminuição gradativa da sua eficiência operacional e como consequência, do seu rendimento. As manutenções programadas fazem que o maquinário volte a proporcionar uma maior eficiência em relação a que o maquinário realizava antes da realização da manutenção.

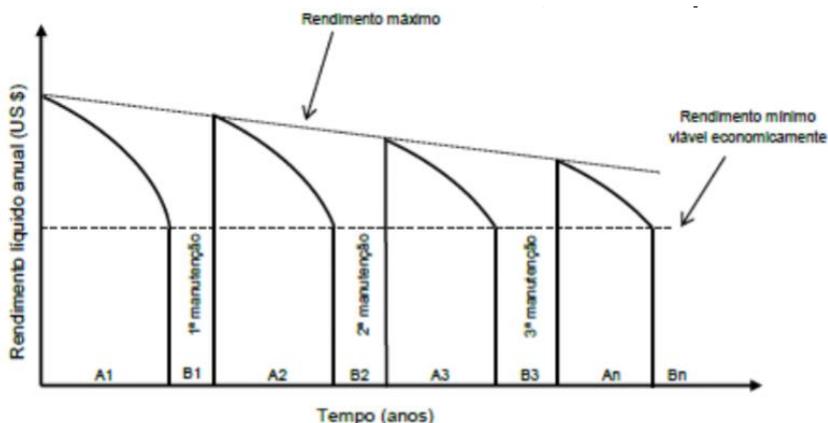
Analisando a situação do comportamento da eficiência do maquinário; e como consequência o seu rendimento efetivo; ao longo da vida útil deste com a realização das manutenções programadas, é necessário verificar como varia a eficiência ao longo tempo, depois da realização de uma série de manutenções, visando à retomada do aumento da produtividade, como foi estudado e apresentado no Gráfico 7.

Como o estudo de Alchian visa avaliar até quando



é possível manter as manutenções do maquinário, a ponto de manter sua eficiência em um patamar que seja economicamente viável para o negócio em si. Para corroborar com esse questionamento, foi elaborado um gráfico que traça a trajetória da eficiência do maquinário, voltada para o rendimento, depois da realização das seguidas manutenções programadas. Esse estudo será apresentado no Gráfico 8.

Gráfico 8 - Eficiência anual x Manutenção do maquinário



Fonte: O autor (2016)

No Gráfico 8 é observado que ao longo do tempo de funcionamento, o rendimento do maquinário vai diminuindo gradativamente; isso já foi apresentado no Gráfico 7. É traçado uma meta de rendimento mínimo viável economicamente para o negócio, que foi apresentado no Gráfico 8 na forma de uma linha tracejada. Quando a eficiência do maquinário chega ao valor corresponde desse rendimento mínimo viável, toma-se a decisão de parar a máquina para a realização da manutenção programada.

O conhecimento da trajetória decrescente dos rendimentos permite estimar qual deverá ser a produtividade



do maquinário que, uma vez alcançada, determina o momento de uma parada para manutenção, que maximiza o rendimento acumulado para um determinado número de anos de funcionamento à frente.

Essa manutenção, bem como as demais que são realizadas ao longo do tempo de vida útil do maquinário, está demonstrada nesse mesmo Gráfico 8 como, A1, A2, A3, ..., An; respectivamente da primeira a n ésima manutenção realizada.

No momento da parada do maquinário para a manutenção, até a retomada do seu funcionamento, o rendimento dele chega a zero, já que não ocorre produção; esses períodos de paradas para as seguidas manutenção ao longo do tempo de vida útil do maquinário, estão demonstrados nesse gráfico como B1, B2, B3, ..., Bn; correspondente às paradas para cada uma das manutenções realizadas.

Conforme pode ser observado no Gráfico 8, ao longo do tempo de vida útil do maquinário, este sofre manutenções programadas em intervalos de tempo cada vez menores, isto é:

$$A1 > A2 > A3 > \dots > An$$

Pode-se concluir que o maquinário chega ao valor de rendimento mínimo viável cada vez mais rápido, antecipando as manutenções programadas. Outro fator importante, que pode ser visualizado nesse gráfico é que, o tempo de parada para essas manutenções, aumenta gradativamente, já que:

$$B1 < B2 < B3 < \dots < Bn$$

Isso ocorre porque a cada manutenção, uma maior quantidade de peças é substituída, um tempo maior para



as regulagens e ajustes do maquinário, etc. Várias técnicas vêm sendo desenvolvidas para facilitar a tomada de decisão quando à realização da manutenção, ao longo do tempo. Fatores como segurança, custo, valor agregado ao produto e flexibilidade técnica, envolvem a tomada de decisão sobre a manutenção a ser realizada; quando e qual manutenção realizar. Considerando tais fatores, ferramentas que auxiliam na tomada de decisão sobre o momento de parada para manutenção, passaram a ser um aspecto estratégico a ser considerado nas empresas (LEE; HOUSSEIN; SHAHIDUL, 2016).

Apermanência do maquinário em condições satisfatórias significa vida útil mais longa e, isso só é alcançado por meio de um sistema adequado e eficiente de manutenção. O gasto com métodos, processos, instrumentos e ferramentas destinadas à manutenção representa um aumento da vida útil do sistema. Assim, o bom desempenho da produção, gastos como manutenção devem ser considerados como investimentos (LYON; LUMPKIN; DESS, 2000).

Esses investimentos são a médios e longos prazos e não apenas como despesas operacionais; o melhoramento contínuo das práticas de manutenções, assim como a redução de seus custos são resultados de um processo de gerenciamento, em que esse tipo de gasto já é contabilizado e planejado adequadamente.

Também para Waeyenbergh e Pintelon (2009), o conceito de desenvolvimento de uma estrutura para manutenção industrial fica evidente quando um projeto de grande escala, com diferentes tipos de influências e com isso, diferentes tipos de política de manutenção, são levados em consideração.

O procedimento de tomada de decisões quanto à manutenção a ser adotado, deve ser tecnicamente viável e



rentável, na sequência de uma avaliação clara das vantagens e desvantagens, com o objetivo de decidir sobre os procedimentos mais adequados para a manutenção. Chu, Laing e Liao (2008) apresentam um modelo de decisão multicritério com base no método denominado Processo Analítico Hierárquico (Analytical Hierarchical Process – AHP), o qual visava avaliar políticas de manutenção, considerando diferentes fatores caracterizadores das alternativas.

Por outro lado, Fairbrother, Turner e Wallace (2017) afirmam que os cenários de riscos precisam de abordagens probabilísticas para facilitar a tomada de decisão. Os estudos para otimização da trajetória de produção de maquinários (ou bens de capital em geral), visando o aumento da produção e a diminuição dos custos de substituição, manutenção e de operações, evoluíram sobretudo a partir da abordagem de Programação Dinâmica e da sua extensão para um contexto de Cadeias de Markov, desenvolvidas por Bellman (1957) e Howard (1960) respectivamente. A questão de modelagem quantitativa de trajetórias estocásticas de produtividade de bens de capital e sua otimização econômica é aprofundada a seguir.

2.3 MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO DE TRAJETÓRIAS ESTOCÁSTICAS

A partir do momento que se dimensiona a capacidade nominal máxima do maquinário produtivo, é possível calcular o seu percentual de eficiência a qualquer momento e observar sua evolução ao longo do tempo, isto é, a sua trajetória. A partir daí, considerados custos e receitas, é possível determinar qual o melhor momento de realizar uma parada para manutenção preventiva, visando otimizar a rentabilidade da operação ao



longo do tempo.

Essas variações de eficiência de um estado para outros decorridos intervalos constantes de tempo, devem ser analisados para detectar presença de fatores aleatórios intervenientes na trajetória da produtividade. Neste caso o sistema pode apresentar mudanças no estado de eficiência tanto no sentido de decréscimos desta quanto da manutenção ou mesmo eventuais acréscimos.

Processos que evoluem no tempo, de maneira probabilística são chamados processos estocásticos (ROCHA; SANTOS; VIEIRA, 2011). Um processo é definido por uma coletânea de variáveis randômicas $X(t)$ indexadas por um parâmetro t (marcador do tempo decorrido), que definem os estados do sistema ao longo do tempo. Considera-se como um processo estocástico, situações em que se observam alterações no estado de um sistema durante um certo período, que são influenciadas por efeitos aleatórios (TURNER, 2007).

Nos processos dinâmicos a passagem do tempo pode ser representada de modo discreto (períodos) ou contínuo. A revisão que se segue tem foco na representação de trajetórias estocásticas de produtividade de maquinários em tempo discreto, mais frequentemente encontradas na literatura voltada ao setor de produção industrial.

Uma classe importante de trajetórias de evolução temporal de processos dinâmicos probabilísticos são os chamados processos Markovianos. Segundo Bortolotti et al. (2007) e Guerry e Brussel (2014), um processo estocástico pode ser considerado um processo Markoviano, quando as distribuições de probabilidade para o seu estado no futuro imediato dependem somente do estado presente, não levando em consideração como o processo chegou ao seu estado no presente. Conforme Ensley e Carr (2006), o sistema



markoviano tem uma ‘memória’ muito limitada: a probabilidade (P_{ij}) de ocorrer um estado j em no tempo t dependa apenas do estado i do sistema em $t-1$.

Um processo markoviano pode ser representado por meio de um quadro de probabilidades de transição, conforme o Quadro 4. Neste quadro (matriz) os estados possíveis no tempo t estão representados na 1.^a coluna, enquanto as demais colunas representam os estados possíveis em $t+1$ (o conjunto de estados é o mesmo).

Quadro 4 - Matriz de probabilidade de transição entre estados de um sistema

Estados ↓ (t+1)→	1	2	...	n
1	p_{11}	p_{12}	...	p_{1n}
2	p_{21}	p_{22}	...	p_{2n}
⋮
n	p_{n1}	p_{n2}	...	p_{nn}

Fonte: Adaptado de Turner (2017)

Uma vez que p_{ij} são probabilidades (condicionais), seus valores não podem ser negativos e desde que o processo precisa realizar uma transição em algum estado e ir para outro estado, as seguintes condições/propriedades devem ser atendidas.

$$\sum_j p_{ij} = 1 \quad e \quad p_{ij} \geq 0 \quad \forall$$

O quadro de transição dos estados (Quadro 3), equivale a uma matriz P , que é chamada de Matriz de Probabilidades de Transição, para representar a evolução estocástica dos estados (ENSLEY; CARR, 2006). Isso é explicitado na matriz representada na Figura 12.



$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix}
 & \text{Figura 12 – Matriz de transição} & \\
 p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\
 p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn}
 \end{bmatrix}$$

Fonte: Adaptado de Ensley e Carr (2006).

Ou, na notação matricial: $\mathbf{P} = [p_{ij}]$

Conforme Ensley e Carr (2006), a matriz \mathbf{P} é denominada Matriz de Transição do sistema. Em sua forma mais simples, uma Cadeia de Markov possui um número finito de estados e probabilidades de transição constantes ao longo do tempo. Mais ainda, quando o sistema puder transitar de um estado inicial qualquer para qualquer estado do sistema (incluindo o estado inicial) após um número indeterminado de transições, o sistema é denominado ergódico (DARLING; NORRIS, 2008).

Em um sistema ergódico, a exponenciação da matriz \mathbf{P} converge para uma matriz fixa, isto é:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \mathbf{P}^k = \mathbf{\Pi} \text{ para } k \Rightarrow \text{infinito}$$

Onde $\mathbf{\Pi}$ é uma matriz cujas linhas são idênticas, isto é $\mathbf{\Pi}_{sj} = \mathbf{\Pi}_{rj}$ para todo estado s . Então $\mathbf{\Pi}_{ij}$ pode ser interpretada como a probabilidade de o sistema ser encontrado no estado j em um período entre transições no longo prazo. A igualdade das linhas entre si é interpretada como independência da situação estacionária em relação ao estado inicial do sistema (ENSLEY; CARR, 2006; BORTOLOTTI et al., 2007; GUERRY; BRUSSEL, 2014).

Por outro lado, segundo Darling e Norris (2008), nas



situações em que a transição do estado i para o estado j estiver associada com um retorno r_{ij} , tem-se uma Cadeia de Markov com Retornos. As Cadeias de Markov com Retornos são úteis para representar sistemas estocásticos com conteúdo econômico (GUERRY; BRUSSEL, 2014). Neste caso existem duas matrizes a considerar:

$$P = [p_{ij}] \text{ e } R = [r_{ij}]$$

Onde r_{ij} é o retorno econômico associado à transição do sistema do estado para o estado j . O valor esperado do retorno imediato (uma transição) do estado i num momento qualquer (G_i) é dado por:

$$G_i = \sum_j p_{ij} r_{ij}$$

Por outro lado, o valor médio esperado para o sistema como um todo, por transição, no longo prazo (V) e desde que P seja ergódica, será dado por:

$$V = \sum_i \pi_j G_j$$

Onde π_j é a probabilidade estacionária do estado j e G_j é o valor esperado do retorno imediato do estado j . Assim V será o mesmo para qualquer estado inicial (pois as linhas de π são iguais entre si). V é o valor médio esperado por transição do sistema no longo prazo.

Adicionalmente, um sistema chamado de markoviano com retornos pode ter, em cada estado, mais de uma decisão a tomar, cada uma delas definindo uma linha de probabilidades de transição e retornos distintos de outras decisões para o mesmo estado (BORTOLOTTI et al., 2007). Neste caso cabe



ao gestor definir uma estratégia, isto é, que decisão tomar em cada estado possível do sistema, de modo a otimizar algum critério (expresso na matriz de retornos).

Se o critério for o de maximizar o retorno médio por transição no longo prazo e se o sistema for ergódico, trata-se então de escolher as decisões (essas escolhas definem os valores das linhas da matriz Π) de modo a obter o maior valor possível para V . Em casos mais simples, a avaliação dos impactos das decisões no critério de retorno médio por transição no longo prazo pode ser feita por comparação exaustiva das alternativas possíveis usando o cálculo do valor médio com probabilidades estacionárias.

Problemas de cadeias de Markov com maior número de decisões alternativas em cada estado, portanto mais complexos, geralmente são abordados com o uso de algoritmos especializados de Programação Dinâmica Estocástica, derivados do trabalho clássico da tese de Ronald Howard (1960) do MIT. Howard (1960) desenvolveu e propôs uma modelagem probabilística-matemática para estudos de tomada de decisão na maximização da utilização e substituição de maquinários militares, entre outras. Com a divulgação de seus trabalhos de pesquisa, seus estudos foram utilizados como referenciais na implantação de metodologias de apoio às tomadas de decisões, em ambientes probabilísticos e dinâmicos, nos setores industriais, agrícolas e de saúde (GUERRY; BRUSSEL, 2014).

