



VOLUME 01

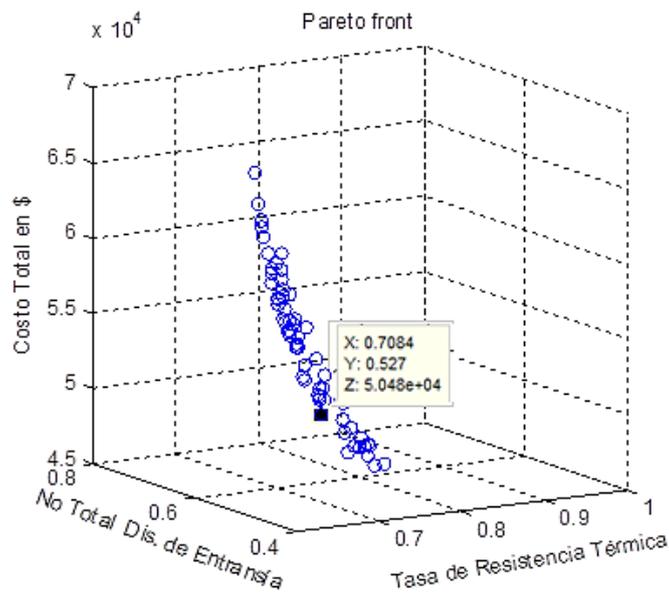
SETEMBRO 2015

ISSN 2447-0228



ITEGAM - JOURNAL OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS (JETIA)

Editor-in-Chief: J.C. Leite



Available online at www.itegam-jetia.org





O **ITEGAM-JETIA – Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (JETIA)** é uma publicação do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM), localizado na cidade de Manaus desde 2008. **ITEGAM-JETIA** publica artigos científicos originais que cobrem todos os aspectos de engenharia. Nosso objetivo é a divulgação da investigação original, útil e relevante apresentando novos conhecimentos sobre aspectos teóricos ou práticos de metodologias e métodos utilizados em engenharia ou que levam a melhorias nas práticas profissionais. Todas as conclusões apresentadas nos artigos deve basear-se no estado-da-arte e apoiada por uma análise rigorosa atual e uma equilibrada avaliação. A revista publica artigos de pesquisa científica e tecnológica, artigos de revisão e estudos de caso.

O **ITEGAM-JETIA** abordará temas das seguintes áreas do conhecimento: Engenharia Mecânica, Engenharia Civil, Materiais e de Mineralogia, Geociências, Meio Ambiente, Sistemas de Informação e Decisão, Processos e Energia, Elétrica e Automação, Mecatrônica, Biotecnologia e outras áreas relacionadas à Engenharia.

· **Informações da Publicação:**

ITEGAM-JETIA (ISSN 2447-0228), online) é publicado pelo Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM), com uma periodicidade bimestral (março, junho, setembro, dezembro).

Informações para Contato:

Página da WEB: www.itegam-jetia.org

E-mail: editor@itegam-jetia.org ou secretaria@itegam-jetia.org

ITEGAM – Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia.

Avenida Joaquim Nabuco, N.º. 1950. Centro. Manaus – Amazonas - Brasil.

CEP: 69020-031. Fone: (92) 3584 – 6145 e 3248 – 2646.

Copyright 2014. Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM)

A reprodução total ou parcial de textos relacionadas aos artigos é permitida, somente no caso da fonte seja devidamente citada. Os conceitos e opiniões expressas nos artigos são de responsabilidade exclusiva dos autores.

Aviso prévio

Todas as declarações, métodos, instruções e ideias são apenas responsabilidade dos autores e não representam, necessariamente, a vista do ITEGAM-JETIA. A editora não se responsabiliza por qualquer prejuízo e/ou danos para a utilização dos conteúdos deste periódico. Os conceitos e opiniões expressas nos artigos são de responsabilidade exclusiva dos autores.

Diretório

Membros do Centro Editorial do ITEGAM – Journal of Engineering and Technology for Industry Applications (ITEGAM-JETIA) do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) – Manaus/Amazonas/Brasil.

Tereza Rodrigues Felipe, Diretor – Presidente

Jandecy Cabral Leite, Coordenador Editorial

Elcimar Souza Correa, Assistente Editorial

Orlewilson Alysson Figueiras da Silva, Diagramador Gráfico Editorial

Rildo de Mendonça Nogueira, Assistente de Tecnologia da Informação



SUMÁRIO

<i>A aplicação do layout para o estudo da capacidade de produção de um segmento da indústria automotiva</i>	04
Ana Tereza Franco de Figueiredo, Daiane Rodrigues Monteiro, Marcelo Rubin Moraes	
<i>Secado de madeira pino a temperaturas elevadas</i>	13
Mario Matiauda, Juan B. de León Benítez, Nora Freaza, Marta Rivero	
<i>Advantages of applying composite material to replace metal alloys in aviation</i>	19
Marcelo André Santiago Barros, Roberto Tetsuo Fujiyama, Jandecy Cabral Leite	
<i>Eco-eficiência na indústria plástico e PML, reduzindo o desperdício de resíduos na produção de filme Stretch</i>	30
Agna de Souza Vasconcelos, Elis Patrícia Silva Costa, Mayna Carolina Alves Monteiro	
<i>Diseño de engranajes cilíndricos de dientes rectos usando TRIZ</i>	36
Jorge L Moya Rodríguez, Angel S. Machado, Reiner. Robaina	
<i>Análise Ergonômica do Trabalho na linha de Produção de cabine de teste da empresa TAM</i>	44
Adriana Risuenho da Silva, Michela de Freitas Páscoa, Tainá Diniz Magalhães	
<i>Projeto multicritério de filtros harmônicos passivos para instalações industriais utilizando técnicas de computação evolucionária</i>	52
Jandecy Cabral Leite, Ignácio Perez Abril, Manoel Socorro Santos Azevedo, Manoel Henrique Reis do Nascimento, Nadime Mustafa Moraes, Ana Maria Reis	
<i>Biocompósito de poliéster reforçados por fibra da folha de licuri (syagros coronata)</i>	61
Manfrine Silva Santos, Raimundo Valdan Pereira Lopes, Jandecy Cabral Leite, Marcus Roberto Binda Afonso, Eleodoro Rodriguez Hermenegildo	
<i>Optimizaci3n de Intercambiadores de Calor de tubo y coraza teniendo en cuenta las restricciones mecánicas</i>	67
Maida Bárbara Reyes Rodríguez, Jorge L Moya Rodríguez, Oscar Cruz Fonticiella, Eduardo Migeu Fírvida Donéstevez.	
<i>Propuesta de sistema de monitoreo de la logística de control bancario</i>	75
Cloves W. Torres Ferreira, Francis Taynã Silva Araújo, Marcio César Abreu dos Santos	
<i>Análise da capacidade produtiva em uma linha de zincagem através de simulação de processos como ferramenta de apoio para tomada de decisão</i>	82
Jandecy Cabral Leite Junior, Cristiano Magalhães da Silva, Leandro Harraquian	



Application of layout for the study of production capacity of an automotive industry segment

Ana Tereza Franco de Figueiredo¹, Daiane Rodrigues Monteiro¹, Marcelo Rubim Moraes¹

¹Centro Universitário do Norte (UNINORTE).

Av. Joaquim Nabuco, 1469, Centro. Manaus-Amazonas-Brasil. CEP: 69005-290. Fone: +55 (92) 3212 5000.
francodefigueiredo@hotmail.com, daiane_rm25@yahoo.com.br, mrubim33@gmail.com

ABSTRACT

This article analyses and evaluates the layout, time studies and methods applied into a factory at automotive industry segment locate at Manaus Industrial Pole (PIM), that produces parts to Southeast, South and Northeast regions in Brazil. The objective of this article is to determine the process capacity in details for an automotive radio production, fundamental production process step, once this activity is considered very critical. The methods and techniques applied were very severe, studying in details all data for each process step (all time studies based on real measurements done at a production shop floor) in order to establish the production standard time. The results found after many analyses (quantity and quality) including all values showed that the organization has the potential to increase its competitiveness into the automotive marketing, including lean manufacturing, layout and sustainable development actions.

Key-words: Timing, Automotive Industrial, productive capacity, Lean manufacturing, Layout and sustainable actions development.

A aplicação do layout para o estudo da capacidade de produção de um segmento da indústria automotiva

RESUMO

Este artigo analisa e avalia o layout, estudos de tempo e dos métodos aplicados em uma fábrica no segmento indústria automotiva localizada no Pólo Industrial de Manaus (PIM), que produz peças para regiões Sudeste, Sul e Nordeste do Brasil. O objetivo deste artigo é determinar a capacidade de processo em detalhes para uma produção de rádio automotivo, passo fundamental processo de produção, uma vez que esta atividade é considerada muito crítica. Os métodos e técnicas aplicadas foram de acesso, estudando em detalhes todos os dados para cada etapa do processo (tempo de todos os estudos baseados em medições reais feitas um chão de fábrica de produção), a fim de vos confirmar o horário padrão de produção. Os resultados encontrados após muitas análises (quantidade e qualidade), incluindo todos os valores mostraram que a organização tem o potencial de aumentar a competitividade ITS para a comercialização de automóvel, incluindo a manufatura enxuta, layout e ações de desenvolvimento sustentável.

Palavras-chaves: o tempo, Indústria Automotiva, Capacidade produtiva, Lean Manufacturing, Layout e Desenvolvimento de ações sustentáveis.

I. INTRODUÇÃO

Em virtude da competitividade serrada e globalização, as empresas cada vez mais necessitam oferecer aos clientes produtos que satisfaçam às necessidades e que sejam *low cost* e tenha alta qualidade. No entanto, em prática, as empresas têm vindo a construir ambientes híbridos em que

se aproveitam de práticas de produção enxuta facilitados pela evolução da tecnologia da informação por algum tempo [1]. Entretanto, com o surgimento de uma economia globalizada e o aumento da competitividade em todo o mundo, atualmente as prioridades competitivas para o sucesso mudaram da eficiência para a inovação, a velocidade, o serviço, e a qualidade.

Portanto se faz necessário à utilização de diversas ferramentas que visam atingir a maior eficiência em seus processos produtivos, ou seja, é necessária a análise constante no processo produtivo (*shop floor*) e gestão da cadeia de fornecimento, a aplicação de estratégias competitivas, integração de fornecedores, produtores e distribuidores, com o objetivo de promover capacidade de resposta e flexibilidade na organização vis-à-vis os clientes (*supplychain*) [2]. Para o desenvolvimento de ideia de TQCM (*Total Quality Cost Manufacturing*) buscando a redução de custos máximas consequentemente resultados satisfatórios e que também esta relacionada à otimização do BWS (*Build Work Satandard*) como um todo.

Atualmente é indiscutível a importância de um ambiente adequado ao desenvolvimento do trabalho. O *layout* consiste na maneira como os homens, máquinas e equipamentos estão dispostos no processo produtivo [3]. Ou seja, um ambiente projetado e adaptado ao trabalhador de um modo a proporcionar às organizações já que eleva o nível de produtividade.

A principal ferramenta para esta pesquisa é o estudo de tempos (*cycle time* e *takt time*), que através de métodos estatísticos, poderá mensurar o tempo despendido em cada atividade. O estudo dos tempos e movimentos, além de permitir a racionalização dos métodos de trabalho do operário usando as práticas do *lean manufacturing*. A produção enxuta pode também ser considerado como um JIT estendida que partes envolvidas na cadeia de suprimentos, intrae inter-organização [4]. Também conta com inovações tecnológicas para automatizar algumas tarefas pertinentes ao processo. Com o processo automatizado podemos aumentar a eficiência da mão de obra, a qual poderá ser usada em simultâneo em duas, três ou até mais operações. Essa otimização tem grande contribuição e é de extrema importância na redução do custo da mão de obra direta usada no produto. Pois proporciona a redução do CWS (*costwork standard*) que consequentemente garante um *off set* no BWS, o qual é incluído no processo de cotação do produto.

II. ADMINISTRAÇÕES DA PRODUÇÃO

Com o passar dos tempos, algumas pessoas foram descobrindo habilidades na produção de produtos devido a necessidades das pessoas, e passaram a produzi-los conforme a solicitação e especificação dos “clientes”. A administração da produção é representada por um sistema aberto que interage com o ambiente, sistema este que é capaz de autorregulação e pode alcançar um mesmo objetivo a partir de diferentes caminhos, usando diferentes recursos [5]. Exerce um papel fundamental para o desenvolvimento das organizações, visando atender os objetivos organizacionais.

Em uma organização se faz necessário esse sistema que é de extrema importância, pois ele engloba um conjunto de partes inter-relacionadas como as operações que produz bens ou serviços, e mais os processos de transformação. Uma atividade de produção pode ser vista como modelo do tipo “*input - transformação-output*” [6]. As empresas formam um ciclo, onde precisam ter controle, estratégias, buscar constantes melhorias para resultados positivos em seus produtos. A gestão de produção possui conceitos essenciais para a sua evolução

chamados de eficiência e eficácia. Eficiência significa fazer algo ao custo mais baixo possível. Eficácia significa fazer a coisa certa para agregar o máximo de valor à empresa [7].

II.1 ESTUDOS DE TEMPOS E MÉTODOS

Atualmente, é um dos métodos mais amplamente utilizados para o planejamento e padronização do trabalho. O estudo de tempos é uma maneira que nos permite mesurar o trabalho por meio de métodos quantitativos, possibilitando o cálculo do tempo padrão [8]. Os principais impulsos para o desenvolvimento dos sistemas de tempos predeterminados partiram de Frederick W. Taylor e de Frank B. Gilbreth. O estudo de tempos teve seu início em 1881 na usina de *Midvale Steel Company*, Taylor foi seu principal introdutor [9]. Esta ferramenta é fundamental para as indústrias onde possibilita um leque de ganhos em sua produtividade.