A abordagem de decisão, utilizando Cadeias de Markov tem sido seguida em otimização de manutenção e substituição de bens de capital em geral (DEKKER, NICOLAÏ; KALLENBERG, 2008). Assim, Stengos e Thomas (1980); Scherer e Glagola (1994); Hontelez, Burger e Wijnmalen (1996); Frangopol, Kallen e Van Noortwijk (2004) e Amari,



Mclaughlin e Pham (2006), são alguns exemplos de autores que realizaram esses estudos.

Embora a representação da trajetória da produtividade por Cadeias de Markov seja uma abordagem frequentemente utilizada em pesquisa aplicada na otimização econômica de manutenção e substituição de maquinários, nem sempre sua viabilidade é garantida. Isso pode ocorrer por falta de aderência às premissas do modelo teórico ou por algum tipo de limitação dos dados disponíveis para a pesquisa.

Nessas circunstâncias a estatística, a econometria, a engenharia elétrica, a engenharia de automação e os estudos de mercados financeiros oferecem diversas alternativas relacionadas à estimação de séries de tempo envolvendo uma – ou mais – variáveis de interesse na forma de modelos paramétricos.

Existe, de fato, um leque bastante amplo de modelos quantitativos disponíveis para a representação de séries de tempo (trajetórias) nas várias áreas em que tais modelos são demandados. A escolha de um modelo para emprego em pesquisa aplicada depende sobretudo do tipo de problema que se quer tentar resolver e do tipo de dados disponíveis para a elaboração – probabilística ou possibilística – de tendências e prognósticos.

O elenco de modelos quantitativos que vem sendo usados em estudos aplicados de manutenção de maquinários pode ser encontrado nas revisões de Jardine, Lin e Banjevis (2006) e Lee et al. (2014). Ambos autores consideram que os modelos mais comumente empregados em análises unidimensionais de deterioração da produtividade (ou algum outro sinal, como vibração do maquinário) se valem da modelagem de trajetórias por médias móveis da variável de interesse ou por ajustes de tendência delas obtidas por



análise de regressão.

A modelagem de tendências por análise de regressão pode se valer de modelos lineares, polinomiais e exponenciais, entre outros. Conforme o caso e a disponibilidade de informações, também podem ser empregadas abordagens estatísticas derivadas da abordagem de Médias Móveis Autorregressivas (ARMA) ou não paramétricos (como Redes Neurais e Algoritmos Genéticos).

Por outro lado, tanto Jardine, Lin e Banjevis (2006) quanto Lee et al. (2014) destacam o uso crescente de informações emitidas on-line por sensores colocados em componentes que realizam trabalhos mais intensos para prever desgastes e probabilidades de falhas futuras.

Também destacam a busca de métodos que permitam uma otimização simultânea de paradas de manutenção em componentes distintos que apresentam taxas de desgaste diferenciadas e importância desigual para o funcionamento de algum maquinário (ou maquinários) na sua integralidade. Ambos os autores realçam a importância destas considerações para o desenho de projetos de novos maquinários.

A otimização envolvendo séries de tempo estocásticas frequentemente foca na maximização ou minimização de um valor esperado de uma variável aleatória com a consideração eventual da variância (ou coeficiente de variação) delas como uma medida de risco (ZHENG; WANG; LIU, 2014).

Todavia, pode ser de interesse a obtenção da distribuição de probabilidades completa de uma ou mais variáveis de resposta num determinado horizonte de tempo conforme decisões alternativas que afetam sua trajetória. Nestas circunstâncias – e quando o sistema em estudo é muito complexo – vários autores referenciam o uso de simulação do comportamento do sistema em computadores



(GAVIRA, 2003; PRICE; HARREL, 2002).

Um exemplo é a utilização de modelos de simulação por eventos discretos; assim chamados quando o sistema depende de variáveis que assumem valores discretos, em um domínio de valores finitos (BARTON, 2001). Na simulação por eventos discretos, a operação do sistema é representada como uma sequência cronológica dos eventos, na qual cada evento ocorre em instantes de tempo que marca a mudança de estado do sistema.

A simulação de eventos discretos pode ser realizada com o auxílio de ferramentas de simulação computacional, que permitem que modelos sejam criados para avaliações do impacto de decisões alternativas sem a necessidade de ariscar desperdícios com testes físicos no sistema real sob estudo.

Quando se estabelece um modelo computacional, que será utilizado na simulação, é preciso verificar suas limitações quanto à aplicabilidade (GAVIRA, 2003). Um modelo nunca retrata exatamente a realidade. Uma vez que sempre haverá simplificação quando da sua utilização; é fundamental produzir um modelo que inclua os aspectos mais relevantes para a obtenção de resultados mais adequados.

Conforme Harrel et al. (2002), a simulação Monte Carlo é uma técnica para estimar a distribuição de probabilidade dos resultados – físicos e econômicos – de um processo, a partir de valores selecionados randomicamente das variáveis de entrada. A simulação de Monte Carlo é basicamente um experimento amostral cuja proposta é estimar a distribuição de uma – ou mais – variáveis de saída que, por seu turno, dependem de variáveis probabilísticas de entrada (GROOHIUS; MERODE; HASMAN, 2001; HOLLCKS, 2006; RUBINSTEIN; KROESE, 2017).



ANÁLISE E SEGUIMENTOS OBTIDOS

3

Serão apresentados, neste capítulo, os dados coletados e resultados obtidos com a utilização dos modelos matemáticos estatísticos propostos na metodologia. Primeiramente serão apresentadas as sínteses dos dados coletados; depois a estimação da cadeia de Markov para a matriz da trajetória das ocorrências das eficiências do filatório Open End. Como se verá, os resultados com a abordagem markoviana se mostram insatisfeitos.

Assim, a representação da trajetória de eficiência do maquinário estudado passou a ser tratada com a abordagem de estimação de linhas de tendência por análise de regressão. A otimização dos benefícios líquidos da manutenção foi, então, executada por comparação de resultados associados a alternativas de momentos de parada com apoio de simulação de Monte Carlo.

Os dados foram fornecidos mensalmente, pela empresa onde foi realizada a pesquisa; coletados diariamente



por turno de produção, baseado no relatório que o próprio maquinário fornece. A empresa trabalha em regime de 7x24 (7dias/24horas) com regime de três turnos diários.

Nas planilhas de dados, a cada final de turno, são coletadas as seguintes informações: data e turno, produção em kg de fio e sua respectiva eficiência em relação à produção nominal máxima de 100% que o filatório teoricamente teria condições de produzir no turno.

Ao longo do tempo de coleta de dados para a pesquisa, que foi de julho de 2015 até julho de 2018, foram realizadas 3.338 observações de variação da eficiência de turno de produção para o seguinte. Também foram registradas eventuais anormalidades que possam ter causado uma diminuição da produção do turno ou dia de produção.

No Apêndice A, são apresentados os dados referentes ao mês de julho de 2015, como exemplo. Conforme é possível observar, além de os dados de produção e eficiência por turno, também é apontada a produção total diária, a média da eficiência do dia, o calendário do mês, com destaque para os sábados e domingos, além de registro de ocorrências que possam justificar a diminuição da eficiência (falha eletrônica, quebra do robô de emenda e troca de cones, limpezas específicas, etc.).

Ao longo do tempo analisado, foram realizadas cinco paradas do maquinário para manutenção, o que originou a formação de cinco séries de intervalos entre essas manutenções. Essas manutenções, conforme mostrado no capítulo anterior (Quadro 3), possuem procedimentos específicos e, portanto, diferentes custos entre si. O Quadro 5, apresenta esses custos por tipo de manutenção (conforme informações da empresa estudada).



Quadro 5 - Custos das manutenções periódicas

Tipo de manutenção ¹	Custos
A	R\$ 400,00
B	R\$ 5.600,00
C	R\$ 8.000,00
D	R\$ 75.000,00
E	R\$ 35.000,00

Fonte: Informações da empresa para o autor (2018)

Nota: (1) ver Quadro 1.

As cinco séries temporais de eficiência observadas eram subsequentes às distintas paradas para manutenção, conforme apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 - Séries temporais de observações coletadas

Série	Período das séries	Dias	Semanas	Tipo de manutenção que precede a série
1	Jul./13 até Dez./13	175	25	B
2	Jan./14 até Ago./14	223	32	A
3	Ago./14 até Jul./15	306	44	C
4	Jul./15 até Dez./15	183	27	A
5	Jan./16 até Jul./16	192	27	D

Fonte: O autor (2018)

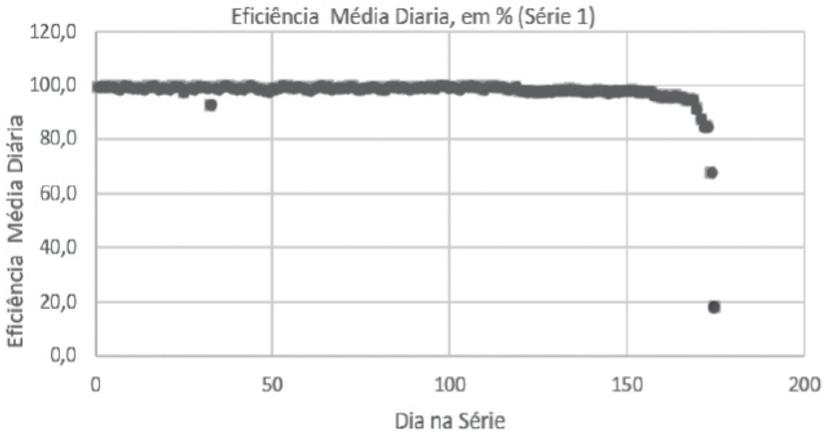
As paradas para manutenção, apresentadas no Quadro 6 foram realizadas pela empresa baseada na decisão de não permitir que o maquinário trabalhe vários turnos consecutivos com uma eficiência abaixo de 95%, sem sustentar resposta a ações de correção de pequenos problemas técnicos que não demandam paradas.

Essas séries foram analisadas separadamente, levando-se em consideração o início da retomada da produção, logo após o término da manutenção realizada, até o término



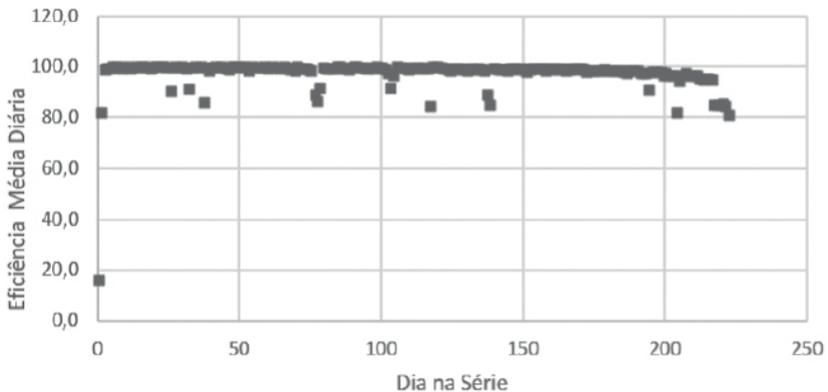
da produção, quando do início da próxima manutenção. A representação das séries temporais disponíveis é apresentada nos gráficos de dispersão – Gráficos 9 a 13 – no qual a eficiência média diária é apresentada para cada dia de produção das séries coletadas.

Gráfico 9 – Eficiência da série 1



Fonte: O autor (2018)

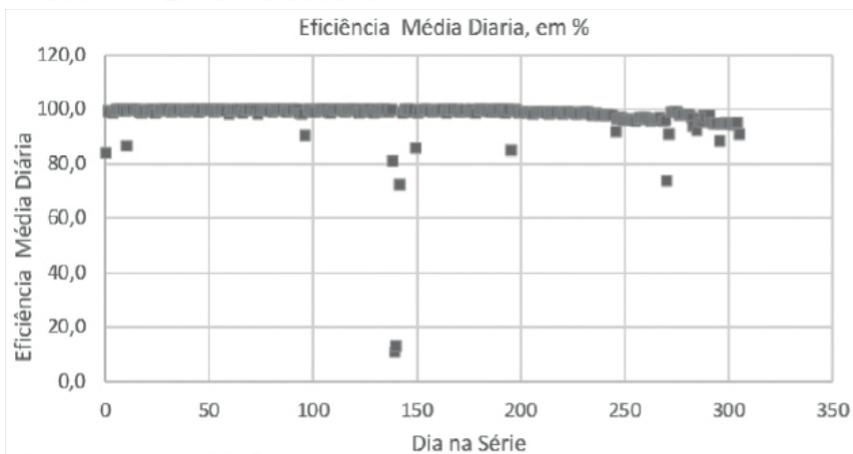
Gráfico 10 - Eficiência da série 2



Fonte: O autor (2018)

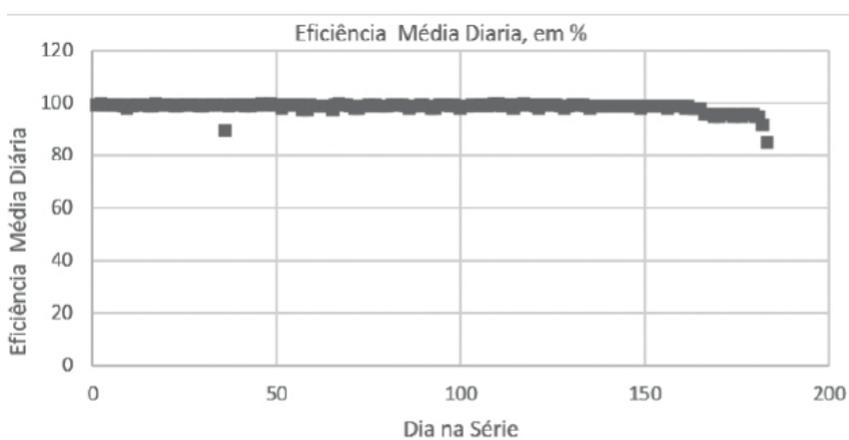


Gráfico 11 - Eficiência da série 3



Fonte: O autor (2018)

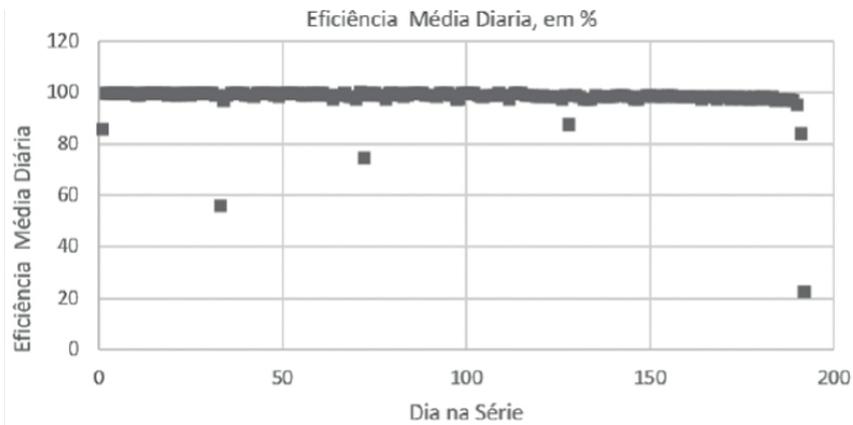
Gráfico 12 - Eficiência da série 4



Fonte: O autor (2018)



Gráfico 13 - Eficiência da série 5



Fonte: O autor (2018)

Ao término de cada série temporal observa-se um decréscimo da eficiência. Logo após a constatação da diminuição de eficiência no maquinário, ocorre a tomada de decisão por parte da empresa, de parar e efetuar uma manutenção, dentre os cinco tipos que são sugeridas pelo fabricante do filatório Open End.