O estudo de tempos exato obtém informações reais, analisando a produtividade e a qualidade de um processo produtivo, para isso se fez necessário a divisão e o estudo de cada operação levando em consideração cada movimento dos operários assim como se fez o anagrama de Gilbreth. Os Movimentos elementares (*therbligs*) permitem decompor e analisar qualquer tarefa [10]. Esses *therbligs* foram usados para estabelecer o tempo padrão de uma operação como Taylor o fez com seus elementos [11]. Conseguindo assim o melhor método de executar cada tarefa, para obter indicadores confiáveis.

II.2 CRONOANÁLISE E CRONOMETRAGEM

A cronoanálise vem do estudo de tempos e métodos, ela define parâmetros tabulados de várias formas, coerentemente, culminando no melhor planejamento e racionalização industrial [12]. É vista como uma ferramenta essencial na utilização de recursos de medição e melhoramento de operações produtivas.

A cronometragem que consiste em medir o tempo gasto durante a execução do trabalho, por pessoa treinada, e em corrigir esse tempo levando-se em conta o ritmo com que a operação foi executada [13]. Este é o acompanhamento feito em um ciclo de trabalho, onde é focado o preparar (ou carregar), fazer (ou posicionar), descarregar.

Em relação á didática da ferramenta cronometragem utiliza-se os seguintes equipamentos para mensurar o tempo de cada operação:

- Cronômetro
- Filmadora
- Prancheta de Observações
- Folha de Observações

O desenvolvimento adequado de uma cronometragem permitirá ao administrador definir sua capacidade real instalada e, assim, executar o planejamento e controle de produção (PCP), proporcionando assim o direcionamento correto dos recursos existentes na empresa e a disponibilidade dos equipamentos, afim de atender a demanda comercial existente no mercado [14]. A relevância do estudo mostra o quanto esta análise é importante para o desenvolvimento das organizações atuais em termos de competitividade principalmente, nos dias de hoje a busca é produzir mais, em menor custo, com alta

qualidade.

II.3 ARRANJOS FÍSICOS (LAYOUT)

A maneira de alocar as máquinas equipamentos para otimizar o fluxo de produção em uma fábrica denomina-se estudo de arranjo-físico industrial ou *layout* [15]. As mudanças refletem nas organizações diariamente, ter e propor a melhor estrutura aos clientes se tornou essencial nas tarefas das organizações.

Seu desafio é a locação relativa mais econômica e com menor número de condições inseguras das várias áreas da empresa ou, ainda, a melhor utilização do espaço disponível que resulta em um processo mais efetivo, pela menor distância, em menor tempo e nas condições mais seguras possíveis [16]. O arranjo físico é a base para as empresas evoluírem e por isso que deve haver uma compreensão de uma estrutura física um espaço onde pessoas e máquinas possam circular de forma racional, adequando a todos as melhores condições.

Um arranjo físico errôneo pode conduzir a padrões de fluxo excessivamente longos ou confusos, grandes estoques de materiais, filas e inconveniência para clientes, operações inflexíveis, altos custos, desperdício com movimentação de materiais e pessoas, entre outros [17]. Por isso é essencial uma estrutura definida para não haver nenhuma anormalidade nas organizações.

Os tipos de *layout* são usados de acordo com cada estrutura do ambiente organizacional. Os modelos destacam-se invariavelmente, define quatro ou cinco formas de se organizar um arranjo produtivo: arranjo por produto ou por linha; arranjo por processo ou funcional; arranjo celular; arranjo por posição fixa; arranjo misto.

O *layout*, ou arranjo físico é a parte mais visível e exposta de qualquer organização. O arranjo físico adequado proporciona para empresa maior economia e produtividade, com base na boa disposição dos instrumentos de trabalho e por meio da otimização do equipamento de trabalho e do fator humano alocado no sistema [18]. A necessidade de estudá-lo existe sempre que se pretende a implantação de uma nova fábrica ou unidade de serviços ou quando se estiver promovendo a reformulação de plantas industriais ou outras operações produtivas já em funcionamento.

II.4 CAPACIDADES DE PRODUÇÃO

As organizações precisam atender a demanda, para isso é fundamental determinar um nível ótimo de produção, com eficiência e eficácia em seus processos. A capacidade de produção é vista como a quantidade de produtos/ manufatura é capaz de produzir ao longo de um período específico [19]. Portanto se fazem necessários o controle e planejamento da capacidade produtiva. Outro conceito relevante no âmbito da capacidade de um sistema de produção é a eficiência da planta. A eficiência medida é a razão entre a capacidade de fato disponibilizada (Capacidade operacional) e a capacidade efetiva [20]. No entanto é preciso ter clareza nos objetivos que pretende alcançar.

A capacidade é a máxima produção (ou saída) de um empreendimento. Em outras palavras, capacidade pode ser explicada com o nível máximo de atividade de valor adicionado que pode ser conseguido, em condições normais de

operações e por um determinado período de tempo. Ou seja, é a ideia de valor máximo, capacidade estática, que cria uma estrutura de programação que tem o desafio de harmonizar, em todos os níveis o grau de capacidade produtiva com o nível de demanda a ser atendida com o menor custo possível.

A capacidade pode ser vista como:

- Capacidade Instalada – é a produção máxima que se pode produzir, em uma jornada de trabalho em regime *Full - Time*, ignorando qualquer possibilidades de perdas.
- Capacidades Disponíveis ou de Projeto - refere-se à capacidade máxima de um sistema produtivo numa jornada de trabalho sem considerar as perdas envolvidas.
- Capacidade Efetiva – é a capacidade disponível considerando-se as perdas planejadas, como os tempos de *setups*, manutenção preventiva, auditoria da qualidade, troca de turnos, intervalos de operações, etc.

O sistema de custos da organização é importante para o planejamento e controle das atividades da organização e auxilia na decisão do modo de fabricar, na melhoria dos processos e na eliminação de desperdícios. A análise custo \times lucro \times volume é muito utilizada nas organizações e permite estudar os relacionamentos que acontecem entre os custos incorridos, o volume de produção e o lucro aferido em um determinado período. O ponto de equilíbrio representa a quantidade de produtos vendidos para a qual os gastos se igualam às receitas. A margem de contribuição reflete o quanto cada unidade vendida contribui para a cobertura dos custos e despesas fixas de uma organização.

O desequilíbrio entre a capacidade e a demanda pode ter consequências econômicas desastrosas para a organização.

II.5 LEAN MANUFACTURING (MANUFATURA ENXUTA)

As origens do *Lean Manufacturing* remontam ao Sistema Toyota de Produção (também conhecido como Produção *Just in - time*). O executivo da Toyota Taiichi Ohno iniciou, na década de 50, a criação e implantação de um sistema cujo principal foco era a identificação e a posterior eliminação de desperdício, com o objetivo de reduzir custos e aumentar a qualidade e a velocidade de entrega do produto aos clientes [21]. Promover melhores condições de trabalho para o colaborador com o objetivo de tornar mais eficaz a realização das atividades necessária na construção de um produto, garantindo assim uma repetibilidade dentro de um padrão aceitável em relação ao *cycle time*.

A palavra "*lean*" refere-se a inclinar-se de fabricação ou produção enxuta, pois utiliza menos de tudo, em comparação com a massa produção. Ele utiliza apenas metade do esforço humano na fábrica, a metade do espaço de fabricação, a metade do tempo [22-23]. Garantir a implementação de um *layout* e fluxo de processo onde possa ser otimizado ao máximo o armazenamento e matéria prima, a movimentação e relocação do colaborador durante a realização das atividades de montagem, garantindo um tempo padrão na posição de trabalho.

Filosofia de produção enxutavisa reduzir os custos operacionais através da eliminação de resíduos *Waste* é tudo aquilo que não agrega valor ao produto ou serviços [24-25]. O

Lean manufacturing, são práticas que trabalham de maneira sinérgica para criar um sistema de alta qualidade de produtos no ritmo que o cliente deseja, sem desperdícios. O modelo de congruência argumenta que a organização formal de uma empresa oferece aos funcionários um meio de estruturar e coordenar suas atividades de trabalho objetivos estratégicos da empresa [26]. Fazer o mapeamento do processo (*Roadmap*) com objetivo de identificar os pontos fracos ou com potenciais de desperdício promover estudos de melhoria contínua para melhorar performance do produto.

Produção Enxuta (LP) tem sido adotado por empresas em vários setores industriais nas últimas décadas e estas empresas têm, posteriormente, mudado-separa a frente em sua implementação. Em muitos casos, isso permitiu-lhes melhorarem seus resultados e competitividade [27].

LP é uma filosofia de gestão baseado na contínua melhoria, o que exige o envolvimento e o comprometimento de todos na organização e fornece uma oportunidade de melhorar os resultados em termos de qualidade, custos e prazos de entrega [28-29]. Garantir a boa prática de auto avaliação e de forma constante focando na excelência em qualidade e processo de manufatura, seja através de treinamentos, inovações tecnológicas e de processo de 6Sigma ou Kaizen. Filosofia TPM (*Total Productive Maintenance*) centra-se na otimização de equipamentos e produtividade do processo, enquanto a manufatura enxuta abrange uma maior perspectiva, endereços na eliminação de resíduos (de trabalho, tempo, custo, inventário, etc) ao estabelecer orientada para o cliente [30-31]. Garantir a aplicação dos conceitos de MTBF (*mean time between failure*), MTTR (*mean time to repair*) para que seja possível realizar constantes revisões ao processo de manutenção preventiva e preditiva para evitar as quebras indesejáveis e minimizar os gastos relacionados as manutenções corretivas e paradas de produção.

III . APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A aplicação do modelo para a gestão da qualidade na empresa da indústria de Manaus, na região do polo automobilístico de , foi no período entre Fevereiro de 2014 como objetivos específicos, definidos como metas da direção da empresa:

- Reduzir 10% no retrabalho no produto - Indicador: % produto OK (FTQ- *First Time Quality*, que é o % de aprovação do produto na primeira vez, livre de retrabalho ou falha);
- Reduzir 15% de refugo - Indicador: % peças rejeitadas;
- Reduzir 10% no tempo gasto para solução de problemas - Indicador: Dias para solução do problema.
- A aplicação do estudo de caso foi desenvolvido com base nos principais pontos apresentados na *SWOT* e em três etapas: revisão na estrutura organizacional, análise no controle do processo produtivo e desenvolvimento de uma sistemática de solução de problemas, que estão resumidos a seguir.
- Estrutura Organizacional da Qualidade: Planejamento, Controle e Melhoria da Qualidade.
- Controle de Processo Produtivo – Revisar o *Layout* do processo produtivo para adequar as estações de verificação, bem como revisão na Documentação: Trabalho Padronizado,

Padrão de Qualidade do Produto e Sistema de Gestão à Vista.

- Solução de Problemas – Rever práticas e o processo da análise de problema: Diagrama de Causa e Efeito, Histograma e Comunicação de Problema.

III.1 PLANEJAMENTO DO *LEAN MANUFACTURING* NA EMPRESA

A palavra "*lean*" refere-se à produção enxuta *manufacturing* magra como ele usa menos de tudo, em comparação com a produção em massa. Ele só usa metade do esforço humano na fábrica, metade do espaço de produção, metade do investimento em ferramentas e metade das horas de engenharia para desenvolver um novo produto na metade do tempo. Foi feita uma revisão na estrutura organizacional considerando três principais áreas: Planejamento, Controle e Melhoria Contínua (KAISEN), e avaliada a descrição das atividades de cada área, os papéis e responsabilidades, as competências básicas e um plano de treinamento foi desenvolvido para os empregados da área de Gestão da Qualidade. As pessoas foram comunicadas e para participarem com as suas idéias e sugestões que pudessem contribuir para melhor resultados do que estava sendo proposto, ao mesmo tempo em que se buscava, com isso, obter maior comprometimento de todos. A estrutura de Manufatura foi revisada de tal maneira que a Operação Produtiva pudesse ter todo o suporte necessário para produzir, buscando-se a visão: "Faça certo da Primeira Vez". A área de Engenharia de Produção foi reestruturada para que tivesse expertise de Qualidade do produto e trabalhasse com a área de Qualidade na solução de problemas.

III.2 VISÃO GERAL DO PROCESSO

Dentro deste contexto, a pesquisa focou na realização de um estudo de tempos e métodos, tomando como base uma linha de produção de Auto Rádio, essa empresa foi fundada em 1999 na Cidade de Manaus. A mesma foi escolhida por estar localizada em uma área onde oferecem incentivos fiscais para esse tipo de produto e porque tende a ter um custo logístico muito alto caso não seja cumprido o *lead time e transit time* corretamente. Assim, busca-se com esta pesquisa analisar o processo produtivo corrente da empresa, localizando falhas de desempenho e identificando oportunidade de aperfeiçoamento. O processo produtivo dos Rádios em questão é complexo. Há todo o suporte logístico, principalmente por nos encontrarmos no PIM, isso gera um modal de trabalho diferente em comparação a outros sítios. O processo produtivo é dividido em três partes, SMD que é a área de montagem e inserção de componentes eletrônicos, Bezel que é a área de montagem do dispositivo no qual haverá interação com o cliente final e a parte da montagem do rádio com a placa de circuito impressa feita no SMD. Devido à necessidade de incentivos fiscais, todas as operações de montagem necessitam de operadores, pois há pouca automação da linha de produção. Na figura 02, temos o *layout* atual, com as linhas de montagem de rádio dependentes das linhas de Bezel, pois o Bezel alimenta o sistema de produção do rádio, gerando desta forma um conjunto que é o produto final.

III.3ANÁLISES DE DADOS

Para realizar a análise de dados, fizemos a medição de 1 hora em cada operação, verificando desta forma o FTT de cada operação. Assim, utilizando um formulário interno da empresa para demonstrar via gráfico e tabela os gargalos da linha de produção. Temos a análise Teórica, que é o

aproveitamento de 100% da operação e a análise Técnica, no qual utilizamos uma taxa de 95% da capacidade teórica. Realizando o levantamento das operações, utilizando com referência o Plano de controle do produto, temos o gargalo identificado da linha, que mostre nosso cenário é o *Test Bluetooth*, conforme mostra a figura 1.

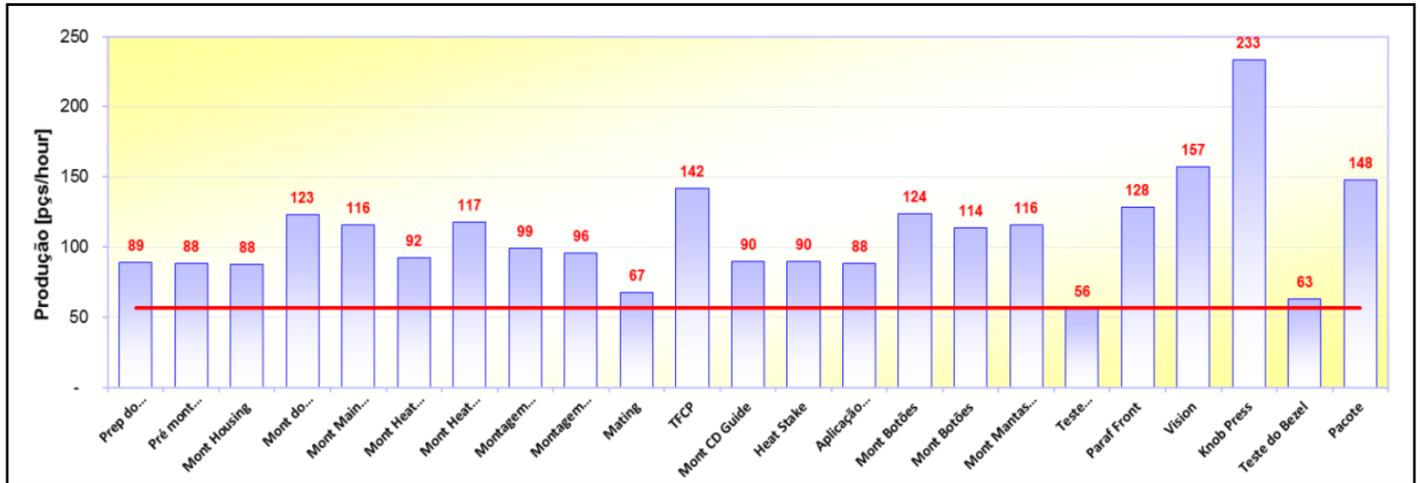


Figura 1. Identificação do Gargalo.

Esta etapa é vital para a performance funcional do rádio, pois tem um impacto direto sobre a qualidade final do produto. Caso ela não seja realizada de forma adequada, o produto será rejeitado na inspeção de qualidade realizada em

offline e terá que retornar para o processo inicial da linha de montagem. Na figura 2, pode-se ver o *layout* da linha para melhor entendimento.

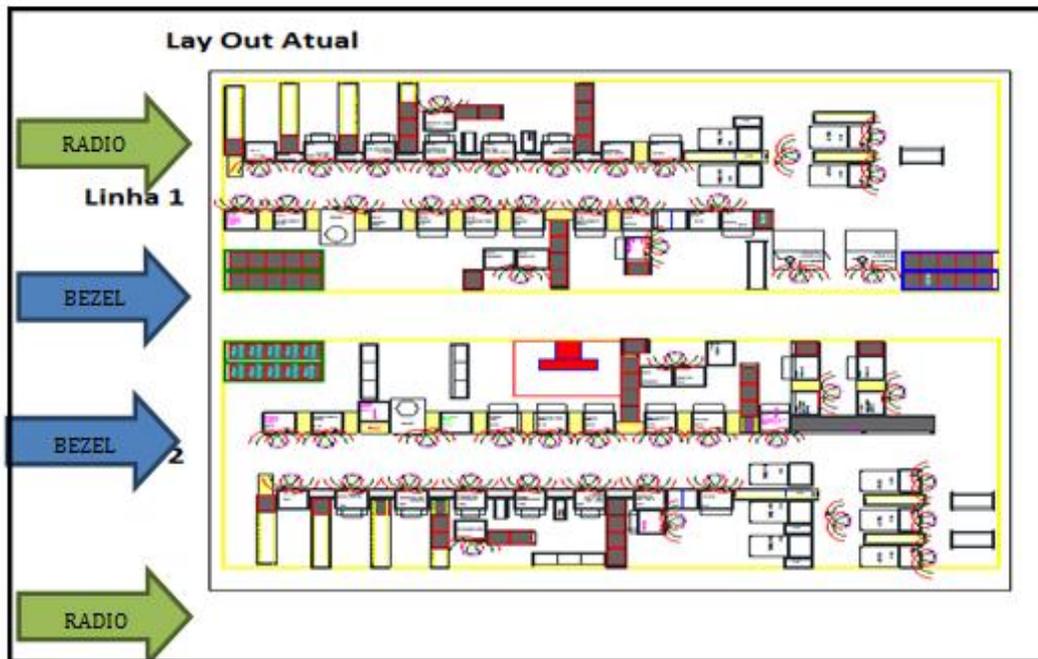


Figura 2. Layout Atual.

Utilizando os procedimentos e técnicas, estudo de tempos e métodos realizado na linha de produção dos Rádios VW, operação de trabalho por operação, temos a seguinte

capacidade produtiva de cada operação, utilizando a fórmula a seguir: onde, C = Capacidade Horária de Produção e T= Tempo de ciclo de teste em segundos.

sendo que atualmente temos duas linhas independentes, conforme a figura 02, a capacidade produtiva da linha 01 é referenciada pela Tabela 1 e a capacidade

produtiva da linha 2 é referenciada pela Tabela 1.

Tabela 1- Capacidade Produtiva da Linha 1.

OPERAÇÃO	EQUIPAMENT O	QTY DE PESSOAS	TEMPO PADRÃO		FATOR		CAPACIDADE TECNICA	CAPACIDADE TEÓRICA		
			MÁQUINA	MANUSEIO	OBJETIV	ATUAL				
#OP10	Prep do Housing	1	2		38,504	38,504	95%	60%	93	89
#OP15	Pré mont (tampa)	1	2		38,846	38,846	95%	61%	93	88
#OP20	Mont Housing	1	2		39,000	39,000	95%	61%	92	88
#OP30	Mont do Mecanismo	1	2		27,800	27,800	95%	43%	129	123
#OP40	Mont Main no Housing	1	2		29,600	29,600	95%	46%	122	116
#OP50	Mont Heat Sink/Antena Traseira	1	2		37,000	37,000	95%	58%	97	92
#OP60	Mont Heat Sink lateral/Molas	1	2		27,600	27,600	90%	43%	130	117
#OP70	Montagem Bezel/Housing	1	2		34,500	34,500	95%	54%	104	99
#OP80	Montagem Tampa Sup	1	2		35,800	35,800	95%	56%	101	96
#OP90	Mating	2	1	101,600		101,600	95%	79%	71	67
#OP190	TFCP	2	2	48,200		48,200	95%	38%	149	142
#OP110	Mont CD Guide	1	2		38,170	38,170	95%	60%	94	90
#OP120	Heat Stake	1	2		38,170	38,170	95%	60%	94	90
#OP125	Aplicação Graxa	1	1		38,875	38,875	95%	61%	93	88
#OP130	Mont Botões	1	2		27,600	27,600	95%	43%	130	124
#OP140	Mont Botões	1	1		30,000	30,000	95%	47%	120	114
#OP150	Mont Mantas e Microfone	1	2		29,473	29,473	95%	46%	122	116
#OP155	Teste Bluetooth	1	1		60,800	60,800	95%	95%	59	56
#OP160	Paraf Front	1	2		26,667	26,667	95%	42%	135	128
#OP165	Vision	1	2		21,800	21,800	95%	34%	165	157
#OP180	Knob Press	1	1		14,667	14,667	95%	23%	245	233
#OP185	Teste do Bezel	1	2	54,600		54,600	95%	85%	66	63
#OP200	Pacote	1	1		24,349	24,349	100%	38%	148	148
TOTAL:		25	40		#OP155		95,0%		59	56

Somando a capacidade produtiva, utilizando os gargalos como referência, temos uma capacidade de 155 rádios por hora, Op. 90 da linha 01 mais Op. 20 da linha 02. Observando que, na mesma montagem temos a produção de

um subconjunto que é fornecido pelo próprio processo produtivo, essa sub montagem é da Operação 110 até a Operação 185, então a capacidade produtiva real a ser considerada será entre a Operação 10 e Operação 190.

Tabela 2- Capacidade Produtiva da linha 2.

OPERAÇÃO	EQUIPAMENTO	QTY DE PESSOAS	TEMPO PADRÃO		FATOR		CAPACIDADE TECNICA	CAPACIDADE TEÓRICA		
			MÁQUINA	MANUSEI	OBJETIVO	ATUAL				
#OP10	Prep do Housing	1	2		38,504	38,504	95%	94%	93	89
#OP15	Pré mont (tampa)	1	2		38,846	38,846	95%	95%	93	88
#OP20	Mont Housing	1	2		39,000	39,000	95%	95%	92	88
#OP30	Mont do Mecanismo	1	2		27,800	27,800	95%	68%	129	123
#OP40	Mont Main no Housing	1	2		29,600	29,600	95%	72%	122	116
#OP50	Mont Heat Sink/Antena Traseira	1	2		37,000	37,000	95%	90%	97	92
#OP60	Mont Heat Sink lateral/Molas	1	2		27,600	27,600	90%	67%	130	117
#OP70	Montagem Bezel/Housing	1	2		34,500	34,500	95%	84%	104	99
#OP80	Montagem Tampa Sup	1	2		35,800	35,800	95%	87%	101	96
#OP90	Mating	3	1	101,600		101,600	95%	82%	106	101
#OP190	TFCP	3	2	48,200		48,200	95%	39%	224	213
#OP110	Mont CD Guide	1	2		38,170	38,170	95%	93%	94	90
#OP120	Heat Stake	1	2		38,170	38,170	95%	93%	94	90
#OP125	Aplicação Graxa	1	1		38,875	38,875	95%	95%	93	88
#OP130	Mont Botões	1	2		27,600	27,600	95%	67%	130	124
#OP140	Mont Botões	1	1		30,000	30,000	95%	73%	120	114
#OP150	Mont Mantas e Microfone	1	2		29,473	29,473	95%	72%	122	116
#OP155	Teste Bluetooth	2	1		60,800	60,800	95%	74%	118	113
#OP160	Paraf Front	1	2		26,667	26,667	95%	65%	135	128
#OP165	Vision	1	2		21,800	21,800	95%	53%	165	157
#OP180	Knob Press	1	1		14,667	14,667	95%	36%	245	233
#OP185	Teste do Bezel	2	2	54,600		54,600	95%	67%	132	125
#OP200	Pacote	1	1		24,349	24,349	100%	59%	148	148
TOTAL:		29	40		#OP20		95,0%		92	88

Separando as linhas de processo entre linha de rádio (Operação 10 até a Operação 190) e linha de Bezel (Operação 110 até a Operação 185), temos o seguinte layout, figura 03. Neste conceito a demanda para produção em 2 Turnos são de 38 operados, contra 44 operadores utilizados no conceito anterior, gerando um ganho de aproximadamente 156.000,00 Reais em custo anuais de salários com o operadores.

$$E = S * H \quad (1)$$

Onde,

E = Economia anual de Salários.

S = Salário Anual

H= Quantidade individual de mão de obra.

$$S = 12,28 * D \quad (2)$$

Onde,

D= 176 horas mensais * 12 meses

12,28 = Constante de valor mão de obra horário por operador em reais.

IV. RESULTADOS OBTIDOS

Com o novo *layout*, temos as linhas de Bezel independentes da linha de rádio, visto na análise de dados que a capacidade produtiva do Bezel é maior que a do rádio, tem a possibilidade de trabalharmos com o *buffer* de peças, assim reduzimos a necessidade de mão de obra. Isso é evidenciado, pois anteriormente na linha de rádio tínhamos na linha 2 com 3 testadores e a linha 1 com 2 testadores, mas a quantidade de operações anteriores eram as mesmas, ou seja, tínhamos uma deficiência na capacidade operacional, o que foi ajustado com a união das linhas. Detalhando o desempenho da linha no

Assim têm-se,

$$E = 155.612,16 \text{ BRL}$$

conceito anterior, antes dos testadores tínhamos todas as operações com uma capacidade de 90 peças por hora em média, mas como linha 1 só tinham 2 testadores, o desempenho da linha era de 60 peças por hora (capacidade máxima do equipamento) devido ao gargalo ser o que define a capacidade da linha. Assim, tínhamos um *déficit* de desempenho de 30 Radio por hora na linha 1 devido à falta de um equipamento.

Com a união das linhas de rádio, conforme figura 3, e realizando o estudo de tempos, a capacidade da linha foi a 168 peças por hora, alterando o gargalo da linha para os testadores finais, tabela 3.

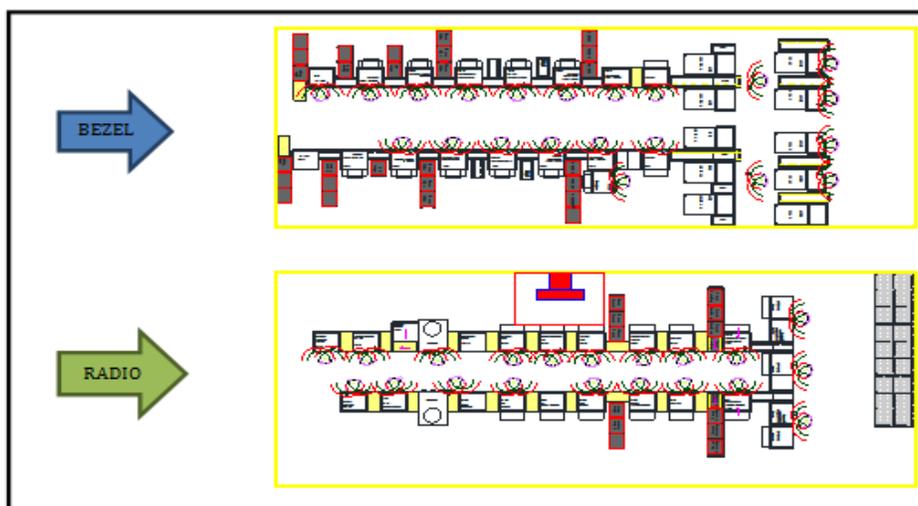


Figura 3. Linha de produção após alterações.