Observam-se também que as linhas de tendência apresentam inclinações negativas, embora muito pouco acentuadas. Em alguns casos a dispersão em torno das linhas de tendência é bastante reduzida, enquanto em outra (séries 2 e 3) é mais evidente. Essa variação pode ser atribuída às características distintas da matéria-prima em processamento.

Por outro lado, para 100% de eficiência no maquinário, a produção diária corresponde a 2.127 kg de fio. O preço médio de venda do serviço de facção de fio, informado pela empresa é baseado nos serviços prestados nos últimos quatro anos, foi estimado em R\$ 4,48/kg de fio produzido. Como a empresa para o maquinário, quando a eficiência



cai para 95%, a eficiência média da operação, para efeito de cálculo da receita bruta, será de 97,5%. Assim, a receita bruta diária (referência média) é dada por:

$$\text{Receita bruta diária} = \text{Preço do fio} \times \text{Prod. Máx. diária} \times \text{Eficiência}$$

$$\text{Receita bruta diária} = 4,48 \times 2.127 \times 0,975$$

$$\text{Receita bruta diária} = \text{R\$ } 9.291,00$$

As despesas de manutenção, por outro lado, são variáveis de acordo com o seu tipo (ver Quadro 4). Com a análise econômica será feita em termos de margem econômica média por unidade de tempo, trabalhar-se-á com uma média dos custos das distintas manutenções em um período de cinco anos, ajustados para representar um período indefinidamente mais longo. O Quadro 7 apresenta o cálculo do custo médio por manutenção adotando-se um período de cinco anos com o número de manutenções ajustado para um período indefinidamente longo.

Quadro 7 - Custos das manutenções em cinco anos (ajustado para longo prazo)

Manutenção	Ocorrências	Custo para 5 anos
A	10,0 vezes	R\$ 4.000,00
B	2,2 vezes	R\$ 12.320,00
C	1,4 vezes	R\$ 11.200,00
D	1,2 vezes	R\$ 90.000,00
E	1,0 vez	R\$ 35.000,00
	Σ	R\$ 152.520,00

Fonte: O autor (2018)

Essa quantidade de ocorrências de cada um dos tipos de manutenção levou em consideração apenas o que pode ser realizado dentro do período de cinco, sem que todas começassem necessariamente ao mesmo tempo. Estimando que a empresa, durante esse período de cinco



anos fará uma parada por semestre, isso irá originar ao todo 10 paradas para manutenções. Para esse período, com a representação de média de um indefinidamente longo prazo, o custo médio por manutenção se situa em aproximadamente R\$ 15.252,00.

A empresa preferiu não informar os valores de seus custos, mas estimou que obtinha um retorno financeiro líquido da ordem de 15 a 20% sobre sua receita bruta. Adotando-se então uma média de 17,5% de retorno, as despesas se situam, em média, na faixa de 82,5% da receita bruta:

$$\text{Despesa operacional diária} = \text{R\$ } 9.291 \times 0,825$$

$$\text{Despesa operacional diária} = \text{R\$ } 7.665,00$$

Essa despesa tem seus componentes estruturais demonstrados no Quadro 8. Observa-se que a energia elétrica é o principal item de custos, perfazendo cerca de metade do total, seguida pelos impostos e mão de obra. A energia com o único item de custos que é diminuído durante uma parada para manutenção da máquina estudada. Todavia a empresa tem outras máquinas que não param simultaneamente, bem como outras atividades administrativas que consomem energia (além das próprias atividades de manutenção). Assim, decidiu-se não incorporar alguma economia de energia pela parada para manutenção no cálculo da otimização de margens financeiras líquidas.



Quadro 8 - Estrutura de custos

Itens de custo	%
Mão de obra	12,23
Serviços terceirizados	1,78
Materiais e insumos	5,35
Manutenção (serviços e peças de reposição)	5,71
Energia elétrica	50,93
Impostos	12,86
Depreciação	9,90
Outros	1,85
Total	100

Fonte: Informações da empresa para o autor (2018)

No cálculo econômico posterior será admitido que a despesa operacional diária tem um valor médio fixo de R\$ 7.665,00 o qual é acrescido das despesas de manutenção (nas vezes que ocorrem). Deve ser observado que, admitindo-se duas manutenções anuais, a despesa direta média anual com manutenções alcança ($2 \times 15.252,00 =$) R\$ 30.504,00. Como essas duas paradas implicam um equivalente a seis dias de parada da máquina, há ainda uma perda de receita correspondente a R\$ 55.746,00 ($= 6 \times 9.291,00$) com as manutenções. Embora o cálculo de margens financeiras líquidas não explicita a perda de receita como despesa (e sim como receita nula), sob a ótica de custos de oportunidade, estima-se um custo médio total de R\$ 86.250,00 com duas manutenções anuais.

3.1 PROJEÇÃO DA TRAJETÓRIA DA EFICIÊNCIA COM UMA CADEIA DE MARKOV

Cada resultado de eficiência de um único turno de trabalho é considerado como um dado estatístico a ser considerado na pesquisa. Para demonstrar a trajetória da evolução da



eficiência de um turno t para o próximo turno $t+1$, foram criadas faixas de eficiência que determinarão a trajetória desta, de uma classe para a outra. Ao analisar as ocorrências dessas evoluções das eficiências de um turno para o próximo, foram criadas classes de variações de eficiência, conforme apresentado no Quadro 9.

Quadro 9 - Classes de eficiência

Eficiência		Classes
de	até	
00,00%	89,00%	1
89,01%	95,00%	2
95,01%	96,00%	3
96,01%	97,00%	4
97,01%	97,50%	5
97,51%	98,00%	6
98,01%	98,50%	7
98,51%	99,00%	8
99,01%	99,50%	9
99,51%	100,00%	10

Fonte: O autor (2018)

Nota-se que a classes de variação de eficiências do maquinário abrangem diferentes amplitudes; foram agrupadas as variações de zero até 89% e de 89,01% até 95,00%. A partir da eficiência de 95,01% as classes foram divididas a cada 1% de variação; depois 97,00% em diante essas variações foram a cada 0,5%. Visou-se, com isso obter, uma densidade mais equilibrada no número de entradas observadas em cada possibilidade de transição entre classes de um turno para o turno seguinte.

O resultado da contagem de transições entre as classes acima definidas é apresentado no Quadro 10. Constata-se uma grande concentração de observações nas quatro classes de eficiência mais alta (Classes 7 a 10; 97% e



acima), seguida de uma queda considerável de observações nas quatro classes seguintes (Classes 3 a 6; abrangendo 95% a 97% de eficiência) e, por fim, o restante das observações – apenas 8,5% do total de transições – atribuídas a apenas duas classes que abarcam toda a amplitude de eficiências abaixo de 95%. Essa situação decorre da regra de decisão de parada para manutenção adotada na empresa.

Quadro 10 - Contagem de ocorrências de transição de eficiência

de ↓ para →	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Σ
10	190	248	37	39	1	1	9	0	0	5	530
9	234	349	106	37	5	1	13	1	1	3	750
8	34	80	272	189	20	6	0	0	0	5	606
7	55	46	148	188	42	13	4	2	1	2	501
6	4	8	21	21	114	54	2	0	1	2	227
5	1	4	11	18	39	94	17	2	3	2	191
4	10	13	6	3	5	13	79	14	2	5	150
3	0	0	0	1	0	2	12	71	11	1	98
2	2	0	0	4	1	4	4	6	69	8	98
1	0	2	5	1	0	3	10	2	10	154	187
										Σ	3.338

Fonte: O autor (2019)

Em destaque no Quadro 10 (negrito) estão as ocorrências em que não ocorrem alterações de estado (faixa de eficiência) entre um determinado turno e o próximo. Como exemplo, quando o maquinário estava no estado 10, em 190 ocasiões este permaneceu nesse mesmo estado, ou seja, a eficiência se manteve na classe, sem alterações. Já quando este estava no estado 5, ocorreram 24 ocasiões em que a eficiência do turno caiu no turno seguinte para um estado com eficiência menor que a do estado 5 (estado 4 a 1).



Porém, partindo do mesmo estado 5, em 73 vezes ocorreu aumento de classe de eficiência no turno seguinte. Essa observação mostra um funcionamento inesperado, isto é, o do sistema aparentemente ter uma tendência a melhorar sua eficiência 'automaticamente' nesse estado 5 (correspondente a uma eficiência média de 97,25%).

Na verdade, essa observação é válida também para a maioria dos estados (o estado 8 parece ser a exceção), obscurecendo um comportamento esperado para contagem de transições com perda de eficiência excederem aquelas associadas com ganhos de eficiência.

As justificativas para os casos de decréscimo da eficiência podem ser da sujidade nos componentes da máquina, acumulada durante o período de funcionamento; os desgastes das peças do maquinário, perdas de regulagem ou falhas de funcionamento nas automações de emendas e trocas de cones cheios por cones vazios.

Já as causas para o aumento de eficiência de um turno para o próximo, podem ser atribuídas à diminuição de interferências nas automações de emendas e troca de cones cheios por cones vazios, o fato da eficiência no turno anterior estar muito próximo do limite superior à faixa de variação de eficiência ou solução das falhas mencionadas no caso anterior.

De qualquer modo, a contagem de ocorrências permite estimar a matriz de probabilidade de transição do sistema estudado (sob a regra de parada nele adotada). Essa matriz é apresentada no Quadro 11.



Quadro 11 - Matriz de probabilidades de transição entre classes de eficiência

para→ de↓	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
10	0,358	0,468	0,070	0,074	0,002	0,002	0,017	0,000	0,000	0,009
9	0,312	0,465	0,141	0,049	0,007	0,001	0,017	0,001	0,001	0,004
8	0,056	0,132	0,449	0,312	0,033	0,010	0,000	0,000	0,000	0,008
7	0,110	0,092	0,295	0,375	0,084	0,026	0,008	0,004	0,002	0,004
6	0,018	0,035	0,093	0,093	0,502	0,238	0,009	0,000	0,004	0,009
5	0,005	0,021	0,058	0,094	0,204	0,492	0,089	0,010	0,016	0,010
4	0,067	0,087	0,040	0,020	0,033	0,087	0,527	0,093	0,013	0,033
3	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,020	0,122	0,724	0,112	0,010
2	0,020	0,000	0,000	0,041	0,010	0,041	0,041	0,061	0,704	0,082
1	0,000	0,011	0,027	0,005	0,000	0,016	0,053	0,011	0,053	0,824

Fonte: O autor (2019)

No Quadro 11 se destacam, além das observações anteriores, também as elevadas probabilidades de permanecer no mesmo estado que se observam nos estados 1, 2 e 3, justamente aqueles que compreendem faixas de eficiência de 95 a 96% (estado 3) e outras duas com eficiência bem inferior.

Isso, por certo, reflete a regra de decisão adotada na empresa de realizar uma parada de manutenção quando o maquinário ‘patina’ em eficiência próxima a 95%. O Quadro 12 sintetiza as probabilidades de aumento, manutenção e diminuição de eficiência após uma transição a partir de cada estado possível.



Quadro 12 – Probabilidades de variação na eficiência do maquinário após uma transição a partir de cada estado inicial possível

Estado Inicial	Eficiência (após transição)		
	Cresce	Mantém	Cai
10	0,00	0,36	0,64
9	0,31	0,47	0,22
8	0,19	0,45	0,36
7	0,50	0,38	0,13
6	0,24	0,50	0,26
5	0,38	0,49	0,13
4	0,33	0,53	0,14
3	0,15	0,72	0,12
2	0,21	0,70	0,08
1	0,18	0,82	0,00

Fonte: O autor (2018)

O Quadro 12 mostra a predominância probabilística do maquinário se manter em classes de alta eficiência (4 a 10), exceto quando se entra ou cai abaixo da classe 3 (nestes casos há forte tendência de permanecer no mesmo estado em que se encontra). Não parece também existir alguma tendência ('regra de formação') no comportamento das probabilidades conforme a eficiência do maquinário decresce, dificultando projetar (ou prever) valores não observados a partir dos observados.

Em outras palavras, a concentração de observações em uma área restrita de alta eficiência dificulta visualizar o que ocorreria com o sistema, caso fosse possível deixar o maquinário seguir livremente adiante em sua trajetória, rumo ao estado 1, sem que a empresa determine sua parada para manutenção; com essa realidade de parar para manutenção,



ao se chegar a um patamar de eficiência, que a empresa julga importante para o negócio, se estabelece uma limitação de dados para extrapolações relativas a estados com menor valor de eficiência.

Essa limitação – poucas observações fora dos estados de eficiência mais alta – não é contornável pela redefinição da amplitude das classes ou por alteração no período das transições (eficiência média diária – ou semanal – em vez de média por turno).

Ainda assim, a matriz de probabilidades de transição do sistema é ergódica e probabilidades estacionárias de cada estado podem ser computadas pela sua exponenciação. A matriz se estabilizou na 64^a potência, demonstrado no Apêndice B, ficando com todas as linhas aproximadamente iguais. No Quadro 13, está apresentado essa matriz estacionária.

Quadro 13 – Matriz estacionária $P^{(64)}$

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
0,159	0,225	0,182	0,15	0,068	0,057	0,045	0,029	0,029	0,056
0,159	0,225	0,182	0,15	0,068	0,057	0,045	0,029	0,029	0,056
0,159	0,225	0,182	0,15	0,068	0,057	0,045	0,029	0,029	0,056
0,159	0,225	0,182	0,15	0,068	0,057	0,045	0,029	0,029	0,056
0,159	0,225	0,182	0,15	0,068	0,057	0,045	0,029	0,029	0,056
0,159	0,225	0,182	0,15	0,068	0,057	0,045	0,029	0,029	0,056
0,159	0,225	0,182	0,15	0,068	0,057	0,045	0,029	0,029	0,056
0,159	0,225	0,182	0,15	0,068	0,057	0,045	0,029	0,029	0,056
0,159	0,225	0,182	0,15	0,068	0,057	0,045	0,029	0,029	0,056
0,159	0,225	0,182	0,15	0,068	0,057	0,045	0,029	0,029	0,056

Fonte: O autor (2018)



Conforme é possível observar, todas as linhas dessa matriz de transição são iguais, o que significa que o processo se torna independente do estado inicial. Os valores idênticos nas colunas significam a probabilidade de o maquinário ser encontrado naquele estado em algum momento do longo prazo.