Analisando os dados coletados, temos a seguinte capacidade produtiva da linha de Processo dos Radio VW, apresentados na tabela 4.

Tabela 4. Produtiva Final.

OPERAÇÃO	EQUIPAMENTO	QTY DE PESSOAS	TEMPO PADRÃO		FATOR		CAPACIDADE TECNICA	CAPACIDADE TEÓRICA	
			MÁQUINA	MANUSEIO	OBJETIVO	ATUAL			
#OP10	Prep do Housing	2	2	38,504	38,504	95%	90%	187	178
#OP15	Pré mont (tampa)	2	2	38,846	38,846	95%	91%	185	176
#OP20	Mont Housing	2	2	39,000	39,000	95%	91%	185	175
#OP30	Mont do Mecanismo	2	2	27,800	27,800	95%	65%	259	246
#OP40	Mont Main no Housing	2	2	29,600	29,600	95%	69%	243	231
#OP50	Mont Heat Sink/Antena Traseira	2	2	37,000	37,000	95%	86%	195	185
#OP60	Mont Heat Sink lateral/Molas	2	2	27,600	27,600	90%	65%	261	235
#OP70	Montagem Bezel/Housing	2	2	34,500	34,500	95%	81%	209	198
#OP80	Montagem Tampa Sup	2	2	35,800	35,800	95%	84%	201	191
#OP90	Mating	5	1	101,600	101,600	95%	95%	177	168
#OP190	TFCP	5	2	48,200	48,200	95%	45%	373	355
#OP110	Mont CD Guide	2	2	38,170	38,170	95%	89%	189	179
#OP120	Heat Stake	2	2	38,170	38,170	95%	89%	189	179
#OP125	Aplicação Graxa	2	1	38,875	38,875	95%	91%	185	176
#OP130	Mont Botões	2	2	27,600	27,600	95%	65%	261	248
#OP140	Mont Botões	2	1	30,000	30,000	95%	70%	240	228
#OP150	Mont Mantas e Microfone	2	2	29,473	29,473	95%	69%	244	232
#OP155	Teste Bluetooth	3	1	60,800	60,800	95%	95%	178	169
#OP160	Paraf Front	2	2	26,667	26,667	95%	62%	270	256
#OP165	Vision	2	2	21,800	21,800	95%	51%	330	314
#OP180	Knob Press	2	1	14,667	14,667	95%	34%	491	466
#OP185	Teste do Bezel	3	2	54,600	54,600	95%	85%	198	188
#OP200	Pacote	4	1	24,349	24,349	100%	28%	591	591
TOTAL:		56	40		#OP90		95,0%	177	168

Observando que o gargalo agora é a Operação 90, no qual é o último equipamento do Processo, sendo assim, a linha está balanceada e com um aumento de desempenho de 8% e

redução de 14% do efetivo operacional. Com isso temos o resultado representado na Tabela 5.

Tabela 5. Comparação de Capacidade antes e *pós-layout* proposto.

Modelo	Layout Atual	Layout Proposto
1Din L#1	67	168
1Din L#2	88	
Total	155	
Capacidade 2º Turno	2592	2809
Ganho		8%

Como podemos perceber o processo produtivo obteve um ganho de produtividade, gerando uma performance de otimização nos processos, trabalhando assim com ritmo produção enxuta.

V. CONCLUSÕES

Esta pesquisa é direcionada para a análise crítica da performance produtiva de uma linha de produção de auto radio, onde será necessário realizar as medições de *cycle time* para obter o tempo padrão de cada operação e que poderá evidenciar a operação gargalo que esta penalizando o *takt time* da montagem do produto.

Focando no conceito de *lean manufacturing* para desenvolver um *layout* onde possa estabelecer novos objetivos de produção hora e um melhor balanceamento entre as operações. Dentre as dificuldades encontradas ao longo da pesquisa, podem-se ressaltar as relações interpessoais entre os colaboradores, uma vez que a mudança física do setor em questão com as alterações de *layout* para a melhoria de produtividade e otimização do tempo de produção com ganhos financeiros que e o que esta pesquisa busca.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Klingenberg J. Riezebos, W. e Hicks C, **Lean Production and information technology: connection or contradiction?** Computers in Industry 60 (2009)237–247.
- [2] Cohen, M., Kleindorfer, P.R., Lee, H.L., 2006. **Optimal stocking policies for low usage items in multi-echelon inventory systems.** Nav. Res. Logist. Q. 33 (1), 17–38.
- [3] Toledo JR, Itys-Fides Bueno **DE.LAYOUT- Arranjo Físico.** São Paulo: Itys Fides 9ªed. 2007.
- [4] Enkawa, t. And Schvaneveldt, s.j. (2001). **Just-in-time, lean production, and complementary paradigms, in salvendy, g.** (ed.), handbook of industrial engineering, 3rd ed., wiley, new york, ny, pp. 554-61.
- [5] Muniz Junior etc .al. **Administração da Produção.** Curitiba ,2012.

[6] Alves Fusco, José Benedito Sacomano, Fabio Alves Barbosa, Walter Azzolin. **Administração de Sistemas de Produção.** São Paulo: arte e ciência. 2003.

[7] Jacobs Robert e Chase Richard B. **Administração da Produção e de Operações,** São Paulo, 2009.

[8] Peinado, J & Graeml, A.R..**Administração da Produção: operações industriais e de serviços.**curitiba: unicenp,2012.

[9] Barnes, R.M. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho.** São Paulo: Edgard Blücher 1977.

[10] Chiavenato, Idalberto, **Administração Geral e Pública.** Rio de Janeiro: Elsevier,2006.

[11] Borba, Mirna de et. al. **Comparação dos métodos de análise de tempos pré-determinados.** Porto Alegre, 2008 .

[12] Toledo, I.F.B. **Tempos & Métodos.** São Paulo 8º ed. Assessoria Escola Editora, 2004.

[13] Alves Fusco, Sacomano José Benedito, Barbosa Fábio Alves, Walter Azzolin. **Administração de Sistemas de Produção.** São Paulo: arte e ciência. 2003.

[14] Marques Wagner Luiz. **Diário de um empreendedor.** Paraná, 2007.

[15] Filhos Paranhos. **Administração da produção.** São Paulo. Ed. Saraiva. 2007.

[16] Campos, Armando. **Prevenção e controle de riscos em máquinas e equipamentos.** São Paulo. 2006.

[17] Rebelato Daisy. **Projeto de investimento.** Barueri. São Paulo. 2004.

[18] Marques, Wagner Luiz. **Análise de Custos.** São Paulo. Ed. Campus. Porto Alegre. 1994.

[19] Neuann, Clovis. **Gestão de sistemas de produção e operação.** Ed. Guanabara. Rio de Janeiro. 2013.

- [20] Lustosa Leonardo. **Planejamento e Controle de Produção**. Rio de Janeiro, 2008.
- [21] Wekerma, Maria Cristina Catarino. **Introdução as ferramentas do leanmanufacturing**. Belo Horizonte, 2006.
- [22] Womack, Jamesp., Jones, Danielt., Roos, D., **The machine that changed the world**: based on the Massachusetts Institute of Technology 5-million dollar 5-year study on the future of the automobile, scribner; 1990.
- [23] Rao, K., **Becoming lean**: inside stories of us manufacturers, monthly labor review, 1999; 122.
- [24] Womack, J., Jones, D. (1996), **lean thinking**: banish waste and create wealth in your corporation, Simon & Schuster, New York, NY.
- [25] Mondem, Y., (1983) **Toyota production systems practical approach to production management**, Industrial Engineering and Management Press, Atlanta, GA.
- [26] Wyman, O. (2003). **The congruence model**: a roadmap for understanding organizational performance. Delta organization & leadership, 1–15. zayko, m., & hancock, w. M. (1998). Implementing Lean Manufacturing at Gelman Sciences, inc.in J. K. Liker (ed.), **Becoming lean: inside stories ofu**. S. Manufacturers (pp. 246–301). Portland, or: Productivity Press.
- [27] Moyano-Fuentes, J., Sacristán-Díaz, M., 2012. **Learning on lean: areview of thinking and research**. International journal of operations& production management 32 (5), 551---582.
- [28] Womack, J.P. Jones, S.T. 1996. **Lean thinking: banish waste andcreate wealth in your corporation**. Simon and Schuster, New York.
- [29] Moyano-Fuentes, J., Sacristán-Díaz, M., Martínez-Jurado, P.J,2012. **Cooperation in the supply chain and lean production adoption**: evidence from the spanish automotive industry. International journal of operations & production management 32 (9),1075---1096.
- [30] Thomas, A., Barton,R., Byrad, P. (2008). **Developing a six sigma maintenance model**. Journal of quality in maintenance engineering, vol. 14 no. 3, 2008,p. 262-271.
- [31] Mckune, K.E., Schroeder, R.G., Cua, K.O., (1999). **Total productive maintenance**: a contextual view, Journal of operations management, vol .17. pp 123-144.



Pine wood drying at high temperatures

Mario Matiauda¹, Juan B. de León Benítez², Nora Freaza², Marta Rivero¹

¹Universidad Nacional de Misiones, Posadas, Argentina

²Facultad de Química Farmacia. Universidad Central de Las Villas; Carretera a Camajuaní km 5 y ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. *Correspondencia autores: J.B. de León: Tel. 05342281458;

*juanba@uclv.edu.cu, matiauda@fceqyn.unam.edu.ar, nfreaz@yahoo.com.ar, rivero@fceqyn.unam.edu.ar

ABSTRACT

The paper proposes a model to simulate the drying of pine wood at elevated temperatures, considering the phenomena of heat transfer and mass involved in the operation, establishing a comparison with experimental results, with the determination of the evolution of the moisture content and temperature in the wood, from the numerical resolution of the differential model.

Keywords: drying, model, Wood.

Secado de madera pino a temperaturas elevadas

RESUMO

El trabajo propone un modelo que simula el secado de madera de pino a temperaturas elevadas, considerando los fenómenos de transferencia de calor y masa intervinientes en la operación, estableciendo su comparación con los resultados experimentales, con la determinación de la evolución del contenido de humedad y temperatura en la madera, a partir de la resolución numérica del modelo diferencial.

Palabras claves: secado, modelo, madera.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, se han desarrollado diversos modelos matemáticos buscando representar el secado de madera a altas temperaturas.

Condujeron sus investigaciones del secado a altas temperaturas en maderas blandas y duras en un amplio rango de condiciones externas del flujo de aire húmedo y vapor sobrecalentado, basando su desarrollo en el análisis de la transferencia de calor y masa de los tres períodos de secado [1]. Pang⁽²⁾ estudió la influencia del flujo convectivo de vapor de humedad y su predominancia sobre el flujo difusivo [2]. Efectuó un modelo de simulación del secado de albura de madera blanda, prestando particular consideración al gradiente de humedad desarrollado durante el secado [3]. Desarrollaron la simulación y control del proceso de secado en madera, asumiendo un modelo interno con cuatro períodos de secado junto a sus ecuaciones de modelización matemática [4]. Idearon modelos numéricos 2D

para predecir la transferencia de calor y masa durante el secado convectivo [5-6-7].

En el presente trabajo se plantea como objetivo la formulación de un modelo de secado a altas temperaturas para madera de pino elliottii.

II. DESARROLLO

II.1 ECUACIONES QUE GOBIERNAN LA TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA DURANTE EL SECADO

Las ecuaciones básicas para los fenómenos de transporte producidas por fuerzas termodinámicas:

$$\frac{\rho_s \partial X_i}{\partial t} = - \operatorname{div} J_i + I_i \quad (1)$$

Donde

i = fases vapor, líquido, gas o hielo

ρ_s = densidad del sólido seco
(kg ss/m³)

X = contenido de humedad en base seca (kg agua/kg ss)

t = tiempo (s)

div = vector divergencia

J_i = densidad de flujo másico
(kg/m²s)

I_i = fuentes o sumideros másicos de la fase i debido a la transición de fase

$$\sum_i I_{i=0} \text{ (kg/m}^3\text{s)}$$

Cuando se utiliza la ecuación (1) se supone que la contracción es despreciable por la pérdida de masa. La temperatura de la matriz del sólido puede considerarse igual en cualquier fase del material, o sea que el vapor en los capilares está en equilibrio termodinámico con el líquido.

Para la transferencia de calor, se tiene la ecuación conservativa :

$$\frac{c\rho_s\partial T}{\partial t} = -\text{div } q + \sum_i h_i I_i \quad (2)$$

Siendo:

c = calor específico húmedo (J/kg°C)

h_i = entalpía (J/kg)

T = temperatura (°C)

q = densidad de flujo de calor (J/m²s)

Para temperaturas 0°C, $X_{hielo} = 0$

Al no existir conversión química del gas inerte ($I_g = 0$) y para temperaturas sobre 0°C, las conversiones de fase corresponden a la transición de líquido en vapor ($I_l = -I_v$).

Llevando X a la ecuación (1), esta dará:

$$\frac{\rho_s\partial X}{\partial t} = \sum_i \text{div } J_i = \text{div } J_m \quad (3)$$

De las ecuaciones (1) y (2) y usando la ecuación de calor de Fourier se obtienen las ecuaciones de transferencia de calor y masa., que presentarán formas particulares según situaciones especiales que se consideren en el modelado y sus supuestos.

Suponiendo que no existe gradiente de presión total en el sólido, si la humedad y temperatura se toman como potenciales de la transferencia de masa y calor y si se consideran que los flujos están linealmente relacionados con las fuerzas termodinámicas, se tendrá para difusión no isotérmica:

$$J_i = -D_i\rho_s\nabla X_i + D_i\rho_s\delta_i\nabla T \quad (4)$$

Entonces

$$J_m = \sum_i J_i = D\rho_s\nabla X + D\rho_s\delta\nabla T \quad (5)$$

Siendo

D = difusividad (m²/s)

δ = coeficiente termogradiante (°C⁻¹)

Debe aclararse que la transferencia de calor depende tanto de la conducción térmica como de la redistribución de masa (efecto Dufour) y que la transferencia de masa queda determinada por las diferencias en concentración de material como de la termodifusión (efecto Soret), pero se pueden considerar a las contribuciones cruzadas con coeficientes fenomenológicos (conductividades) idénticos.

En los procesos transitorios la fuente de masa de vapor o sumidero de líquido se expresan por:

$$I_{vl} = -I_{lv} = \epsilon\rho_s\frac{\partial X}{\partial t} \quad (6)$$

Siendo

ϵ = factor de conversión de fase

Si las propiedades termodinámicas y difusividades de masa y térmica se toman independientes de las coordenadas del sólido, quedará para T y X :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D_t\nabla^2 T + \frac{\epsilon\lambda}{c}\frac{\partial X}{\partial t} \quad (7)$$

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D\nabla^2 X + D\delta\nabla^2 T \quad (8)$$

donde

λ = calor latente (J/kg)

D_t = difusividad térmica (m²/s)

está basado en las diferencias en X .

En el desarrollo se ha despreciado el efecto Dufour en la formulación del flujo de calor.

II.2 MODELO DE PARÁMETROS DISTRIBUIDOS

Este modelo incluye la evaluación de la distribución de contenido de humedad y temperatura del material que se seca, es decir que se ponderan valores locales, lo que conlleva a evaluar las conductividades en la transferencia de calor y masa durante la operación y en una dirección (espesor).

Justamente como las propiedades de transporte irán variando con el contenido de humedad y temperatura en el tiempo y espesor, la resolución del sistema diferencial parcial (7,8) implicará la adopción de una técnica numérica para su resolución y expresión de resultados.

Se plantean las ecuaciones en diferencias finitas explícitas para la transferencia de calor y masa durante el secado, bajo la consideración unidimensional en la dirección del espesor (z), de modo que las derivadas espaciales y temporales (unidimensionales) se expresan por:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \Delta \left(\frac{\partial j_v}{\partial x} \right) \right] \frac{1}{c_p \rho_s} \quad (9. a)$$

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{1}{\rho_s} \frac{\partial j}{\partial x} \quad (10 a)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \cong \frac{T'_{i+1} - 2T'_i + T'_{i-1}}{\Delta x^2} + 0(\Delta x^{-2}) \quad (10 b)$$

Dado que el sistema en derivadas parciales es de segundo orden con dos variables, se hace necesario la definición de dos condiciones iniciales (para el contenido de humedad y la temperatura) como dos condiciones de frontera (tipo Robin), donde los flujos se expresan por:

$$J_q = h(T_a - T_s) \quad (11.a)$$

$$J_m = K_c (Y_a - Y_s) \quad (11.b)$$

siendo J_q y J_m los respectivos flujos, T_a y T_s las temperaturas del aire y de la superficie de la madera respectivamente, con Y_a, Y_s humedad en equilibrio con la humedad del sólido en la superficie e Y_a humedad del aire respectivamente; K_c coeficiente externo de transferencia de masa.

La malla se divide en nodos igualmente espaciados en la dirección del espesor (z), considerándose dominante esta dirección y simetría en las dos mitades del espesor; es decir que se plantean las ecuaciones para uno nodo exterior, nodos internos y un nodo central.

Entre las suposiciones se incluyen :la transferencia de calor y masa es unidimensional (espesor del material) y la forma geométrica corresponde a una placa plana, el material poroso es macroscópicamente homogéneo, despreciándose los efectos de contracción en la desorción; el equilibrio de fases y térmico local se da en toda situación, con idénticas temperaturas en las tres fases. Si existen agua líquida, vapor y agua adsorbida, ellas permanecen saturadas a la temperatura local; no existe gradiente de presión total en el cuerpo durante el secado.

Además, la migración de líquido a través del esqueleto sólido se da por difusión, con la difusividad como función del contenido de humedad y la temperatura; las condiciones externas

bajo las cuales evoluciona el secado permanecen constantes, pudiendo el secado plantearse en términos de dos períodos diferenciados: uno inicial con velocidad de evaporación constante comportándose como una superficie líquida libre y otro por debajo del contenido de humedad crítica (con cese de la capilaridad) con velocidad de evaporación decreciente.

En el caso del período de velocidad constante, la temperatura de la superficie de secado se asimila a la temperatura de bulbo húmedo de manera que el flujo de calor será proporcional a las diferencias de temperaturas del fluido y la superficie, y el coeficiente de transferencia de calor. Para el flujo másico se considera que es proporcional al coeficiente de transferencia de masa por las diferencias de humedad del aire y del aire saturado a la temperatura húmeda.

Los coeficientes de transferencia de calor y masa del lado del aire pueden considerarse constantes durante el proceso global de secado, bajo las condiciones externas de secado, y se encuentran relacionados por la analogía de Chilton–Colburn para el modelo de placa plana, a través de los números adimensionales Pr (Prandtl), Sc (Schmidt) y St (Stanton).

Respecto a otras propiedades, la conductividad térmica y la densidad del material se consideran funciones del contenido de humedad del mismo, la capacidad calorífica dependiente del contenido de humedad y la temperatura y el contenido entálpico variando con la temperatura.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

III.1 MATERIALES

Se empleó madera de pino *elliottii* proveniente de una misma plantación, de quince años de edad.

El aserrado se realizó en estado verde en establecimiento de la zona y posterior reaserrado para lograr las dimensiones de las muestras de estudio.

Las probetas de 100 x 300 mm, espesor variable en 40 y 25 mm, fueron colocadas en bolsas de polietileno impermeables durante cuatro días en busca de homogeneizar el contenido de humedad.

III.2 MÉTODO

En las pruebas de secado, según las temperaturas elegidas, se dispusieron en la forma indicada en la figura 1:

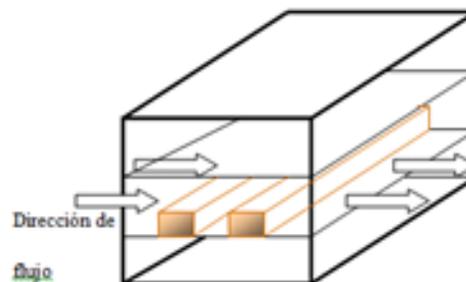


Figura 1: Testes de secagem, de acordo com as temperaturas escolhidas.

Las probetas fueron cubiertas con pintura especial aluminizada para altas temperaturas para su aislación a la pérdida de humedad en sus direcciones longitudinal y ancho, posteriormente en los mismos sentidos con un marco de madera aislante (de alma de lana de vidrio) de 2,5 cm de espesor para evitar las pérdidas de calor (figura 2).

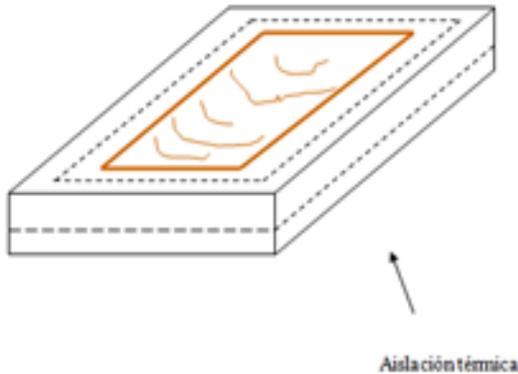


Figura 2: Con un marco de madera aislante (de alma de lana de vidrio) de 2,5 cm de espesor para evitar las pérdidas de calor.

III.3 EQUIPAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE MEDIDA

El material de estudio fue ubicado en el secadero túnel de la planta piloto de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, de (0,35 x 0,35 m) de sección, provisto de registro de temperatura seca y temperatura húmeda a través de termómetros de mercurio calibrados con una exactitud de 0,5°C. La velocidad del aire en la grilla se midió con anemómetro de hilo caliente portátil.

El registro de temperaturas dentro del material se efectuó mediante termocuplas de cromelalumel (tipo K), de 0,5 mm de diámetro, recubiertas con teflón, que van a un indicador digital de cinco canales M-5019K5, rango de medición 0- 999 C, precisión 0,3C, dotado de amplificadores de bajo corrimiento térmico y corrección de temperatura por junta fría, multiplexada y convertida a palabra de datos en 13 bits. El indicador se conecta a la PC para la adquisición de datos vía RS232 optoaislada.

La circulación del aire de secado, forzada, por medio de un electro ventilador con una potencia instalada de 2 CV, a 1400 rpm, de tipo centrífugo.

La calefacción del secadero se logra a través de una batería de resistencias de 15,22, 4,6 y 14 A comandadas a través de tablero central con interruptores para tal fin. Las pesadas de la muestra se efectuaron con balanza de precisión y tolerancia de 10^{-2} gr.

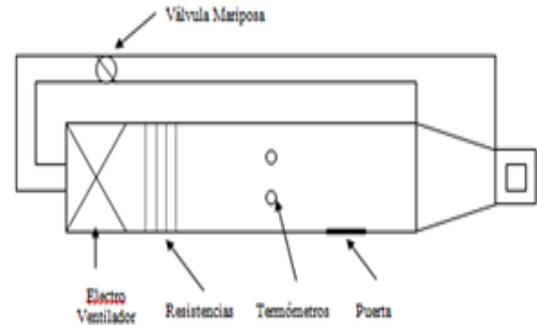


Figura 3: Vista en planta secadero.

III.4 PROCEDIMIENTO

Una vez que las muestras fueron aisladas para reducir las pérdidas a la dirección radial y con el secadero en régimen a las temperaturas establecidas según la cédula de secado, se dispusieron las muestras en la grilla, previamente pesadas. Las primeras horas de secado se tomaron como del período preparatorio, se controlaron manualmente las temperaturas, midiéndose la humedad relativa y la velocidad del aire en la estiba.

Las mediciones de peso de las probetas se efectuaron cada media hora, sobre la probeta tomada como testigo, con las mediciones de temperatura en los nodos a lo largo del espesor (uno a 0,5 mm de la superficie y cuatro a espaciamentos iguales) y a una profundidad de 2 cm, en forma permanente (registro en PC).

Las demás probetas se emplearon para la determinación experimental de los gradientes de contenido de humedad. Para ello se retiraban del secadero y se practicaba el seccionamiento con sierra sinfín.

Las piezas se cortan en su sección central en las medidas de 100 x 100 mm y a esta se la rebana en cuatro rodajas, perpendiculares a la dirección del flujo, para calcular el contenido de humedad de cada una de ellas.

La probeta testigo se mantuvo en el secadero hasta la finalización del secado, llevándola luego a estufa a 105°C para la determinación de peso seco.

IV. RESULTADOS

El modelo en diferencias que no toma en cuenta la termodifusión, presenta el mejor acuerdo a los resultados experimentales y en adelante las consideraciones se refieren al mismo.

Los resultados (predichos y experimentales) se presentan en las figuras 4 y 5 anexos, donde se visualiza la evolución del secado para las temperaturas de 100 °C, 110 °C y 120 °C, con temperatura húmeda de 60 °C.

En los gráficos se muestran las temperaturas de los nodos: exterior, tres interiores y el nodo central, igualmente espaciados para un espesor de la muestra de 40mm, incluyendo las obtenidas teóricamente y las medidas en términos del tiempo de secado.

Queda claramente determinada la influencia del nivel de temperatura seca sobre la velocidad de secado, a mayor temperatura mayor pérdida de humedad del material y la poca influencia de la temperatura húmeda (evaluada a 70°C, 60 °C y 50°C) sobre la velocidad, de allí que se exponen los resultados para el valor de 60°C.

En la simulación se ha tenido en cuenta, en vista de las limitaciones del método en diferencias explícito adoptado, en lo referido a convergencia y estabilidad, los intervalos de tiempo (30") y el espaciamiento entre nodos (5mm), a partir de las aproximaciones de primer orden para las derivadas temporales de temperatura y humedad como las de segundo orden para las derivadas espaciales de la temperatura y humedad.

De los resultados hallados, se manifiesta una pronunciada diferencia entre los valores de temperatura nodales al inicio del secado (período de calentamiento), diferencia que va disminuyendo a medida que el contenido de humedad decrece con la regresión del frente seco desde su superficie.

Hacia las etapas finales del secado, con la desaparición del agua libre, con las finas capas exteriores al nivel de contenido de equilibrio, las temperaturas de ellas se aproximan a la del medio calefactor circundante, con un perfil interior de temperaturas suavizado y un más pronunciado perfil de contenidos de humedad, anunciando la presencia de un equilibrio térmico, precedente al equilibrio másico.

Las diferencias observadas con los valores experimentales encuentran justificación en la variabilidad de las propiedades del material, dadas las características peculiares de la madera y las aproximaciones utilizadas, más las involucradas por el método numérico de resolución.

IV.1 VALORES Y EXPRESIONES ADOPTADAS

$$h = 40 - 45 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$$

$$\partial_R(x) = \rho_s(0,4 + 0,5x) + 0,24, \text{ en } \frac{w}{m^0 C}$$

$$e_p(x, T) = \frac{(0,26B + 0,011T + 0,01x)}{(1 + 0,1x)} \text{ cte de unidades en } \left(\frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right)$$

$$D(X, T) = (A + BX) \exp^{\frac{c}{T+273,2}} \text{ en } \left(\frac{m^2}{s} \right), A = 3,8 \cdot 10^{-4}, B = 4 \cdot 10^{-4}, C = 3900-3920$$

t= 30 segundos
z= 0,005m

$$\rho_s = 450 - 500 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$K_C = 2 \cdot 10^{-7}$ m /s Las propiedades del aire se obtuvieron de diagrama psicométrico Carrier (altas temperaturas).