É possível calcular a eficiência média esperada do sistema, fazendo a somatória dos produtos, entre as probabilidades estacionárias dos estados pelos pontos médios das respectivas faixas de eficiência. Isso é demonstrado no Quadro 14.

Quadro 14 - Percentuais de permanências nas faixas de eficiência x eficiência média das faixas

Estado	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Probabilidade Estacionária %	15,9	22,5	18,2	15	6,8	5,7	4,5	2,9	2,9	5,6
Eficiência Média	99,75	99,25	98,75	98,25	97,75	97,25	96,5	95,5	92,0	44,5

Fonte: O autor (2018)

A eficiência média esperada do maquinário, sob as condições em que está funcionando atualmente, resulta em 95,36% (incluindo paradas de manutenção e paradas rápidas – intraturno – por causas diversas). Por outro lado, dadas as dificuldades apontadas em projetar a matriz de transições de forma a cobrir um leque maior de estados de uma maneira consistente, não é possível analisar uma otimização das paradas de manutenção utilizando a abordagem markoviana.

Em face tais resultados, optou-se por estimar as tendências da eficiência do maquinário por análise de regressão. Os resultados obtidos são discutidos a seguir.



3.2 ESTIMATIVA DA TENDÊNCIA DA EFICIÊNCIA POR ANÁLISE DE REGRESSÃO

Inicialmente os dados coletados ao longo do período de pesquisa foram convertidos para médias semanais para reduzir a variância dos resíduos e eliminar eventuais autocorrelação entre turnos – ou mesmos dias – consecutivos. A análise por equações de regressão, que fazem uma simulação do comportamento determinístico (linha de tendência média), foi realizada para cada série, entre uma parada para manutenção e a outra (conforme apresentado no Quadro 6).

As análises de regressão, feitas com apoio do MS-Excel, apresentaram os seguintes resultados para as cinco séries de eficiência semanais médias disponíveis, conforme são apresentados nos Quadros 15 a 19. As estimativas das intersecções, que representam o valor da eficiência no início de cada série, flutuam em valores muito próximos de 100 (%) como era de se esperar. Observa-se também em todos os casos (exceto série 5) que o coeficiente de regressão da tendência (variável X_1) se mostra negativo e muito significativo (valores de t superiores a 2,5), embora os coeficientes de correlação (R) e determinação (R^2) não sejam elevados.

Esses valores representam estimativas da perda semanal de eficiência em pontos percentuais por semana decorrida desde o início de cada série. O comportamento desses coeficientes de perda semanal de eficiência entre as séries mostra um aumento (negativo) da série 1 para a série 2 e depois uma redução da série 2 para a série 3. Todavia o coeficiente de perda de eficiência volta a crescer da série 3 para série 4, subindo para próximo de zero na série 5.



Quadro 15 - Análise de regressão de série 1

<i>Estatística de regressão</i>				
R múltiplo	0,596			
R-Quadrado	0,355			
R-quadrado ajustado	0,327			
Erro padrão	1,480			
Observações	25			
<hr/>				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	99,34	0,610	162,772	1,01E-36
Variável X1	-0,146	0,041	-3,56	0,001665

Fonte: O autor (2018)

Quadro 16 - Análise de regressão de série 2

<i>Estatística de regressão</i>				
R múltiplo	0,561			
R-Quadrado	0,315			
R-quadrado ajustado	0,292			
Erro padrão	2,267			
Observações	32			
<hr/>				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	99,63	0,822	121,175	6,33E-42
Variável X1	-0,162	0,044	-3,71	0,000838

Fonte: O autor (2018)



Quadro 17 - Análise de regressão de série 3

<i>Estatística de regressão</i>				
R múltiplo	0,740			
R-Quadrado	0,548			
R-quadrado ajustado	0,537			
Erro padrão	1,280			
Observações	44			
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	100,07	0,393	254,898	1,27E-68
Variável X1	-0,108	0,015	-7,13	9,43E-09

Fonte: O autor (2018)

Quadro 18 - Análise de regressão de série 4

<i>Estatística de regressão</i>				
R múltiplo	0,471			
R-Quadrado	0,222			
R-quadrado ajustado	0,191			
Erro padrão	3,274			
Observações	27			
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	100,43	1,296	77,489	2,63E-31
Variável X1	-0,216	0,081	-2,6714	0,013096

Fonte: O autor (2018)



Quadro 19 - Análise de regressão de série 5

<i>Estatística de regressão</i>				
R múltiplo	0,087			
R-Quadrado	0,008			
R-quadrado ajustado	-0,032			
Erro padrão	1,577			
Observações	27			
<hr/>				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	98,02	0,624	156,9967	5,89E-39
Variável X1	-0,017	0,039	-0,4386	0,664683

Fonte: O autor (2018)

O comportamento dos coeficientes de regressão é consistente com o tipo de manutenção que precede cada série (conforme Quadros 5 e 6), notando-se que a melhoria na taxa de perda de eficiência ocorre após manutenções que envolvem despesas mais elevadas. Isso permite uma inferência preliminar, por regressão das próprias estimativas dos coeficientes de perda contra o tempo cronológico sequencial de uso do equipamento, quanto aos valores desses coeficientes em períodos anteriores aos correspondentes às séries coletadas. O comportamento para um período de simulação Monte Carlo de cinco anos consecutivos requer tais estimativas.

A estimativa do comportamento das séries temporais ao logo do horizonte de cinco anos é representada no Quadro 20.



Quadro 20 - Estimação das séries para horizonte de cinco anos

Sequência	Ano	Const.	Coef. sem	
1	0	98,02	-0,017	Coef. Observado
2	0,5	98,99 ²	-0,095 ²	Coef. Estimado
3	1	99,21 ²	-0,109 ²	Coef. Estimado
4	1,5	99,42 ²	-0,123 ²	Coef. Estimado
5	2	99,34	-0,146	Coef. Observado
6	2,5	99,63	-0,162	Coef. Observado
7	3	100,07	-0,109	Coef. Observado
8	3,5	100,43	-0,216	Coef. Observado
9	4	98,02	-0,017	Coef. Observado
10	4,5	98,99 ²	-0,095 ²	Coef. Estimado
11	5	99,21 ²	-0,109 ²	Coef. Estimado

Fonte: O autor (2018)

Após essas estimativas para um horizonte de cinco anos, foram feitas simulações para situações de séries temporais variando o período de semanas dessas, para estimar qual o melhor período economicamente, para a parada e realização da manutenção. Para essas simulações foi utilizado o modelo matemático estatístico de Monte Carlo.

3.3 ANÁLISE ECONÔMICA POR MONTE CARLO

Uma análise gráfica preliminar dos gráficos de dispersão (de 9 a 13) das eficiências percentuais vs semanas de operação desde a última manutenção (valores observados vs valores previstos), mostrou que os erros de ajuste tendiam a desvios negativos com maior frequência após a 23^a semana. Assim, separaram-se os erros de ajuste das regressões em dois grupos: erros observados até a 23^a semana (inclusive) e erros observados da 24^a semana em



diante (inclusive). Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 21.

Quadro 21 - Erros observados nos gráficos de dispersão

Classe	LI	LS	Eficiência	FR A	FR B
1	-16	-8	-12	0%	5%
2	-8	-4	-6	0%	3%
3	-4	3	-3,5	2%	3%
4	-3	-2	-2,5	4%	4%
5	-2	-1	-1,5	5%	5%
6	-1	1	0	61%	45%
7	1	2	1,5	22%	30%
8	2	3	2,5	6%	5%
Total				100%	100%

Fonte: O autor (2018)

Onde:

LI: limite inferior da classe;

LS: limite superior da classe;

Eficiência (%) corresponde ao ponto central do intervalo da classe;

FR A: frequência relativa da classe (grupo de observações até a 23^a semana (inclusive));

FR B: frequência relativa da classe (grupo de observações associadas da 24^a semana em diante).

Nota-se que, de fato, após a 23^a semana de operação, a frequência (probabilidade) de desvios negativos (correspondentes às quedas de eficiência na produção semanal estimada pela equação de regressão) tende a ser maior. Todavia a probabilidade de pequenos desvios positivos também aumenta, gerando, portanto, uma previsão (acrescida de erro) mais dispersa (heterocedástica), ou seja, com frequência de padrão irregular.



No estudo de simulação do cálculo econômico semanal para comparar os ganhos de prazos distintos entre si, o tratamento dos erros nas equações de previsão foi realizado a partir das distribuições de frequência apresentadas no Quadro 21, que foi construído para simular o comportamento estocástico da variável de resposta (margem financeira líquida semanal), a serem simuladas no modelo de Monte Carlo.

Para as simulações de situações de séries temporais foram definidos três períodos de varrições semanais; 22, 26 e 30 semanas para proposta da série entre uma parada para manutenção e outra. Levando-se em consideração os resultados observados das análises de regressão, para as onze sequências no horizonte de cinco anos, foram realizados simulações com Monte Carlo, levando-se em consideração a série, o coeficiente de interseção da eficiência e a variável X_1 (ano), conforme é apresentado no Quadro 22.

Quadro 22 - Dados para simulação com o modelo de Monte Carlo

Semana	Seq. 1	Seq. 2	Seq. 3	Seq. 4	Seq. 5	Seq. 6	Seq. 7	Seq. 8	Seq. 9	Seq. 10	Seq. 11
Interseção	98,020	98,987	99,206	99,425	99,340	99,630	100,070	100,430	98,020	98,987	99,206
X_1	-0,017	-0,095	-0,109	-0,123	-0,146	-0,162	-0,109	-0,216	-0,017	-0,095	-0,109

Fonte: O autor (2018)

Nos Apêndices C, D e E, estão as simulações de Monte Carlo, para as séries como variações semanais de 22, 26 e 30 semanas respectivamente. A variação de quatro semanas antes e quatro semanas depois da parada regular, realizada na vigésima sexta semana de funcionamento após a última manutenção, serviu inicialmente como parâmetro para observar os resultados destes três comportamentos decisórios.

Após a montagem do modelo, para cada estimativa de



variação de semanas, foram feitos 10 experimentos, rodando o modelo e apurando a média da margem financeira líquida semanal (e seu desvio-padrão) por repetição experimental, que podem ser observadas no Quadro 23.

Quadro 23 - Síntese dos resultados financeiros com o modelo de Monte Carlo (1)

Repetição	22 semanas	26 semanas	30 semanas
	MC2	MC1	MC3
1	R\$ 11.126	R\$ 11.269	R\$ 11.862
2	R\$ 11.111	R\$ 11.224	R\$ 11.890
3	R\$ 11.105	R\$ 11.325	R\$ 11.855
4	R\$ 11.087	R\$ 11.389	R\$ 11.899
5	R\$ 11.101	R\$ 11.311	R\$ 11.899
6	R\$ 11.052	R\$ 11.256	R\$ 11.902
7	R\$ 11.089	R\$ 11.245	R\$ 11.902
8	R\$ 11.049	R\$ 11.261	R\$ 12.061
9	R\$ 11.079	R\$ 11.285	R\$ 12.023
10	R\$ 11.121	R\$ 11.281	R\$ 11.864
Média	R\$11.092,84	R\$ 11.284,49	R\$ 11.882,57
DP	43,29	47,09	65,92
CV	0,24%	0,42%	0,55%
Resultado	98,3%	100%	105,3%

Fonte: O autor (2018)



Conforme é possível observar no Quadro 23, existe uma vantagem em prorrogar a parada da máquina para a manutenção, além das 26 semanas; pois, pela análise econômica calculada, o resultado ficará 5,3% maior se a parada fosse realizada na vigésima sexta semana, conforme a empresa vem realizando. Ao observar a variabilidade dos resultados, foi constatado que os desvios-padrões e coeficientes de variação foram muito pequenos, o que sinaliza foram suficientes, dez experimentos para as análises.

Para aprimorar a análise decisória serão realizadas simulações de Monte Carlo, para as séries como variações semanais de 20, 24, 28 e 32 semanas respectivamente, visando ampliar o horizonte de possibilidades de tomadas de decisão. Essas simulações estão no Quadro 24.

Quadro 24 - Síntese dos resultados financeiros com o modelo de Monte Carlo (2)

Repetição	20 semanas	24 semanas	28 semanas	32 semanas
	MC7	MC5	MC4	MC6
1	R\$ 11.012	R\$ 11.205	R\$ 12.080	R\$ 9.584
2	R\$ 11.032	R\$ 11.106	R\$ 11.900	R\$ 9.644
3	R\$ 11.012	R\$ 11.209	R\$ 11.953	R\$ 9.571
4	R\$ 10.992	R\$ 11.183	R\$ 11.996	R\$ 9.617
5	R\$ 10.891	R\$ 11.201	R\$ 11.979	R\$ 9.634
6	R\$ 11.021	R\$ 11.178	R\$ 11.993	R\$ 9.663
7	R\$ 11.012	R\$ 11.194	R\$ 11.999	R\$ 9.538
8	R\$ 11.026	R\$ 11.205	R\$ 11.916	R\$ 9.602
9	R\$ 10.982	R\$ 11.195	R\$ 11.991	R\$ 9.625
10	R\$ 10.872	R\$ 11.199	R\$ 11.968	R\$ 9.553
Média	R\$10.985	R\$11.188	R\$11.978	R\$9.603
DP	56,80	30,26	49,68	40,87
CV	0,52%	0,27%	0,41%	0,43%
Resultado	97,3%	99,1%	106,1%	85,1%

Fonte: O autor (2018)



Nesse Quadro 24, é possível observar que a melhor opção, quanto ao resultado econômico, na decisão de parada para a manutenção da máquina, será na vigésima oitava semana, pois, esse resultado será 6,1% maior se a parada fosse realizada na vigésima sexta semana. Fazendo um resumo comparativo entre as sete simulações de Monte Carlo, para paradas com 20, 22, 24, 26, 28, 30 e 32 semanas, será possível ter uma noção geral dos resultados econômicos, conforme será demonstrado no Quadro 25.