V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos, mediante la simulación de la operación a través de un programa en Visual Basic y adoptando la técnica de aproximar las ecuaciones diferenciales por ecuaciones algebraicas en diferencias finitas, muestran un buen ajuste con los valores extraídos de las experiencias, conformando una buena base predictiva para diferentes condiciones y medidas del material.

Los valores adoptados para las propiedades que se involucran en el modelo están en concordancia con los publicados para material maderable similar al pino elliotti.

De cualquier forma, existe un margen importante para profundizar el refinamiento de tales valores que orienta hacia una mayor exactitud de los valores de las variables simuladas.

La primera etapa del secado, con la presencia de agua libre, está influido por las condiciones externas, mientras que a valores más bajos del contenido de humedad la componente difusiva del modelo ejerce un rol controlante.

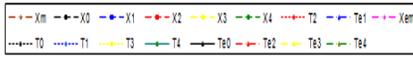
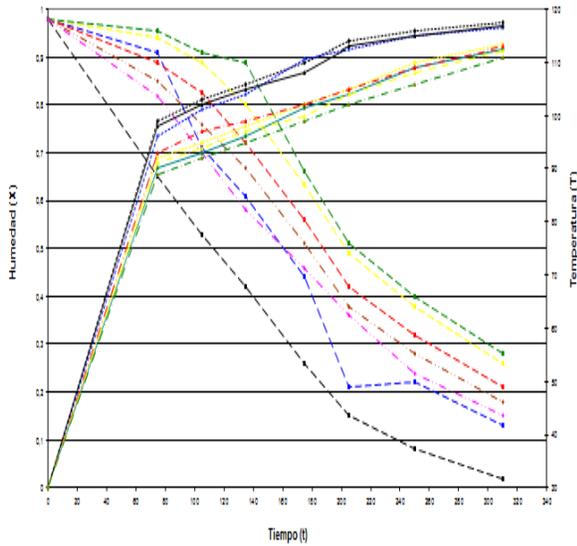
Además la consideración de la transferencia de calor y masa en sentido radial, como dirección controlante, no desvirtúa la posibilidad de poder considerar, en estudios posteriores, la contribución longitudinal y tangencial.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Basilico, C. and Moyne, C., **Moisture Transport Analysis During High Temperature Convective Drying of Wood, Drying of Solids**, Ed. Arum S. Mujundar, 317-327(1986).
- [2] Pang, S. ; **“Relative Importance of Vapour Diffusion and Convective Flow in Modelling of Softwood Drying”**, Drying technology, 18(1&2) : 271-281 (1998).
- [3] Hukka, Antti. (1997), **“Evaluation of parameter values for a high temperature drying simulation model using direct drying experiments”**, Drying Technology, 15 (3&4), pp 1213-1229.
- [4] Tarasiewicz,S., Ding,F. And Léger,F.; **“Modeling Simulation and Control of the Wood Drying Process”** , Drying Technology, 16(6):1085-1100(1998).
- [5] A. Kaya, O. Aydin, and I. Dincer, **“Numerical modeling of heat and mass transfer during forced convection drying of rectangular moist objects,”** International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 49, no. 17-18, pp. 3094–3103, 2006.
- [6] A. Kaya, O. Aydin, and I. Dincer, **“Numerical modeling of forced-convection drying of cylindrical moist objects,”** Numerical Heat Transfer Part A, vol. 51, no. 9, pp. 843–854, 2007.
- [7] A. Kaya, O. Aydin, and I. Dincer, **“Heat and mass transfer modeling of recirculating flows during air drying of moist objects for various dryer configurations,”** Numerical Heat Transfer Part A, vol. 53, no. 1, pp. 18–34, 2008.

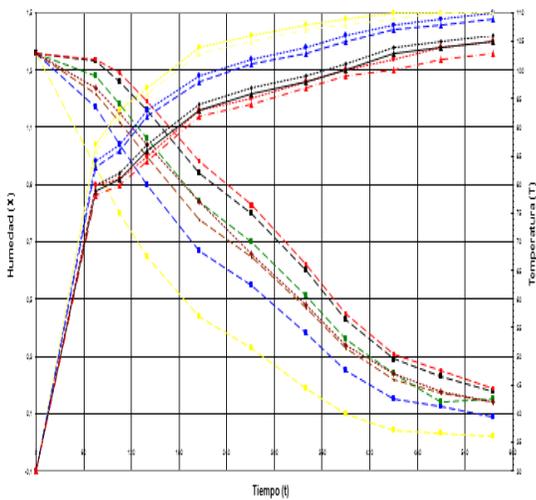
[8] Bassal, A., Vasseur, J., and Lebert, A. (1993), "Measurement of water activity above 100°C", Journal of Food Science, 58(2), pp 449-452.

VII. ANEXOS



T: Temperatura Predicha Te: Temperatura experimental X_m : Humedad media

Figura 4. Cédula 120-60.



T: Temperatura Predicha Te: Temperatura experimental X_m : Humedad media

Figura 5. Cédula 110-60.

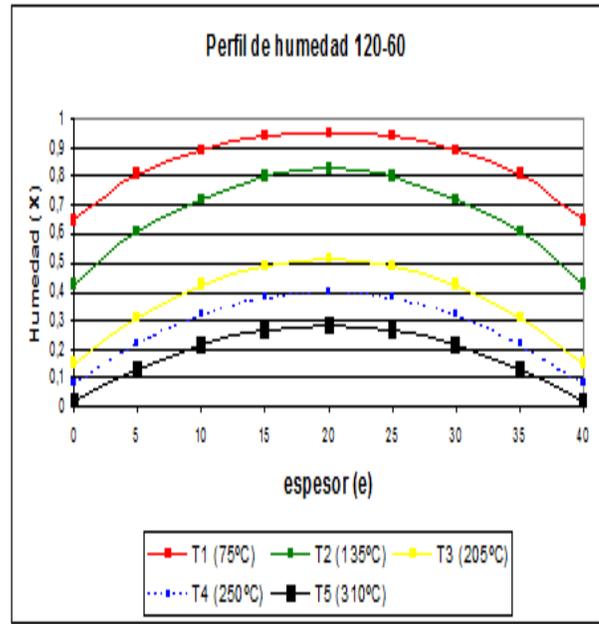


Figura 6. Perfil de humedad.

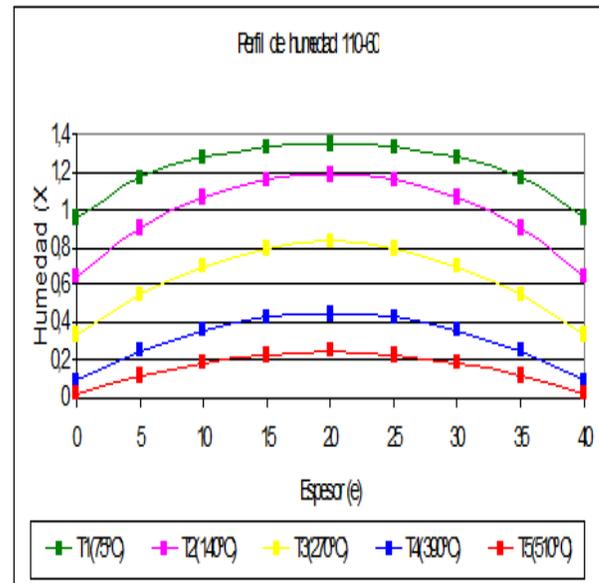


Figura 7. Perfil humedad .

Ed. 0003 VOL 001 – ISSN 2447-0228 (online)



Advantages of applying composite material to replace metal alloys in aviation

Marcelo André Santiago Barros¹, Roberto Tetsuo Fujiyama¹, Jandecy Cabral Leite²

¹Postgraduate Program in Industrial Engineering-PPGEI/Federal University of Pará (UFPA). Augusto Correa Street 01 Guamá. Belém – Pará – Brazil (*marcelo@mbxti.com.br, rfujiyama@ufpa.br)

²Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM).(jandecy.cabral@itegam.org.br)

ABSTRACT

Composite materials were already used by man in the early agricultural societies and the expanding use of this material has been driven by technological needs of the military. The high fuel prices and increasingly stringent environmental laws have created a great demand for use of this technology in the civilian sector. The purpose of this article is to show the application advantages of composites in aircraft structures, particularly in reducing weight, reduce operating costs, environmental, social and economic impact. The materials and methods were document and experimental research available in a number of studies and publications, as well as comparisons with similar aircraft composite alloy material and finally the influences in the global economy, with the reduction of freight costs in air transportation and the effects on the whole production chain which is significantly improved.

Keywords: Composites, Aircraft and Metal Replacement.

Vantagens da aplicação de materiais compostos para substituir as ligas de metais na aviação

RESUMO

Os materiais Compostos já foram usados em sociedades agrícolas e expandir a utilização deste material tem sido impulsionada pelas necessidades tecnológicas das forças armadas. Os altos preços do combustível e regulamentos ambientais cada vez mais rigorosos criaram uma demanda para o uso desta tecnologia no setor civil. O objetivo deste artigo é mostrar as vantagens da aplicação de materiais compósitos em estruturas de aeronaves, particularmente na redução de peso, reduzir custos operacionais, o impacto social e econômico ambiental. Materiais e métodos eram documento experimental de pesquisa e disponível em um número de estudos e publicações, bem como comparações com o material da liga semelhante aviões compostas e, eventualmente, influencia sobre a economia mundial, com custos de frete reduzidas no transporte aéreo e os efeitos sobre toda a cadeia de produção tem melhorado significativamente.

Palavras Chaves: Compostos, Aeronaves e Metal, Substituição.

The application advantages of composites to replace metal alloys in aviation is treated as a collection of results of studies and applications in a vital sector of society and is the research object of this paper. Because of the complexity, importance and economic integration, several studies come from this important sector, leveraging new structures in the transport area, and contributing to produce everyday applications.

The airline industry has become strategic in the growth of world economies. For [1] the increase and income distribution mainly in emerging countries added a new share in the users of the airlines. The demand of the Brazilian market grew at rates of 5.2% which is higher than the national PIB. The global air transport carries 2,400 million users per year, including 40% of international tourism, 35% of international trade generates about 32 million Jobs as mentioned

by [2].

Opposing to these positive results the given high cost of operation of airlines has been a limiting factor in the results of the civil aviation industry. The increasing fuel prices has affected significantly the sector. Fuel accounts for 40% of the costs of the companies when the world average is about 32% [3]. Environmental issues have become part of the concerns in the aeronautical industry, where the kerosene used in commercial aviation produces, due to its combustion, a series of products that can deteriorate the air quality, making it dangerous for living beings [4].

To remain competitive and operational, the activities of this sector demand a great number of innovations and technological advances, these changes are driven by the market and also by the

public sector respecting the environmental and safety standards which creates the need for lower operating costs and environmental performance contained in increasingly strict standards [5].

Innovation is an inherent feature in the aircraft industry, the needs of businesses fall mainly on lower operating costs and improved environmental performance. The key aspects which concentrate the innovative studies are [6]:

Lower aircraft basic weight to increase load capacity for the same counter-attraction amount and burning fuel.

Improves the aircraft aerodynamics to reduce drag and increase the resulting counter-attraction.

Improves the engine performance to reduce fuel burn per effective counter-attraction unit.

The weight reduction studies have opened new fields in the segment of materials. The order to replace metal components using composites has been intensified in the industry in the past decades. With its high degree of reliability, design flexibility and production, as well as its resistance to corrosion, the composite

material has become a unique material in various products and equipment [7] [8].

2. LITERATURE REVIEW

2.1 Aeronautical Aluminum

One of the materials commonly used in aircraft construction, these alloys have characteristics such as high levels of mechanical resistance, low metal density, ease of forming and machining, which makes it ideal for applications in aviation structures.

The main series aircraft aluminum alloys are 2XXX and 7XXX, wherein the first copper alloy is from 1.9 to 6.8% and usually contain additions of manganese, magnesium and zinc [9].

These alloys have lower crack propagation rate, so the fatigue performance is better than the series 7XXX, and is used in the bottom of the wings and fuselage. The alloys 2224, 2324 and 2524 (modified versions 2224) are composed of 99.34% pure aluminum for corrosion resistance.

The figure 1 shows the aluminum application in aeronautical structures.



Figure 1 - Aeronautical aluminum application in an aircraft wing

Each has its own characteristics and the ones commonly applied in the aircrafts are presented by the table 1

Table 1. Aluminum alloys properties.

ALUMINUM ALLOYS COMPARATIVE TABLE						
Alloy Selection Criteria						
	7XXX		2XXX		5XXX	
	ALUMOLD 500	ALCAST	7075 T651	ALUMOLD 350	2024 T351	ALUMOLD 110
Yield Strength	470-540 MPa	280 MPa	260-470 MPa	330-366 MPa	290 MPa	110 MPa
Resistance Limits	510-590 MPa	310 MPa	360-540 MPa	420-465 MPa	430 MPa	240 MPa
Thermal Conductivity	153 Wm C	150 Wm C	134 Wm C	130 Wm C	121 Wm C	117 Wm C
Extension	1,5% A 10%	1,5%	2% a 6%	4% A 9%	11%	9%
Elasticity Modulus	72.000 Mpa	72.000 Mpa	72.000 Mpa	72.4000 Mpa	73.1000 Mpa	71.100 MPa
Brineli Hardness	175-185 HB	135 HB	104-161 HB	135-145 HB	120 HB	80 HB
Machinability	Extraordinary	Excellent	Good	Great	Good	Good
Dimensional Stability	Excellent	Extraordinary	Great	Excellent	Good	Excellent
Polishability	Excellent	Good	Not Suitable	Good	Not Suitable	Not Suitable
Soldability	Possible for Repairs	Excellent				
Corrosion Resistance	Not Suitable	Excellent				

2.2 Composite Materials in the Aeronautical Industry

The composites adoption for aircraft industry began with the experimental and military aviation and then in the commercial and business aviation. In general it is almost commonplace that the composites are the latest technology for aeronautical use, for bringing together key features to the sector [11]:

Less aluminum alloys relative weight due to higher specific stiffness and specific strength;

The material mechanical properties can be increased toward the larger effort suffered by the part;

Corrosion absence in case of high humidity or high incidence of sea air environments exposure;

Excellent fatigue resistance and dimensional stability. To really take advantage of these properties, it is essential to study these materials and develop projects to analyze its features, otherwise the results may be worse than traditional materials.

Despite the many advantages, the composites have weak points and limits, failure modes are less predictable than metallic materials

A crack aluminum is relatively straightforward and can be detected visually or with non-destructive methods different from carbon fiber composites which does not present cracks and fatigue effects [12].

2.3 Composite Materials Architecture.

Composite materials consist of at least two components (as shown in Figure 2) or two phases, with distinct physical and chemical properties in the composition. Separated component retains its characteristics but when mixed forms different compounds with completely different chemical and mechanical properties

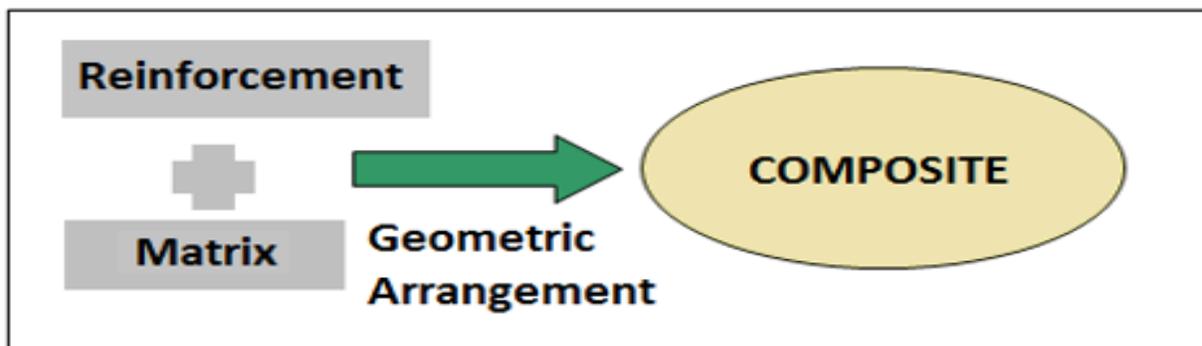


Figure 2 - Composite Material Structure.

Composite materials are commonly produced in Laminated unidirectional fibers (Figure 3, letter a) has laminated layers of fabric, ribbon or filament bundles a particular strength in relation to the longitudinal with extremely small thickness and are stacked to fibers and in the perpendicular direction the resistance form something like a thicker layer. The composites is much lower. can be shaped as three-dimensional solid body [13].

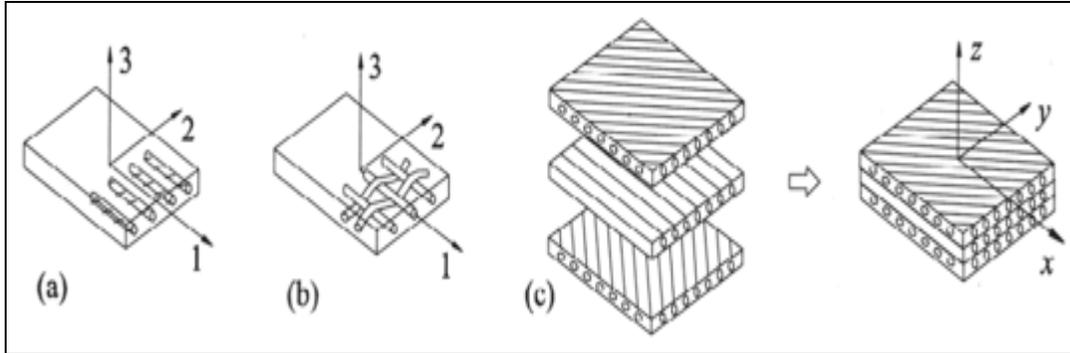


Figure 3 - (a) unidirectional fibers sheet; (b) woven fibers sheet; (c) laminate consisting of several sheets oriented in different directions [13].

2.4 Composite Materials Applied in the Aeronautical Industry.

Carbon fibers, glass fibers and aramid fiber composites are the most widely used in aviation, presenting advantages and also negative factors [12].

2.4.1 Carbon Fibers

It is a synthetic fiber made from carbonaceous materials that can be natural

(with carbon poor performance not being used in structures requiring strain), or polyacrylonitrile synthetic (high yield on carbon) fiber known as "PAN" (from Polymer acrylic nitrile).

The fibers may be manufactured in many specifications: but only the most expensive, rigid and resistant present the properties to use in aeronautical structures [14].

The table 2 presents carbon fibers resistance properties

Table 2 – Nominal Properties of the Carbon/Epoxy Composite F 584

Mechanical Properties	Unidirectional Tapes	Bidirectional Fabric	ASTM Standard
Longitudinal Module, E_1 (Gpa)	130	65	D 3039
Cross-Section Module, E_2 (Gpa)	2	65	D 3039
Shearing Module, G_{12} (Gpa)	6	5	D 4255
Poisson Quotient, ν_{12} (Gpa)	0,27	0,05	D 3039
Longitudinal Traction Resistance, X_T (MPa)	1721	680	D 3039
Transversal Traction Resistance, Y_1 (MPa)	43	680	D 3039
Longitudinal Compression Resistance, X_c (MPa)	703	548	D 3410
Transversal Compression Resistance, Y_c (MPa)	133	548	D 3410
Plane Cross-Section Resistance, S_{12} (MPa)	88	122	D 4255
Interlaminated Cross-Section Resistance, S_{13} (MPa)	84	70	D 2344
Specific Mass, ρ ($\text{kg}/\text{mm}^3 \times 10^{-5}$)	0,155	0,157	D 3171
Layer Nominal Thickness, t_{nom} (mm)	0,18	0,35	-
Resin Specific Mass (g/cm^3)	1,22	1,22	-
Carbon Fiber Specific Mass (g/cm^3)	1,77	1,77	-

Source: [11].

2.4.2 Glass Fiber

Widely used in the aircraft industry since the 60s, the silicon dioxide (SiO₂) raw material associated with other oxides, distinguished basically the "E-glass" and the "S-glass" with elastic modulus and different specific strength. The "E" refers to the "electric", as they have

2.4.3 Aramid Fiber (Kevlar)

One of the most important features is its extreme resistance to shear that is derived from an aromatic polyamide (thermoplastic polymer composed by amide monomers) with similar construction process of the glass fiber.

more resistance to electrical conductivity than the fibers "S" being more used in aircraft structures. Generally, the glass fibers are less resistant than the carbon fibers with lower elastic modulus and are unsuitable for structures requiring stiffness [14]

These fibers are lightweight and have a lower tensile strength than carbon fiber, but higher than aluminum [14]. The figure 4 shows the main fibers applied at aeronautical industry.

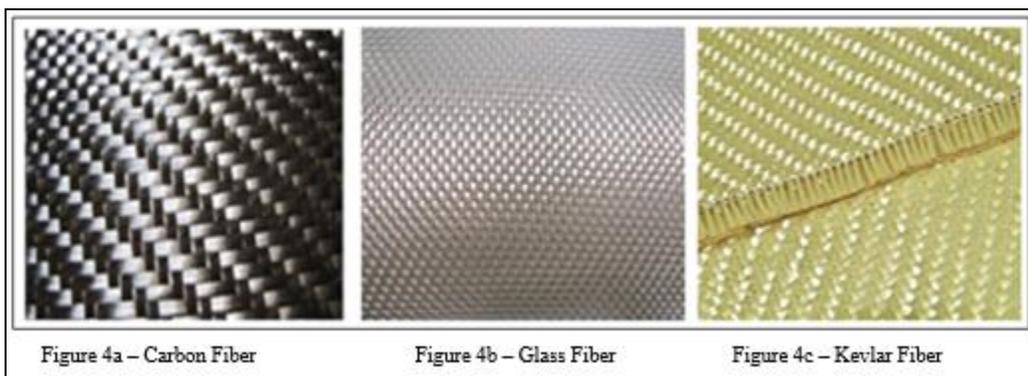


Figure 4a – Carbon Fiber

Figure 4b – Glass Fiber

Figure 4c – Kevlar Fiber

The required properties of an aircraft component depend on the area where it is installed, the resistance is useful in areas that experience large load as wings, at a moderate load as the nose of the airplane, the stiffness is the main property.

Despite being in use for a long time in military aviation, there was a resistance in the use of carbon fiber in commercial aircraft, mainly due to the difficulty to determine the material fatigue. The figure 5 shows a comparison of mechanical properties of the steel, aluminum and titanium composites, commonly used in the aircraft industry.

2.5 Replacement of the aluminum materials by the composite materials in the aeronautical industry.

Airbus in Europe and the US Boeing aircraft manufacturers are leading the use of composite materials to replace metal alloys [15].

The safety requirement levels in the aviation industry reach almost 100% because the materials employed that make up the structures should support continued efforts and possess high strength, fatigue and corrosion values.

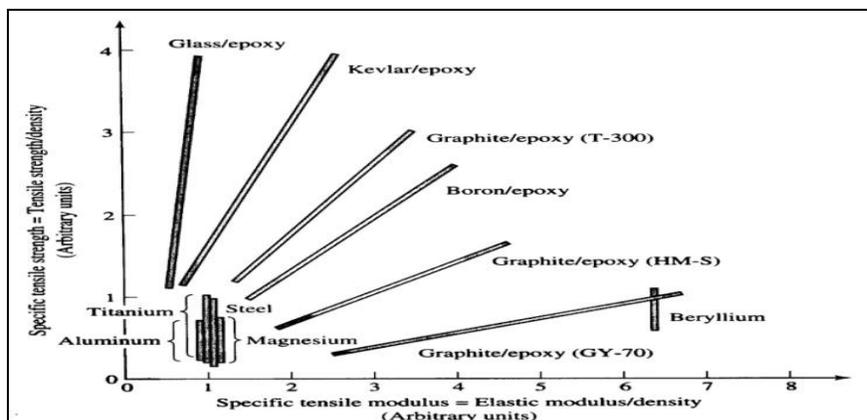


Figure 5 - Composite Material Performance. Source: [23].

As an example of large-scale use of composites, the new generation Airbus aircraft brings together the latest in Reinforced Plastic (CFRP) reducing fuel consumption and aerodynamics, design and technology. In the A350XWB, improve the maintenance [15]. The figure 6 presents the more than 70% of the structures weight are made of composite, titanium and aluminum



Figure 6 - Used Materials in the A350XWB Aircraft. Source: [24] .

The use of composite plastic materials reinforced with CFRP fiber has increased significantly in civil aviation in the last years especially in more

modern aircraft such as the A350 and Boeing 787 Aibus [16]. The figure 7 displays the increasing use of the CFRP in the aviation industry.

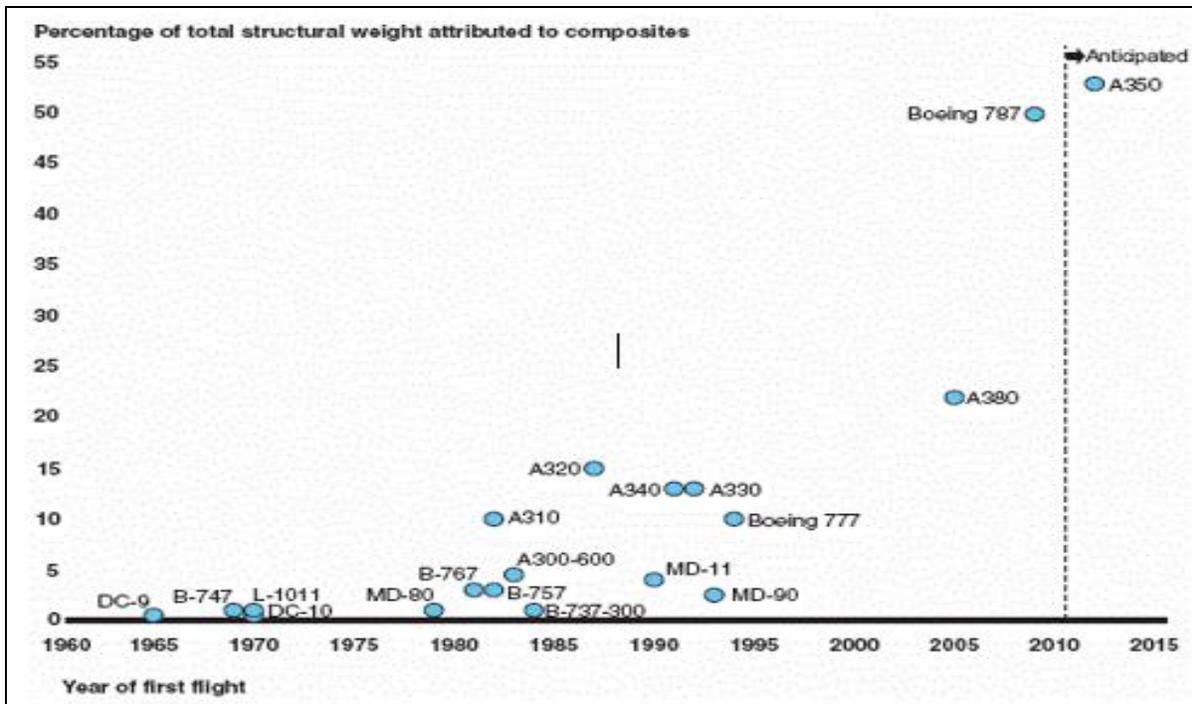


Figure 7 - Aircraft CFRP. Source: [21].

In military aviation, the use of more advanced composite materials is mainly due to less stringent security requirements, larger amount of funds made available by the government for military researches of smaller pieces [15]. The figure 8 displays the composite materials application in the military aviation.