Quadro 25 – Resumo da síntese dos resultados financeiros com o modelo de Monte Carlo

Semanas	20	22	24	26	28	30	32
Resultado	97,3%	98,3%	99,1%	100%	106,1%	105,3%	85,1%

Fonte: O autor (2018)

Como resultado, após a trigésima semana de funcionamento da máquina, o resultado econômico com a tomada de decisão de pará-la para a realização da manutenção, tende a ter uma queda acentuada, já que a eficiência da máquina cai para valores menores que os 95% estimados como aceitáveis pela empresa, e levados em consideração nas simulações.

A melhor opção será tomar a decisão de parada da máquina da fiação, para a realização da manutenção, entre a vigésima oitava e trigésima semana, pois, o resultado econômico ficará na faixa de 5,3 e 6,1% maiores se a parada fosse realizada na vigésima sexta semana.



ANÁLISE E PONDERAÇÃO DO EXPERIMENTO PRODUZIDO

4

O objetivo desta pesquisa foi o de modelar a tomada de decisão de quando realizar uma manutenção preventiva em uma máquina de fiação de algodão no sistema Open End, instalado em uma empresa de prestação de serviços de fiação, de modo a otimizar a produtividade econômica média em longo prazo.

Como delimitação da pesquisa, foi escolhida uma máquina de modelo e fabricante específicos, as características da matéria-prima com a qual a empresa trabalha atualmente e o fato de não ser levados em consideração no estudo, os fatores climáticos como temperatura e umidade relativa do ar no local da realização dos ensaios.

A importância desse estudo vem ao encontro da necessidade da empresa em otimizar seu negócio, já que com mercados cada vez mais competitivos, torna-se necessário conforme Chen, Oliver e Zhang (2008) maximizar a eficiência econômica, na manufatura. Daí a importância



em aplicar novas ferramentas que auxiliem na tomada de decisão.

Após a coleta de dados (das variáveis eficiência da máquina e o tempo) e selecionados os modelos matemáticos estatísticos mais adequados, representou-se a estimativa da trajetória da produtividade em longo prazo.

Essa trajetória da produtividade levou ao resultado de programar a parada para manutenção com uma periodicidade de 28 a 30 semanas de funcionamento na máquina, para maximizar o retorno econômico líquido médio no longo prazo, já que o ganho estimado seria de 5,3 e 6,1% maiores se a parada fosse realizada na vigésima sexta semana, como é realizado atualmente pela empresa.

Vale ressaltar que, como a empresa atualmente define o parâmetro de parada para manutenção da máquina, quando essa chega e permanece na eficiência média diária de 95%, é preciso observar o comportamento da eficiência ao chegar no período proposto entre a vigésima oitava e trigésima semana de funcionamento. Pois, caso a eficiência caia rapidamente para valores inferiores aos 95% estimados como limite, é precisa antecipar a parada para realização da manutenção.

Para o mundo acadêmico, é mais uma comprovação que é possível auxiliar a indústria, visando o ganho econômico e a manutenção do negócio. Além de o fato de que a escolha de um ou outro modelo matemático estatístico pode não ser adequado para determinada situação, como foi o caso da Cadeia de Markov que, devido ao fato de alguns estados de menor eficiência tenderem a retornar a estados de maior eficiência, esse modelo não foi capaz de abranger uma quantidade maior de estados de forma adequada, tendo a necessidade de ter outras opções de modelos para se



chegar ao melhor resultado.

Não houve, a rigor, inadequação do modelo de Markov, e sim uma insuficiência de informação sobre o comportamento do sistema estudado em eficiências inferiores à regra atual de parada adotada pela empresa (95% de eficiência).

Devido a isso, a escolha da Análise de Regressão veio frente a necessidade de estimar as tendências da eficiência do maquinário ao longo do tempo, para depois estimar a distribuição de probabilidade dos resultados do processo, por meio de simulações de situações de séries temporais, pré-determinadas; para isso se utilizou do modelo de Monte Carlo, para projetar essa estimativa.

Outra tomada de decisão a ser empregada, é quanto ao planejamento de manutenção proposta; já que será possível prever a locação antecipada de recursos financeiros para sua realização, bem como o agendamento de equipamentos e pessoal para esse fim, além de organizar como os fornecedores, as peças necessárias para substituição do que for necessário.

Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões de trabalhos futuros, seriam:

a) a elaboração de estudos, utilizando a metodologia empregada nesse trabalho de pesquisa, para a previsão de substituição do equipamento, visando à otimização do retorno financeiro, a cada manutenção programada com a nova periodicidade;

b) a aplicação do modelo nas outras máquinas da empresa e verificar as novas periodicidades entre as manutenções programadas;



c) a utilização do estudo em equipamentos de diferentes fornecedores, com o intuito de comparar suas performances;

d) o emprego do modelo, levando-se em consideração a variação da matéria-prima e das condições climáticas (umidade relativa do ar e a temperatura ambiente) do local de trabalho do equipamento.



Referências

ABDULMALEK, F. A.; RAJGOPAL, J. **Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study**. Elsevier Journal Production Economics, v. 107, 2007.

AFEFY, I. H. **Implementation of Total Productive Maintenance and Overall Equipment Effectiveness Evaluation**. International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering, v. 13, n. 1, p. 69-75, 2014.

AHUJA, I. P. S.; KUMAR, P. A. **A case study of Total Productive Maintenance implementation at precision tube mills**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 15, n. 3, p.241–259, 2009.

AHUJA, I. P. S.; SINGH, P. **Application of analytical hierarchy process for justification of TPM implementation in manufacturing organizations**. International journal of technology, policy and management – IJTPM, Olney, Bucks, Inderscience Enterprises, v. 12, n. 1, p. 37-47, 2012.

ALCHIAN, A. **Economy Replacement Polity**. Rad Corporation, Santa Monica, California, 1958.

ALMEANAZEL, O. T. R. **Total productive maintenance review and overall equipment effectiveness measurement**. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, v. 4, n. 4, p. 517-522, 2010.



ALSYOUF, I. **The role of maintenance in company's competitiveness and profitability improvements.** Växjö University, Sweden, 2004.

ALVARENGA NETTO, C. Definindo gestão por processos: característica, vantagens, desvantagens. In: LAURINDO, F.; ROTONDARO, R. (Org.). **Gestão integrada de processos e da tecnologia de informação.** São Paulo: Atlas, 2006.

AMARI, S. V.; MCLAUGHLIN, L.; PHAM, H. **Cost-effective Condition-Based Maintenance using Markov Decision Processes.** Proceedings of the RAMS '06, Annual Reliability and Maintainability Symposium, p. 464-469, 2006.

ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. M. **Manual de engenharia têxtil.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 1987. v. 1.

ATTARAN, M. **Exploring the Relationship Between Information Technology and Business Process Reengineering.** Elsevier Information & Management, v. 41, n. 5, 2004.

AZIZI, A.; FATHI, K. **Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process.** Management Science Letters, v. 4, 2014.

BARTON, R. R. **Designing Simulation Experiments.** Winter Simulation Conference, Arlington, VA, USA, p. 47-52, 2001.

BARTZ, T. **Avaliação do desempenho organizacional através da implantação da manutenção produtiva total.** 2011. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) –



Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
BAYKAL, P. D.; BABAARSLAN, O.; EROL, R. **Prediction of strength and elongation properties of cotton/polyester-blended OE rotor yarns**. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, v. 14, n. 1, 2006.

BECKER, W.; DIETZ, J. **R&D Cooperation and innovation activities of firms - Evidence for the German manufacturing industry**. *Volkswirtschaftliche Diskussionsreihe*, Institut für Volkswirtschaftslehre der Universität Augsburg, n. 222, 2002.

BELINELLI, M. et al. A Manutenção Produtiva Total (TPM) como ferramenta para aumento de disponibilidade de máquina: estudo de caso em uma indústria do ramo Siderúrgico. In: **SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – SIMPEP, 16., 2009**, Botucatu, SP. Anais... Botucatu, SP, 2009.

BELLMAN, R. **Dynamic Programming**. Princeton University Press, New Jersey, 1957.

BEZERRA, F. D. **Análise retrospectiva e prospectiva do setor têxtil no Brasil e no Nordeste**. Informe Macroeconômica, Indústria e Serviços, Fortaleza, CE, Ano VIII, n. 2, 2014.

BHADURY, B. **Management of productivity through TPM**. *Productivity*, v. 41, n. 2, p. 240-251, 2000.

BORTOLOTTI, S. L. V. et al. Estudo de custos para uma microempresa de guardanapos de papel utilizando cadeias absorventes de Markov. In: **SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – SIMPEP, 14., 2007**, Bauru, SP, Brasil. Anais... Bauru, SP, 2007.



CANAL RURAL. **Calendário agrícola: veja qual o melhor período para o plantio e colheita das principais culturas do país.** Atualizado em: 19 dez. 2014. Disponível em:<<http://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/calendario-agricola-veja-qual-melhor-periodo-para-plantio-colheita-das-principais-culturas-pais-900>>. Acesso em: 26 mar. 2016.

CARDOSO, A. F. **Arranjos produtivos locais: análise das condicionantes territoriais e seus indicadores de desempenho.** Brusque: Unifebe, 2017.

CARMEN, M. M.; SALZGEBER, S. **Changes in academic work and the chair regime: The case of German Business Administration Academics.** Organization Studies, v. 26, n. 2, 2005.

CEBECI, U. **Fuzzy AHP-based decision support system for selecting ERP systems in textile industry by using balanced scorecard.** Elsevier Expert Systems with Applications, v. 36, 2009.

CHANDEGRA, P.; DESHPANDE, V. A. **Total Productive Maintenance implementation through different strategies: a review.** International Journal of Advance Engineering and Research Development, v. 1, n. 11, p. 117-128, 2014.

CHANTAIGNIER, G. **Fio a fio: tecidos, moda e linguagem.** São Paulo: Estação das Letras, 2006.

CHEN, Y.; OLIVER, D. S.; ZHANG, D. **Efficient ensemble based closed loop production optimization.** Journal of Society of



Petroleum Engineers, Symposium on Improved Oil Recovery, 2008.

CHU, C. W.; LAING, G. S.; LIAO, C. T. **Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification**. Elsevier Computers & Industrial Engineering, v. 5, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2017. **Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos. Algodão**. Postado em: jan. 2017. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_algodao.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2017.

DANIELCZYK, P.; STADNICKI, J. **Optimization of Selected Components of a Roller Carding Machine in the Aspect of Improving their Cooperation Quality**. Fibres & Textiles in Eastern Europe, v. 23, n. 6, p. 114, 2015.

DARLING, R. W. R.; NORRIS, J. R. **Differential equation approximations for Markov chains**. Probability Surveys, v. 5, 2008.

DAS, S.; GHOCH, A. **Cotton Fibre to Yarn Engineering: A Simulated Annealing Approach**. Fibres & Textiles in Eastern Europe, v. 23, n. 3, p. 111, 2015.

DAVENPORT, T. **Mission critical: realizing the promise of enterprise systems**. Boston: Harvard Business School Press, 2000.

DAYIK, M. **Prediction of yarn properties using evaluation programing**. Textile Research Journal, v. 79, 2009.



DEKKER, R.; NICOLAI, R. P.; KALLENBERG, L. C. M.

Maintenance and Markov decision models. Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability, John Wiley and Sons, Inc., 2008.

DHAMIJA, S.; CHOPRA, M. **Tearing strength of cotton fabrics in relation to certain process and loom parameters.** The Journal of the Textile Institute, v. 32, 2007.

EL-SAYED, M. A. M. et al. **Effect of carding machine delivery speed on production of extra-fine egyptian cotton compact spun yarns.** International Journal of Textile Science, v. 1, n. 2, 2012.

ENSLEY, M. D.; CARR, J. C. **Institutional isomorphism in venture capital investment decision making: industry characteristics and investment preferences.** Social Science Research Network, 2006.

ERNEST, D.; KIM, L. **Global production networks, knowledge diffusion, and local capability formation.** Elsevier Science B.V., v. 31, 2002.

ESFAHANI, R. T.; SHANBEH, M. **Effect of navel and rotor type on physical and mechanical properties of viscose rotor spun yarns.** Fibres & Textiles in Eastern Europe, v. 22, n. 3, p. 105, 2014.

FACCIO, M. et al. **Industrial maintenance policy development: A quantitative framework.** Int. J. Production Economics, n. 147, p. 85-93, 2014.



FAIRBROTHER, J.; TURNER, A.; WALLACE, S. W. **Problem-driven scenario generation: an analytical approach for stochastic programs with tail risk measure**. Cornell University Library, v. 1, 2017. Disponível em:<<https://arxiv.org/abs/1511.03074v2>>. Acesso em: 22 maio 2017.

FARACO, N. N. T. **Estudo do cenário das atividades e políticas de manutenção adotadas no segmento de ferramentarias da região de Joinville/SC**. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior Tupy – SOCIESC, Joinville, 2010.

FARAZ, N.; KHAN, Y. **Study of the dynamics of rotor-spun composite yarn spinning process in forced vibration**. Textile Research Journal, v. 82, n. 3, 2012.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA – FIESC. **Rotas estratégicas setoriais para a indústria catarinense 2022**. Têxtil & Confecção, Florianópolis, 2017.

FOULK, J. et al. **Mid infrared spectroscopy of trash in cotton rotor dust**. The Journal of Cotton Science, v. 8, 2004.

FRANGOPOL, D. M.; KALLEN, M. J.; VAN NOORTWIJK, J. M. **Probabilistic models for life-cycle performance of deteriorating structures: review and future directions**. Prog. Struct Engng. v. 6, p. 197-212, 2004.

FREITAS FILHO, F. L. **Gestão da inovação: teoria e prática para implantação**. São Paulo: Atlas, 2013.

GAVIRA, M. O. **Simulação computacional como uma**



ferramenta de aquisição de conhecimento. 2003. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

GROOTHUIS, S., MERODE, G. G., HASMAN, A. **Simulation as decision tool for capacity planning.** Computer Methods and Programs in Biomedicine, v. 66, n. 2-3, p. 139-151, Sep. 2001.

GUERRY, M. A.; BRUSSEL, V. U. **On the embedding problem for three-state Markov chains.** Proceedings of the World Congress on Engineering, v. 2, 2014.

HARREL, C. R. et al. **Simulação otimizando os sistemas.** São Paulo: Belge IMAM, 2002.

HESELBARTH, C.; SCHALTEGGER, S. **Educating change agents for sustainability: learnings from the first sustainability management master of business administration.** Elsevier Journal of Cleaner Production, v. 62, 2014.

HOLLOCKS, B. W. **Forty Years of discrete-event simulation: a personal reflection.** Journal of the Operational Research Society, v. 57, p.1383-1399, Dec. 2006.

HONTELEZ, J. A. M.; BURGER, H. H.; WIJNMALEN, D. J. D. **Optimum condition-based maintenance policies for deteriorating systems with partial information.** Reliability Engineering and System Safety, v. 98, p. 52-63, 1996.



HOSSAIN, M. et al. **Measurement Methods of Dynamic Yarn Tension in a Ring Spinning Process**. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, v. 24, n. 1, p. 115, 2016.

HOWARD, R. A. **Dynamic Programming and Markov Processes** – M.I.T. Press, Cambridge: Massachusetts, 1960.

HU, R.; YANG, H.; HU, B. **Effectiveness-based method for equipment maintenance evaluation**. *Management Science and Engineering*, v. 6, n. 4, 2012.

INSTITUTO DE ESTUDOS E MARKETING INDUSTRIAL – IEMI. **Brasil têxtil: relatório setorial da indústria têxtil brasileira 2017**, São Paulo, IEMI, v. 13, n. 13, 2017.

ISHTIAQUE, S. M.; MUKHOPADHYAY, A.; KUMAR, A. **Impact of carding parameters and draw frame speed on fibre axial distribution in ring: spun yarn**. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, v. 34, 2009a.

ISHTIAQUE, S. M.; MUKHOPADHYAY, A.; KUMAR, A. **Impact of high-speed draw frame and its preparatory on packing and related characteristics of ring spun yarn**. *The Journal of the Textile Institute*, v. 100, n. 8, 2009b.

JABBAR, A.; HUSSAIN, T.; MOQEET, A. **Impact of carding parameters and draw frame doubling on the properties of ring spun yarn**. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, v. 8, Issue 2, 2013.

JACKOWSKA, S. L. et al. **Quality of Cotton Yarns Spun Using Ring-, Compact-, and Rotor-Spinning Machines as a**



Function of Selected Spinning Process Parameters. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, v. 15, n. 1, p. 60, 2008.

JACKOWSKA, S. L. et al. **Compact cotton yarn.** *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, v. 12, n. 4, p. 48, 2004.

JARDINE, A. K. S.; LIN, D.; BANJEVIC, D. **A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance.** *Mechanical Systems and Signal Processing*, v. 20, p. 1483-1510, 2006.

KANDLIKAR, S. G.; GRANDE, W. J. **Evolution of microchannel flow passages thermohydraulic performance and fabrication technology.** *Journal Heat Transfer Engineering*, v. 24, Issue 1, 2003.

KAPLAN, S.; GÖKTEPE, O. **Investigation into naval selection for rotor spinning machine using cotton waste.** *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, v. 14, n. 3 p.57, 2006.

KARDEC, A.; XAVIER, J. N. **Manutenção: função estratégica.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

KELLER, P. F. **Impactos da globalização econômica sobre a cadeia têxtil brasileira. O caso do polo têxtil de Americana (SP).** *Rev. Univ. Rural, Sér. Ciências Humanas, Seropédica, RJ, EDUR*, v. 28, n. 1, 2006.

KHAN, K. R.; SARKER, R. C.; RAHMAN, H. **The Influence of Some Process Parameters on Rotor Spun Yarn Quality Produced from Recycled Cotton Spinning Wastes.**



International Journal of Textile Science, v. 4, n. 1, 2015.

KIAWU, J.; VALDES, C.; MACDONALD, S. **Brazil's Cotton Industry - Economic reform and development.** United States Department of Agriculture-USDA, CWS-11D-01, 2011.

KOECH, R. K.; SMITH, R. J.; GILLIES, M. H. **Furrow irrigation in the Australian cotton industry: alternative water delivery systems and their potential for automation.** National Centre for Engineering in Agriculture University of Southern Queensland Toowoomba, Publication 1002982/1, 2010.

KUEHN, W. **Digital factory: integration of simulation enhancing the production process toward operative control and optimization.** International Journal of Simulation Systems, Science & Technology, v. 7, n. 7, 2006.

LEE, F. D. **The new morning platform.** New York: Perk Candor, 2008.

LEE, J. et al. **Prognostics and health management design for rotary machinery systems: Reviews, methodology and applications.** Mechanical Systems and Signal Processing, v. 42, n. 1-2, p. 314-334, Jan. 2014.

LEE, M. D.; HOUSSEIN, M. A. E.; SHAHIDUL, M. I. **Production Machinery Maintenance Cost Optimization: A Review.** International Journal of Advanced Engineering Research and Applications, v. 2, Issue 3, Jul. 2016.

LIND, S. **Types and sources of fatal and severe non-fatal**



accidents in industrial maintenance. *Ensevier International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 38, 2008.

LOBO, R. N.; LIMEIRA, E. T. N. P.; MARQUES, R. N. **Fundamentos da tecnologia têxtil: da concepção da fibra ao processo de estamparia.** São Paulo: Érica, 2014.

LOOS, M. J.; MIGUEL, P. A. C. **Product portfolio management practices based on the PDMA survey: a diagnostic in a textile company.** *Espacios*, v. 33, n. 6, 2012.

LOOS, M. J.; RODRIGUEZ, C. M. T.; FOLLMANN, N. **The extent of use of PPC tools in Sintex-affiliated textile companies of Blumenau.** *Espacios*, v. 36, n. 8, 2015.

LOPES, T. O.; FROTA, C. D. Aplicação dos conceitos de Lean Manufacturing para a melhoria do processo de produção em uma empresa de eletrodomésticos: um estudo de caso. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 35., 2015.** Fortaleza, CE. Anais... Fortaleza, CE, 2015.

LYFORD, C. P.; WELCH, J. M. **Measuring competition for textiles: Does the U.S. make the grade?** Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting in Tulsa, Oklahoma, 2004.

LYON, D. W.; LUMPKIN, G. T.; DESS, G. G. **Enhancing entrepreneurial orientation research: Operationalizing and measuring a key strategic decision making process.** *Journal of Management*, v. 26, n. 5, 2000.

MAHMOOD, N.; JAMIL, N. A.; AHMAD, S. **Technological study**



of autoleveller in draw frame on cotton yarn quality. Journal of Applied Sciences, v. 6, n. 2, 2006.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Algodão.** Postado em: 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/algodao>>. Acesso em: 26 fev. 2019.

OLIVEIRA, M. A.; LOPES, I. S.; FIGUEIREDO, D. L. Maintenance Management Practices of Companies of the Industrial Pole of Manaus. In: **PROCEEDINGS OF THE WORLD CONGRESS ON ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE, 2014**, San Francisco, USA, 2014.

PAIN, R. et al. **Gestão de processo: pensar, agir e aprender.** Porto Alegre: Bookman, 2009.

PATHAK, S. S. **TPM Implementation to Fine-Tune Manufacturing Performance: An Indian Industrial Way.** International Journal of Business Quantitative Economics and Applied Management Research, v. 1, n. 8, p. 71-82, 2015.

PEIXOTO, A. L. A.; BASTOS, A. V. B. **Uso e efetividade de práticas de gestão da produção e do trabalho: um survey da indústria brasileira.** Rev. eletrôn. Adm., v. 18, n. 2, p. 372-399, 2012.

PEZZOLO, D. B. **Tecidos: história, tramas, tipos e usos.** 3. ed. São Paulo: SENAC, 2012. 328 p.

PODUVAL, P. S.; RAJ, J. V. P. **Maintenance to Total Productive Maintenance: A Journey of Transformation.** Indian Journal of



Research, v. 3, n. 9, p. 91-99, 2014.

POORE, R.; WALFORD, C. **Development of an operations and maintenance cost model to identify cost of energy savings for low wind speed turbines**. National Renewable Energy Laboratory, LLC Seattle, Washington, 2008.

PRICE, R. N.; HARREL, C. R. **Simulation using promodel technology**. Winter Simulation Conference, San Diego, CA, USA, p. 192-198, 2002.

RENAUX, M. L. **Colonização e indústria no Vale do Itajaí: o modelo catarinense de desenvolvimento**. 2. ed. Florianópolis: Instituto Carl Hoepcke, 2010. 406 p.

REZENDE, M. M. et al. As implicações gerenciais da MPT (manutenção produtiva total) nas ações industriais e suas relações com ferramentas de vantagem competitiva. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 27., 2007**, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, PR, 2007.

RIETER. **A 11 Unifloc Automatic Bale Opener: Economical Cleaning Starts with Microtufts**. 2018a. Disponível em: <<http://www.rieter.com/en/machines-systems/products/fibre-preparation/a-11-unifloc/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

_____. **Machines**. 2018b. Disponível em: <<http://www.rieter.com/en/machines-systems/products/rotor-spinning/r-60-rotor-spinning-machine/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.



_____. **Machines-systems**. 2017. Disponível em: <www.rieter.com/cz/machines-systems/news-center/country-reports/?tx/>. Acesso em: 22 mar. 2018.

ROCHA, F. G. C.; SANTOS, C. B.; VIEIRA, F. H. T. **Traffic modeling in PLC networks using a Markov fluid model with autocorrelation function fitting**. TEMA (São Carlos), v. 12, n. 3, p. 233-243, 2011.

RODRIGUES, M.; HATAKEYAMA, K. **Analysis of the fall of TPM in companies**. Journal of Materials Processing Technology, v. 179, n. 1-3, p. 276-279, 2006.

ROSENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

RUBINSTEIN, R. Y.; KROESE, D. P. **Simulation and the Monte Carlo Method**. 3. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2017.

SABRÁ, F. **Modelagem: tecnologia em produção de vestuário**. São Paulo: Estação das Letras e Cores, 2014.

SAMROUT, M. et al. **Optimization of maintenance policy using the proportional hazard model**. Reliability Engineering and System Safety, v. 94, p. 44-52, 2009.

SANTOS, J. V.; FERREIRA, I. A. Gestão de ativos suportada pela Reliability TPM. In: **CONGRESSO BRASILEIRO, 28., MUNDIAL DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS EXPOMAN, 5., 2013**, São Paulo, SP. Anais... São Paulo, SP, 2013.



SARANGA, H. **Opportunistic maintenance using genetic algorithms**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 10, n. 1, p. 66-74. 2004.

SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; THORNHILL, A. **Research Methods for Business Students**. 6. ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2012.

SCHERER, W. T.; GLAGOLA, D. M. **Markovian models for bridge maintenance management**. Journal of Transportation Engineering. v. 120, n. 1, p. 37-51, 1994.

SCHIFFAUEROVA, A.; THOMSON, V. **A review of research on cost of quality models and best practices**. International Journal of Quality & Reliability Management, v. 23, n. 6, p. 647-669, 2006.

SHAHID, M. D. A. et al. **Effect of rotor variables on the tensile and evenness properties of jute-viscose blended yarn**. International Journal of Textile and Fashion, v. 2, Inssue 3, 2012.

SHUM, Y. S.; GONG, D. C. **The application of genetic algorithm in the development of preventive maintenance analytic model**. International Journal of Adv. Manufacturing Technology, v. 32, p. 169-183, 2006.

SILVA, A. L. R. **A nova ordem europeia no século XIX: os efeitos da dupla revolução na história contemporânea**. Ciências & Letras, n. 47, 2011.

SINDICADO DA INDÚSTRIA TÊXTIL DE SANTA CATARINA



– SINTEX. **Perspectivas e desafios para o crescimento.** Blumenau/SC, 2017. Disponível em: <http://www.sintex.org.br/arquivos/249_ap_sintex-2015_final.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2019.

SINGH, K.; AHUJA, I. S. **Synergistic suitability of transfusion of TQM-TPM for Indian manufacturing industries using fuzzy-based model simulation.** International Journal of Business Continuity and Risk Management, v. 4, n. 1, p. 36-46, 2013.

SMITH, H.; FINGAR, P. **Business Process Management: the third wave.** Florida: Meghan-Kiffer, 2003.

SOUZA, V. C. **Organização e gerência da manutenção.** 2. ed. São Paulo: All Print, 2007.

STEIN, S. **Origens e evolução da indústria têxtil no Brasil, 1850-1950.** Rio de Janeiro: Campus, 1979.

STENGOS, D.; THOMAS, L. **The blast furnaces problem.** European Journal of Operational Research, v. 4, p. 330-336, 1980.

SWICOFIL. **Swicofil Manual – Yarn numbering details.** 2016. Disponível em: <<http://www.swicofil.com/companyinfo/manualyarnnumbering.html>>. Acesso em: 06 abr. 2016.

TEXTILE LEARNER. **Estrutura da fibra do algodão.** 2016. Disponível em: <<http://textilelearner.blogspot.com.br/2013/04/structure-of-cotton-fiber.html/>>. Acesso em: 26 mar. 2016.

THE STATISTICS PORTAL. **Leading cotton producing**



countries worldwide in 2017/2018 (in 1,000 metric tons).

2019. Disponível em: <<http://www.statista.com/statistics/263055/cotton-production-worldwide-by-top-countries/>>. Acesso em: 18 mar. 2019.

TRÜTZSCHLER. **Carda da Trützschler®**. 2018a. Disponível em: <<http://www.truetzschler-spinning.de/br/downloads/folder/carda-tc-15/portuguesisch-pt/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

_____. **Passador da Trützschler®**. 2018b. Disponível em: <http://www.truetzschler-spinning.de/fileadmin/user_upload/Truetzschler-Broschueren/Strecke/Completa_brochura.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2018.

TURNER, A. G. **Convergence of markov processes near saddle fixed points**. Institute of mathematical Statistics. The Annals of Probability, v. 35, n. 3, 2007.

URSÍNY, P. **Simulation of the Processing of Fibrous Products in the OE-Rotor Spinning System**. Fibres & Textiles in Eastern Europe, v. 18, n. 3, p. 80, 2010.

WAEYENBERGH, G.; PINTELON, L. **CIBOCOF: A framework for industrial maintenance concept development**. International Journal of Production Economics, v. 121, Issue 2, p. 633-640, Oct. 2009.

WAND, H. **A survey of maintenance policies of deteriorating systems**. European Journal of Operation Research, v. 139, n. 3, p. 469-489, 2002.



WANG, H.; PHAN, M. **Reliability and Optimal Maintenance**. Springer Series in Reliability Engineering, Springer-Verlag, London, 2006.

WANG, T.; LIU, Y.; WANG, Y. **Infrared marker based augmented reality system for equipment maintenance**. International Conference on Computer Science and Software Engineering, DOI 10.1109/CSSE, 2008.

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção Produtiva**. Nova Lima: INDG, 2004.

YANG, R. H.; WANG, S. Y. **A linear dynamic model for rotor-spun composite yarn spinning process**. Journal of Physics, Conference Series 96, 2008.

YANG, R. H.; YUAN, X.; WANG, S. Y. **A nonlinear dynamic model for a rotor-spun composite yarn spinning process**. Elsevier Nonlinear Analysis, v. 71, 2009.

ZARIFIAN, P. **Objectif compétence**. Paris: Liaisons, 1999.

ZHENG, Q. P.; WANG, J.; LIU, A. L. **Stochastic Optimization for Unit Commitment: A Review**. IEEE Transactions on Power Systems, v. 30, Issue 4, p. 1913-1924, 2014.



Apêndices

APÊNDICE A – Controle da produção Open End

APÊNDICE B – Cálculo da matriz de transição

APÊNDICE C – Modelo Monte Carlos para simulação de margens com sequência de paradas semestrais (cada 26 semanas)

APÊNDICE D – Modelo Monte Carlo para simulação de margens com sequência de paradas semestrais (cada 22 semanas)

APÊNDICE E – Modelo Monte Carlo para simulação de margens com sequência de paradas semestrais (cada 30 semanas)



APÊNDICE A – Controle da produção *Open End*

		MÁQUINA:02									
OCORRÊNCIA	DIA	MÊS	1º TURNO		2º TURNO		3º TURNO		Total Dia/Média eficiência		
			Kg	Eficiência	Kg	Eficiência	Kg	Eficiência	KG	Eficiência	
				1	753,16	99,10	752,70	99,04	602,81	99,31	2.108,68
	2	754,00	99,21	754,68	99,30	601,54	99,10	2.110,21	99,20		
	3	753,92	99,20	753,92	99,20	606,45	99,91	2.114,29	99,44		
	4	752,17	98,97	753,54	99,15	601,96	99,17	2.107,67	99,10		
	5	753,92	99,20	755,29	99,38	604,57	99,60	2.113,78	99,39		
Sábado	6	754,00	99,21	751,03	98,82	598,38	98,58	2.103,41	98,87		
Domingo	7	746,85	98,27	750,73	98,78	595,83	98,16	2.093,41	98,40		
	8	757,80	99,71	758,71	99,83	603,12	99,36	2.119,62	99,63		
	9	756,20	99,50	752,40	99,00	603,78	99,47	2.112,38	99,32		
	10	753,31	99,12	754,07	99,22	603,05	99,35	2.110,44	99,23		
	11	754,30	99,25	750,73	98,78	596,44	98,26	2.101,47	98,76		
	12	750,12	98,70	750,12	98,70	596,26	98,23	2.096,50	98,54		
Sábado	13	754,38	99,26	749,51	98,62	599,84	98,82	2.103,73	98,90		
Domingo	14	748,37	98,47	749,97	98,68	597,05	98,36	2.095,39	98,50		
	15	758,56	99,81	759,01	99,87	598,93	98,67	2.116,49	99,45		
	16	754,45	99,27	754,30	99,25	600,26	98,89	2.109,01	99,14		
	17	757,87	99,72	758,02	99,74	601,48	99,09	2.117,37	99,52		
	18	747,84	98,40	746,32	98,20	599,72	98,80	2.093,88	98,47		
	19	745,56	98,10	750,12	98,70	600,32	98,90	2.096,00	98,57		
Sábado	20	755,14	99,36	750,80	98,79	598,62	98,62	2.104,56	98,92		
Domingo	21	747,61	98,37	749,21	98,58	597,23	98,39	2.094,05	98,45		
	22	758,63	99,82	758,56	99,81	598,93	98,67	2.116,11	99,43		
	23	754,45	99,27	754,15	99,23	599,17	98,71	2.107,77	99,07		
Falha eletrônica	24	754,83	99,32	598,20	78,71	590,55	97,29	1.943,58	91,77		
	25	747,08	98,30	754,45	99,27	568,15	93,60	2.069,68	97,06		
	26	745,56	98,10	747,08	98,30	599,11	98,70	2.091,75	98,37		
Sábado	27	755,14	99,36	750,80	98,79	598,62	98,62	2.104,56	98,92		
Domingo	28	747,61	98,37	749,28	98,59	596,62	98,29	2.093,52	98,42		
	29	758,63	99,82	754,38	99,26	600,75	98,97	2.113,76	99,35		
	30	754,45	99,27	753,24	99,11	602,08	99,19	2.109,77	99,19		
	31	754,83	99,32	752,55	99,02	601,48	99,09	2.108,86	99,14		



APÊNDICE B – Cálculo da matriz de transição

=

0,358	0,468	0,070	0,070	0,002	0,002	0,002	0,017	0,000	0,000	0,000	0,009
0,312	0,465	0,141	0,049	0,007	0,001	0,001	0,017	0,001	0,001	0,001	0,004
0,056	0,132	0,449	0,312	0,033	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008
0,110	0,092	0,295	0,375	0,084	0,026	0,008	0,004	0,002	0,002	0,004	0,004
0,018	0,035	0,093	0,093	0,502	0,238	0,009	0,000	0,004	0,009	0,004	0,009
0,005	0,021	0,058	0,094	0,204	0,492	0,089	0,010	0,016	0,010	0,016	0,010
0,067	0,087	0,040	0,020	0,033	0,087	0,527	0,093	0,013	0,033	0,013	0,033
0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,020	0,122	0,724	0,112	0,010	0,010	0,010
0,020	0,000	0,000	0,041	0,010	0,041	0,041	0,041	0,061	0,704	0,082	0,082
0,000	0,011	0,027	0,005	0,000	0,016	0,053	0,011	0,053	0,011	0,053	0,824

X

0,358	0,468	0,070	0,074	0,002	0,002	0,017	0,000	0,000	0,000	0,009	
0,312	0,465	0,141	0,049	0,007	0,001	0,017	0,001	0,001	0,001	0,004	
0,056	0,132	0,449	0,312	0,033	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	
0,110	0,092	0,295	0,375	0,084	0,026	0,008	0,004	0,002	0,002	0,004	
0,018	0,035	0,093	0,093	0,502	0,238	0,009	0,004	0,004	0,004	0,009	
0,005	0,021	0,058	0,094	0,204	0,492	0,089	0,010	0,016	0,010	0,010	
0,067	0,087	0,040	0,020	0,033	0,087	0,527	0,093	0,013	0,033	0,033	
0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,020	0,122	0,724	0,112	0,010	0,010	
0,020	0,000	0,000	0,041	0,010	0,041	0,041	0,041	0,061	0,704	0,082	
0,000	0,011	0,027	0,005	0,000	0,016	0,053	0,011	0,053	0,011	0,063	0,824

=

0,288	0,403	0,100	0,014	0,007	0,024	0,003	0,002	0,014	
0,272	0,388	0,167	0,110	0,017	0,008	0,023	0,004	0,002	0,010
0,121	0,177	0,320	0,272	0,061	0,026	0,007	0,002	0,002	0,013
0,128	0,172	0,274	0,256	0,090	0,047	0,014	0,006	0,004	0,010
0,043	0,069	0,136	0,136	0,312	0,241	0,033	0,004	0,010	0,016
0,034	0,054	0,108	0,123	0,216	0,303	0,096	0,023	0,023	0,021
0,092	0,128	0,071	0,053	0,056	0,100	0,302	0,119	0,030	0,050
0,012	0,012	0,009	0,020	0,010	0,040	0,160	0,544	0,163	0,029
0,029	0,019	0,021	0,052	0,025	0,058	0,066	0,093	0,508	0,128
0,010	0,023	0,040	0,020	0,007	0,029	0,077	0,025	0,084	0,685

X

0,288	0,403	0,145	0,100	0,014	0,007	0,024	0,003	0,002	0,014
0,272	0,388	0,167	0,110	0,017	0,008	0,023	0,004	0,002	0,010
0,121	0,177	0,320	0,272	0,061	0,026	0,007	0,002	0,002	0,013
0,128	0,172	0,274	0,256	0,090	0,047	0,014	0,006	0,004	0,010
0,043	0,069	0,136	0,136	0,312	0,241	0,033	0,004	0,010	0,016
0,034	0,054	0,108	0,123	0,216	0,303	0,096	0,023	0,023	0,021
0,092	0,128	0,071	0,053	0,056	0,100	0,302	0,119	0,030	0,050
0,012	0,012	0,009	0,020	0,010	0,040	0,160	0,544	0,163	0,029
0,029	0,019	0,021	0,052	0,025	0,058	0,066	0,093	0,508	0,128
0,010	0,023	0,040	0,020	0,007	0,029	0,077	0,025	0,084	0,685

=

0,288	0,403	0,145	0,100	0,014	0,007	0,024	0,003	0,002	0,014
0,272	0,388	0,167	0,110	0,017	0,008	0,023	0,004	0,002	0,010
0,121	0,177	0,320	0,272	0,061	0,026	0,007	0,002	0,002	0,013
0,128	0,172	0,274	0,256	0,090	0,047	0,014	0,006	0,004	0,010
0,043	0,069	0,136	0,136	0,312	0,241	0,033	0,004	0,010	0,016
0,034	0,054	0,108	0,123	0,216	0,303	0,096	0,023	0,023	0,021
0,092	0,128	0,071	0,053	0,056	0,100	0,302	0,119	0,030	0,050
0,012	0,012	0,009	0,020	0,010	0,040	0,160	0,544	0,163	0,029
0,029	0,019	0,021	0,052	0,025	0,058	0,066	0,093	0,508	0,128
0,010	0,023	0,040	0,020	0,007	0,029	0,077	0,025	0,084	0,685

X

0,288	0,403	0,145	0,100	0,014	0,007	0,024	0,003	0,002	0,014
0,272	0,388	0,167	0,110	0,017	0,008	0,023	0,004	0,002	0,010
0,121	0,177	0,320	0,272	0,061	0,026	0,007	0,002	0,002	0,013
0,128	0,172	0,274	0,256	0,090	0,047	0,014	0,006	0,004	0,010
0,043	0,069	0,136	0,136	0,312	0,241	0,033	0,004	0,010	0,016
0,034	0,054	0,108	0,123	0,216	0,303	0,096	0,023	0,023	0,021
0,092	0,128	0,071	0,053	0,056	0,100	0,302	0,119	0,030	0,050
0,012	0,012	0,009	0,020	0,010	0,040	0,160	0,544	0,163	0,029
0,029	0,019	0,021	0,052	0,025	0,058	0,066	0,093	0,508	0,128
0,010	0,023	0,040	0,020	0,007	0,029	0,077	0,025	0,084	0,685



APÊNDICE C – Modelo Monte Carlos para simulação de margens com sequência de paradas semestrais (cada 26 semanas)

SEMANA	SEQ 1	SEQ 2	SEQ 3	SEQ 4	SEQ 5	SEQ 6	SEQ 7	SEQ 8	SEQ 9	SEQ 10	SEQ 11
1	R\$ 12.045	R\$ 12.640	R\$ 12.778	R\$ 11.240	R\$ 12.843	R\$ 13.027	R\$ 13.357	R\$ 14.531	R\$ 12.045	R\$ 13.645	R\$ 12.778
2	R\$ 11.029	R\$ 12.576	R\$ 11.700	R\$ 12.833	R\$ 11.740	R\$ 12.918	R\$ 11.610	R\$ 13.382	R\$ 12.034	R\$ 10.901	R\$ 11.700
3	R\$ 12.022	R\$ 13.518	R\$ 13.636	R\$ 12.750	R\$ 12.647	R\$ 11.805	R\$ 11.537	R\$ 14.242	R\$ 12.022	R\$ 13.518	R\$ 13.636
4	R\$ 12.011	R\$ 12.449	R\$ 12.558	R\$ 13.673	R\$ 12.549	R\$ 12.701	R\$ 13.139	R\$ 14.097	R\$ 12.011	R\$ 12.449	R\$ 12.558
5	R\$ 13.004	R\$ 12.385	R\$ 14.160	R\$ 13.590	R\$ 10.776	R\$ 12.593	R\$ 12.061	R\$ 12.947	R\$ 13.674	R\$ 12.385	R\$ 11.480
6	R\$ 13.663	R\$ 10.646	R\$ 12.412	R\$ 12.503	R\$ 12.353	R\$ 12.485	R\$ 12.994	R\$ 12.802	R\$ 12.993	R\$ 12.321	R\$ 12.412
7	R\$ 12.982	R\$ 13.263	R\$ 12.339	R\$ 12.421	R\$ 13.260	R\$ 12.376	R\$ 14.596	R\$ 12.658	R\$ 11.977	R\$ 10.583	R\$ 13.344
8	R\$ 12.970	R\$ 13.199	R\$ 13.271	R\$ 12.338	R\$ 12.157	R\$ 12.268	R\$ 13.853	R\$ 12.513	R\$ 11.965	R\$ 13.199	R\$ 12.266
9	R\$ 11.954	R\$ 12.130	R\$ 12.193	R\$ 13.931	R\$ 12.059	R\$ 13.164	R\$ 12.776	R\$ 12.368	R\$ 11.954	R\$ 13.135	R\$ 13.198
10	R\$ 10.938	R\$ 12.066	R\$ 13.795	R\$ 12.173	R\$ 11.961	R\$ 13.726	R\$ 12.703	R\$ 12.223	R\$ 11.943	R\$ 12.066	R\$ 12.120
11	R\$ 12.936	R\$ 13.677	R\$ 11.042	R\$ 13.096	R\$ 11.863	R\$ 11.943	R\$ 14.305	R\$ 12.078	R\$ 11.931	R\$ 10.997	R\$ 12.047
12	R\$ 11.920	R\$ 11.939	R\$ 11.974	R\$ 12.009	R\$ 12.770	R\$ 13.509	R\$ 12.558	R\$ 11.934	R\$ 11.920	R\$ 11.939	R\$ 10.299
13	R\$ 11.908	R\$ 10.870	R\$ 12.906	R\$ 12.931	R\$ 11.667	R\$ 10.721	R\$ 13.490	R\$ 11.789	R\$ 11.908	R\$ 11.875	R\$ 11.901
14	R\$ 12.902	R\$ 12.816	R\$ 11.828	R\$ 11.844	R\$ 13.244	R\$ 11.617	R\$ 13.417	R\$ 11.644	R\$ 11.897	R\$ 10.806	R\$ 11.828
15	R\$ 12.891	R\$ 11.747	R\$ 11.754	R\$ 12.767	R\$ 11.471	R\$ 11.509	R\$ 12.339	R\$ 13.174	R\$ 11.886	R\$ 11.747	R\$ 11.754
16	R\$ 11.874	R\$ 12.689	R\$ 11.681	R\$ 11.679	R\$ 11.374	R\$ 12.406	R\$ 12.267	R\$ 11.355	R\$ 12.879	R\$ 11.684	R\$ 12.686
17	R\$ 13.538	R\$ 11.620	R\$ 11.608	R\$ 11.597	R\$ 11.276	R\$ 11.292	R\$ 12.194	R\$ 11.210	R\$ 11.863	R\$ 11.620	R\$ 11.608
18	R\$ 13.526	R\$ 11.556	R\$ 11.535	R\$ 12.519	R\$ 11.178	R\$ 12.189	R\$ 13.126	R\$ 11.065	R\$ 12.856	R\$ 11.556	R\$ 13.210
19	R\$ 11.840	R\$ 11.492	R\$ 12.467	R\$ 11.432	R\$ 12.755	R\$ 11.075	R\$ 12.049	R\$ 10.920	R\$ 11.840	R\$ 12.497	R\$ 11.462
20	R\$ 12.834	R\$ 11.429	R\$ 11.389	R\$ 11.350	R\$ 10.982	R\$ 11.972	R\$ 11.976	R\$ 10.775	R\$ 11.829	R\$ 11.429	R\$ 11.389
21	R\$ 12.822	R\$ 11.365	R\$ 12.991	R\$ 11.267	R\$ 10.884	R\$ 11.864	R\$ 11.903	R\$ 11.636	R\$ 12.822	R\$ 11.365	R\$ 11.316
22	R\$ 12.811	R\$ 11.301	R\$ 10.238	R\$ 11.185	R\$ 10.786	R\$ 10.750	R\$ 10.826	R\$ 10.486	R\$ 11.806	R\$ 12.976	R\$ 11.243
23	R\$ 11.794	R\$ 11.237	R\$ 11.170	R\$ 10.097	R\$ 11.693	R\$ 11.647	R\$ 11.758	R\$ 10.341	R\$ 11.794	R\$ 11.237	R\$ 11.170
24	R\$ 11.783	R\$ 11.173	R\$ 11.097	R\$ 9.345	R\$ 10.590	R\$ 11.538	R\$ 12.690	R\$ 10.196	R\$ 12.788	R\$ 12.178	R\$ 9.422
25	R\$ 11.772	R\$ 12.115	R\$ 11.024	R\$ 10.938	R\$ 11.497	R\$ 11.430	R\$ 12.618	R\$ 11.056	R\$ 11.772	R\$ 11.110	R\$ 11.024
26	-R\$ 8.715	-R\$ 8.447	-R\$ 8.720	-R\$ 9.184	-R\$ 8.566	-R\$ 8.532	-R\$ 8.099	-R\$ 8.209	-R\$ 8.715	-R\$ 8.447	-R\$ 8.720



APÊNDICE D – Modelo Monte Carlo para simulação de margens com sequência de paradas semestrais (cada 22 semanas)

SEMANA	SEQ 1	SEQ2	SEQ3	SEQ 4	SEQ 5	SEQ 6	SEQ 7	SEQ 8	SEQ 9	SEQ 10	SEQ 11
	R\$										
1	13.050	12.640	13.783	12.915	12.843	14.702	14.362	13.526	11.040	13.645	11.103
	R\$										
2	13.039	12.576	12.705	11.158	12.745	13.923	13.285	14.387	12.034	13.581	12.705
	R\$										
3	12.022	10.838	13.636	12.750	14.322	12.810	14.217	13.237	12.022	11.508	12.631
	R\$										
4	13.016	11.444	12.558	12.668	12.549	12.701	14.144	13.092	12.011	13.454	13.563
	R\$										
5	13.004	13.390	12.485	12.585	13.456	12.593	13.066	11.942	11.999	12.385	12.485
	R\$										
6	11.988	13.326	12.412	12.503	12.353	12.485	12.994	11.797	10.983	12.321	12.412
	R\$										
7	11.977	12.258	12.339	11.416	13.260	12.376	12.921	12.658	13.652	12.258	12.339
	R\$										
8	11.965	12.194	12.266	12.338	10.482	12.268	13.853	10.838	11.965	12.194	12.266
	R\$										
9	12.959	12.130	12.193	13.261	13.734	12.159	13.781	13.373	11.954	12.130	12.193
	R\$										
10	11.943	12.066	12.120	13.178	11.961	13.056	12.703	12.223	10.268	12.066	12.120
	R\$										
11	12.936	12.002	11.042	12.091	12.868	12.948	12.630	12.078	12.936	12.002	12.047
	R\$										
12	12.925	11.939	13.649	12.009	11.765	11.834	13.563	12.939	11.920	11.939	13.649
	R\$										
13	11.908	11.875	11.901	11.926	10.662	11.726	12.485	11.789	12.913	10.200	11.901
	R\$										
14	12.902	11.811	11.828	11.844	11.569	11.617	13.417	11.644	9.552	11.811	11.828
	R\$										
15	11.886	11.747	11.754	11.762	11.471	11.509	14.014	12.504	11.886	12.752	12.759
	R\$										
16	12.879	11.684	11.681	10.674	12.379	12.406	12.267	11.355	11.874	10.679	11.681
	R\$										
17	10.188	11.620	9.933	12.602	11.276	11.292	12.194	11.210	11.863	11.620	11.608
	R\$										
18	11.851	9.881	12.540	12.519	11.178	12.189	12.121	9.390	11.851	11.556	11.535
	R\$										
19	11.840	12.497	11.462	12.437	11.080	11.075	12.049	10.920	11.840	11.492	11.462
	R\$										
20	11.829	11.429	12.394	13.025	10.982	12.642	9.631	10.775	13.504	11.429	11.389
	R\$										
21	13.492	11.365	11.316	11.267	9.209	10.859	11.903	10.631	11.817	11.365	11.316
	-R\$										
22	7.937	8.661	8.349	8.611	9.220	8.217	8.016	8.618	8.989	8.374	9.115



APÊNDICE E – Modelo Monte Carlo para simulação de margens com sequência de paradas semestrais (cada 30 semanas)

SEMANA	SEQ 1	SEQ2	SEQ3	SEQ 4	SEQ 5	SEQ 6	SEQ 7	SEQ 8	SEQ 9	SEQ 10	SEQ 11
1	R\$ 12.045	R\$ 13.645	R\$ 13.783	R\$ 11.240	R\$ 12.843	R\$ 13.027	R\$ 13.357	R\$ 14.531	R\$ 12.045	R\$ 12.640	R\$ 12.778
2	R\$ 13.709	R\$ 12.576	R\$ 12.705	R\$ 12.833	R\$ 12.745	R\$ 12.918	R\$ 13.285	R\$ 14.387	R\$ 12.034	R\$ 12.576	R\$ 12.705
3	R\$ 13.027	R\$ 12.513	R\$ 12.631	R\$ 13.755	R\$ 12.647	R\$ 12.810	R\$ 14.217	R\$ 13.237	R\$ 12.022	R\$ 12.513	R\$ 12.631
4	R\$ 12.011	R\$ 12.449	R\$ 12.558	R\$ 12.668	R\$ 13.554	R\$ 11.696	R\$ 14.144	R\$ 13.092	R\$ 13.016	R\$ 12.449	R\$ 12.558
5	R\$ 13.674	R\$ 12.385	R\$ 12.485	R\$ 14.260	R\$ 12.451	R\$ 12.593	R\$ 13.066	R\$ 12.947	R\$ 11.999	R\$ 13.390	R\$ 12.485
6	R\$ 11.988	R\$ 13.326	R\$ 13.417	R\$ 12.503	R\$ 12.353	R\$ 13.490	R\$ 12.994	R\$ 13.807	R\$ 11.988	R\$ 12.321	R\$ 13.417
7	R\$ 11.977	R\$ 12.258	R\$ 12.339	R\$ 13.426	R\$ 13.260	R\$ 12.376	R\$ 13.926	R\$ 12.658	R\$ 13.652	R\$ 12.258	R\$ 12.339
8	R\$ 11.965	R\$ 12.194	R\$ 12.266	R\$ 13.343	R\$ 12.157	R\$ 12.268	R\$ 12.848	R\$ 12.513	R\$ 12.970	R\$ 12.194	R\$ 13.271
9	R\$ 13.629	R\$ 10.455	R\$ 12.193	R\$ 12.256	R\$ 10.384	R\$ 13.164	R\$ 12.776	R\$ 12.368	R\$ 12.959	R\$ 10.455	R\$ 12.193
10	R\$ 11.943	R\$ 10.391	R\$ 12.120	R\$ 10.498	R\$ 12.966	R\$ 12.051	R\$ 11.028	R\$ 12.223	R\$ 11.943	R\$ 12.066	R\$ 13.795
11	R\$ 11.931	R\$ 12.002	R\$ 12.047	R\$ 12.091	R\$ 11.863	R\$ 12.948	R\$ 12.630	R\$ 10.403	R\$ 13.606	R\$ 12.002	R\$ 10.372
12	R\$ 10.245	R\$ 11.939	R\$ 11.974	R\$ 13.014	R\$ 11.765	R\$ 11.834	R\$ 11.553	R\$ 11.934	R\$ 11.920	R\$ 11.939	R\$ 11.974
13	R\$ 11.908	R\$ 11.875	R\$ 12.906	R\$ 11.926	R\$ 12.672	R\$ 11.726	R\$ 12.485	R\$ 11.789	R\$ 11.908	R\$ 11.875	R\$ 11.901
14	R\$ 11.897	R\$ 11.811	R\$ 11.828	R\$ 10.839	R\$ 12.574	R\$ 11.617	R\$ 10.067	R\$ 11.644	R\$ 13.572	R\$ 11.811	R\$ 12.833
15	R\$ 12.891	R\$ 10.072	R\$ 11.754	R\$ 11.762	R\$ 11.471	R\$ 11.509	R\$ 12.339	R\$ 11.499	R\$ 10.211	R\$ 11.747	R\$ 11.754
16	R\$ 11.874	R\$ 10.679	R\$ 11.681	R\$ 13.354	R\$ 11.374	R\$ 11.401	R\$ 12.267	R\$ 12.360	R\$ 12.879	R\$ 11.684	R\$ 10.006
17	R\$ 11.863	R\$ 12.625	R\$ 11.608	R\$ 12.602	R\$ 11.276	R\$ 11.292	R\$ 12.194	R\$ 11.210	R\$ 10.858	R\$ 11.620	R\$ 12.613
18	R\$ 13.526	R\$ 9.881	R\$ 11.535	R\$ 11.514	R\$ 12.183	R\$ 11.184	R\$ 12.121	R\$ 10.060	R\$ 11.851	R\$ 12.561	R\$ 11.535
19	R\$ 11.840	R\$ 12.497	R\$ 10.457	R\$ 11.432	R\$ 11.080	R\$ 11.075	R\$ 12.049	R\$ 12.595	R\$ 11.840	R\$ 11.492	R\$ 11.462
20	R\$ 11.829	R\$ 11.429	R\$ 12.394	R\$ 11.350	R\$ 11.987	R\$ 11.972	R\$ 11.976	R\$ 11.780	R\$ 12.834	R\$ 11.429	R\$ 12.394
21	R\$ 11.817	R\$ 12.370	R\$ 12.321	R\$ 11.267	R\$ 10.884	R\$ 10.859	R\$ 10.898	R\$ 10.631	R\$ 11.817	R\$ 11.365	R\$ 11.316
22	R\$ 11.806	R\$ 11.301	R\$ 11.243	R\$ 11.185	R\$ 10.786	R\$ 11.755	R\$ 12.836	R\$ 10.486	R\$ 12.811	R\$ 12.306	R\$ 11.243
23	R\$ 11.794	R\$ 12.242	R\$ 10.165	R\$ 11.102	R\$ 11.693	R\$ 10.642	R\$ 12.763	R\$ 10.341	R\$ 9.449	R\$ 11.237	R\$ 11.170
24	R\$ 12.788	R\$ 9.498	R\$ 11.097	R\$ 11.020	R\$ 10.590	R\$ 10.533	R\$ 11.685	R\$ 10.196	R\$ 12.788	R\$ 11.173	R\$ 12.772
25	R\$ 11.772	R\$ 11.110	R\$ 9.349	R\$ 10.938	R\$ 10.492	R\$ 11.430	R\$ 11.613	R\$ 10.051	R\$ 12.777	R\$ 11.110	R\$ 11.024
26	R\$ 11.760	R\$ 11.046	R\$ 10.951	R\$ 11.860	R\$ 10.394	R\$ 10.317	R\$ 13.215	R\$ 9.907	R\$ 12.765	R\$ 11.046	R\$ 10.951
27	R\$ 11.749	R\$ 9.977	R\$ 9.872	R\$ 12.448	R\$ 11.971	R\$ 10.208	R\$ 12.472	R\$ 9.762	R\$ 13.424	R\$ 10.982	R\$ 10.877
28	R\$ 12.742	R\$ 9.913	R\$ 10.804	R\$ 10.690	R\$ 10.198	R\$ 10.100	R\$ 11.394	R\$ 9.617	R\$ 11.737	R\$ 10.918	R\$ 10.804
29	R\$ 11.726	R\$ 10.855	R\$ 10.731	R\$ 10.608	R\$ 11.105	R\$ 9.991	R\$ 12.997	R\$ 10.477	R\$ 12.731	R\$ 10.855	R\$ 10.731
30	-R\$ 8.728	-R\$ 8.520	-R\$ 8.516	-R\$ 9.278	-R\$ 8.678	-R\$ 8.943	-R\$ 7.990	-R\$ 8.375	-R\$ 8.441	-R\$ 8.807	-R\$ 8.803



SOBRE O AUTOR

Nascido na cidade de Santos/SC em 1963, é casado e possui um filho. Graduado em Engenharia Mecânica Têxtil pela Faculdade de Engenharia Industrial – FEI/SP e em Administração de Empresas pela Universidade São Francisco – USF/SP. Possui Especialização MBA Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas – FGV/RJ e MBA Gestão de Empresas Têxteis, pelo Instituto Blumenauense de Ensino Superior – IBES/SC. É Mestre em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário Sociesc – UNISOCIESC/SC.



Editora UNIFEBE

Fundação Educacional de Brusque

Centro Universitário de Brusque

Endereço: Rua Dorval Luz, 123

Bairro Santa Terezinha - Brusque - SC

CEP: 88352-400

Caixa Postal: 1501

Telefone: (47) 3211-7207

Site: www.unifebe.edu.br

E-mail: editora@unifebe.edu.br



Otimização Econômica na Decisão de Parada para Manutenção

Nas indústrias de manufatura e de transformação, as manutenções de equipamentos garantem, além da continuidade do processo, o prolongamento da vida útil da máquina. É primordial a execução dessa tarefa quando se faz necessário, mas é preciso determinar qual o melhor momento de parada para a realização da manutenção, que minimize a perda de produção, enquanto está sendo realizada. O objetivo desta pesquisa foi o de modelar a tomada de decisão de quando realizar uma manutenção preventiva em uma máquina de fiação de algodão no sistema Open End, instalado em uma empresa de prestação de serviços de fiação, de modo a otimizar a produtividade econômica média em longo prazo. Como delimitação da pesquisa, foi escolhida uma máquina de modelo e fabricante específicos, as características da matéria-prima com a qual a empresa trabalha atualmente e o fato de não ser levados em consideração no estudo, os fatores climáticos como temperatura e umidade relativa do ar no local da realização dos ensaios.