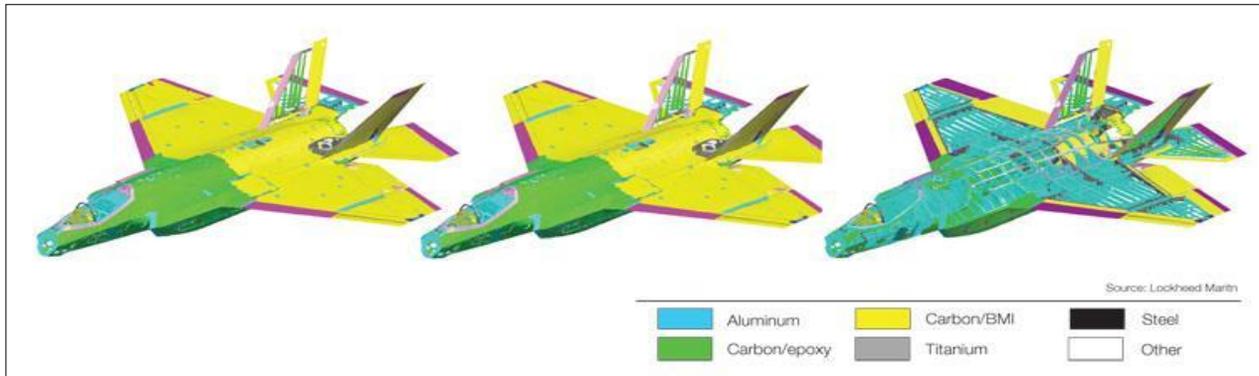


Figure 8 - Composite Material Percentage applied in the Military Aircrafts. Source:[23].

In the figure 9 is possible the compare the structural weights of the composite and aluminum fuselage.

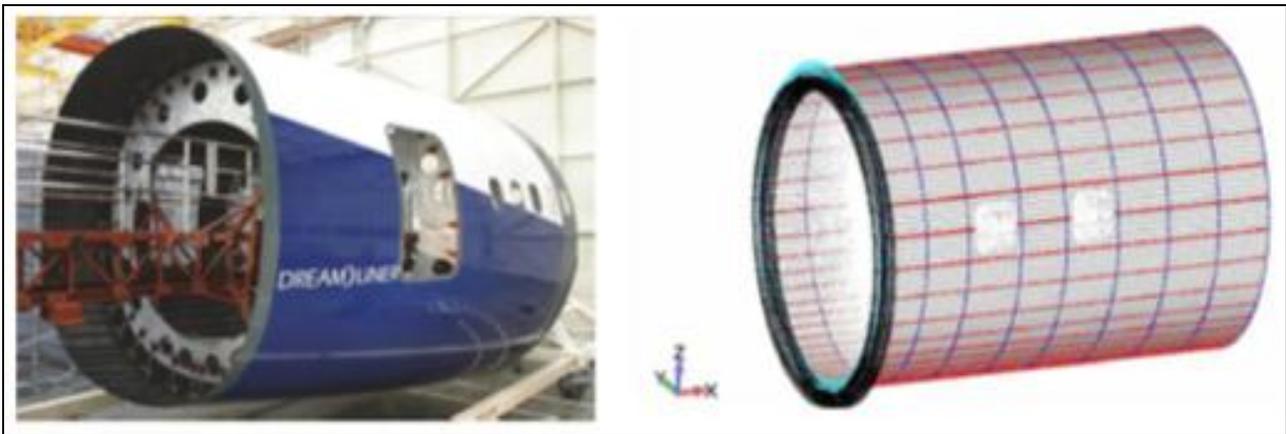


Figure 9 - Simplified structure section for comparative calculation.

To make the comparative analysis of the composite and aluminum fuselage weights the material volume used in a section with reduced dimensions from the external structure were used. The data used for these calculations are presented below:

- Specific mass of the carbon/epoxy composite fiber: 1,57 kg/m³
- Al 2024 alloy specific mass: 2,78Kg/m³
- Section length: 6 m
- Material Thickness: 0,03 m
- Fuselage ray: 1 m
- Aproximated Fuselage Volume: $V = \pi \cdot h \cdot r(2R - e)$ (1)
- Aproximated Fuselage Weight: $P = \rho \cdot V$ (2)

Aluminum Section Volume Calculation.. $V = 3,14 \cdot 6 \cdot (0,03) \cdot (2 - 0,03) = 1,11 \text{ m}^3$

Aluminum Section Weight Calculation and Composite Section Weight Calculation:

- $P = 1,11 \times 2,78$
- $P = 1,11 \times 1,57$
- $P = 3,09 \text{ kgf}$
- $P = 1,74 \text{ kgf}$

The figure 10 shows the structural comparison between the weights of the two fuselage sections of the study, it was observed that the composite structure has a weight of 56.3% below the aluminum frame.

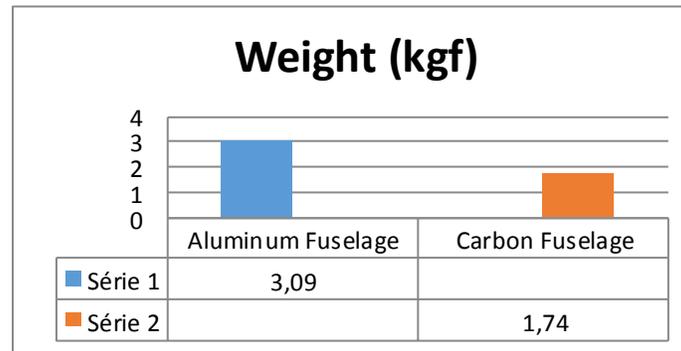


Figure 10 - Comparative analysis of the fuselage structural weights.

Note that for comparison was used only one of the main structural components, this relationship changes when the weight and many other components are included such as: brackets, reinforcement, coating, rivets and etc.

3 Materiais e Métodos

To corroborate the information in this article, we used a documentary, literature and experimental research strategy. The preparation of this work started with the location of texts from various sources available, without

regard to the analysis. The objective was to obtain information arising from: internet, scientific articles bases, official texts and aircraft technical manuals, highlighting the filing of documentation and annotation of origin.

At this stage it were selected two aircraft with similar projects for comparison: Super Petrel (figure 11) of Edra Aeronautics and Corsair Mk III Microleve Industry Ltda vendors. The table 4 shows the technical data of the selected aircrafts.

Table 4. Technical bulletin of Corsário and Super Petrel

Aircraft	Corsário	Super Petrel
Spread	10.3 m	8,9 m
Wing Area	16.49 m ²	15 m ²
Length	6.8 m	6,35 m
Maximum Weight	500 Kg	600 Kg
Empty Weight	345 Kg	350 Kg
Fuel Capacity	65 lts	95 lts
Seats	2	2
Range	410 Km	600 Km
Take off Distance	79 m	80 m
Landing Distance	67 m	120 m
Maximum Velocity	160 km/h	200 km/h
Cruise Velocity	120 Km/h	180 km/h
VelocStall	48 Km/h	65 Km/h
Roof Service	10.000 ft	12.000 ft
Power	100 HP	100 HP
Rising	800 Fpm	1000 Fpm
Vendor	Microleve	Edra



Figure 11. Super Petrel (Composite) and Corsário (Aluminum).

The Super Petrel and the Corsario aircraft were supplied with 30 liters of jet fuel departing from Amazonas Flying Club in 30 minutes flights to Ponta Negra beach in Manaus Amazonas in order to collect the data. The table 5 shows the collected data.

Table 5 - Data collected during the experimental flight

Aircraft	Corsário	Petrel
Mean Velocity	122 Km/h	165 Km/h
Take off	90m	120 m
Landing	112 m	140 m
Pilot Weight	90 Kg	90 Kg
Fuel	30 litros	30 Litros

3.2 Collected Material Organization

In the documentary analysis phase we use the organization in a logical structure based on the first applications, the evolution and the current technological state of the use of the material covered, all documents were filed in folders divided chronologically as well as the type of document: articles, manuals, thesis, course completion work, publications and internet. Using qualitative content analysis, we selected the texts from the context of the actual benefits, classifying them into categories that informed the theories exposed in this article. At this stage we made several readings and rereadings for the investigation and across the studies the increasing knowledge about various documents have been reclassified in the relevant studies. The flight test data were used for comparison of improved aircraft primarily on the use of composite material.

4 Results and Discussion

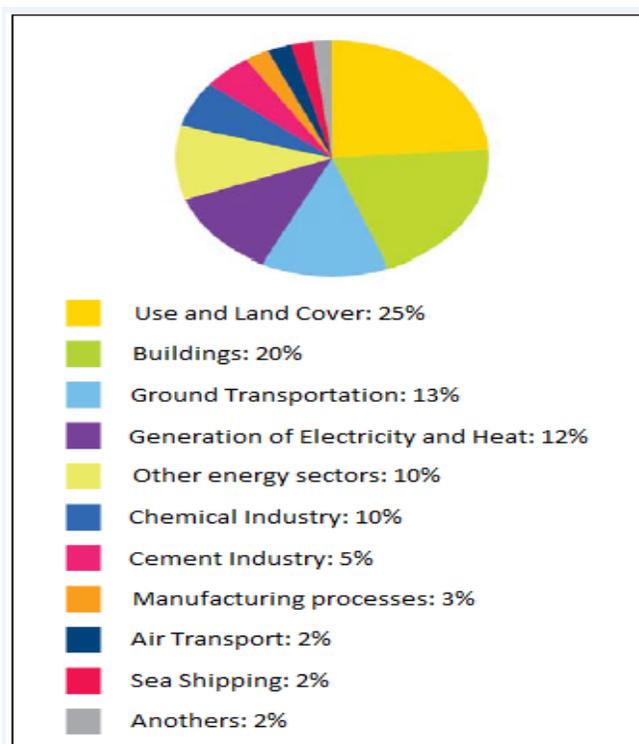
4.1 Experimental flight results.

In simple analysis, we can notice a higher performance of the Super Petrel aircraft manufactured in composite material, the fastest speed achieved on 20% average is shown in Table 5, together with the possibility of also higher load, suggests a lower cost per km flown, allowing cover larger distances in less flight time.

4.2 Impact of reducing the weight of aircraft on the environment, aviation and global warming.

Air transport is a sector that contributes with low indexes of CO₂ emissions which are around (2%), however according to the Intergovernmental Panel on Climate Change [4] these are more harmful compared to other relatively sources. This is because the waste released by aircraft increase the effects of carbon dioxide due to high altitudes (troposphere lower stratosphere high), falling directly on the concentration of greenhouse phases, intensifying the phenomenon of global warming. For this reason in 2006 has launched up a joint technology action named Clean Sky (Clear),

which brings together 86 organizations from 16 countries, 54 companies, 15 research centers and 17 universities, in order to develop emission reduction initiatives of CO₂ by 50% until 2020 [17].



The figure 12 shows the global CO₂ emissions.

Source: [25].

The weight of an aircraft is a significant variable in operations, in a flight of long range daily made for example, every pound of unnecessary weight may amount in a consumption of up to 200 liters of aviation kerosene (jet fuel) after one year of operation, over the same period a small sugar sachet would consume around 15 liters [18] [19]. This sensitivity shows the importance of aircraft weight reduction, with a lower consumption of fuel and reduction of CO₂ emissions.

The fuel consumption of a passenger aircraft may be expressed, according to a study done in [20] by the following equation (3):

$$C = C_e \cdot \frac{P}{n \cdot v_m \cdot F_c} \quad (1)$$

$C =$ consumed/seat fuel] x [Km]

$C_e =$ aircraft specific consume (consumed Kg per hour)

$P =$ aircraft free weight (Kg)

$n =$ number of seats

$v_m =$ average flight velocity (Km/hour)

$F_c =$ load factor

According to the above equation, a reduction in aircraft free weight induces a proportional reduction in fuel consumption and CO₂ emissions

4.3 Weight reduction impact of the aircraft in infrastructure projects in the airports facilities.

The aircraft passengers capability, cargo and fuel weight, influence the size and the provisions of passenger and cargo facilities, and fuel storage methods, icing chemicals, chemical fire containment, material for track maintenance and etc. The waste from operation of these chemicals can contaminate the soil around exposing humans to hazardous health issues [20]. The heavier the aircraft is the larger is the distance required for takeoff and landing, which impacts the needs of land, access, boundaries escape and neighborhood areas. The weight also influences the type of necessary paving increasing or decreasing construction costs [21]. The figure 13 shows a standard airport runway.

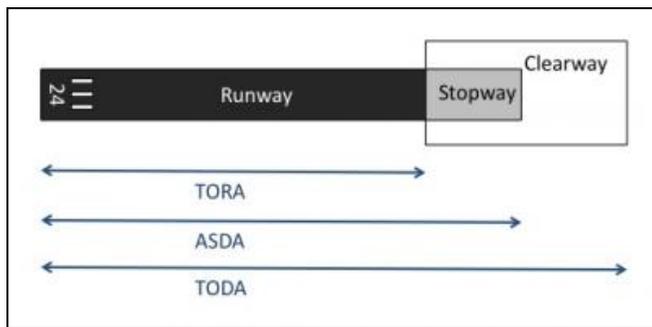


Figure 13 - Airport runway.

Source: [26].

Every plane has a classification number expressing the relative effect of the mass of the aircraft on a deck. 1 ACN is the mass of 500kg which is supported by a single wheel with tire pressure of 1.25 MPa (181,25psi). This is just one example of the aircraft weight influence in the airport infrastructure projects.

4.4 Weight reduction impact of aircraft fuel consumption and its operational costs

The price increases of oil derivatives has been the great engine of research to decrease the weight of the aircraft, according to studies conducted by [22], fuel consumption is the second largest component of operating direct costs for airlines, after the costs related to labor. Estimated dry the participation of fuel consumption is in the range of 20% to 40% of total operating costs in direct airlines.

The fuel expense is affected by a series of external factors management of a company, such as congestion at the time of takeoff, slopes release delays, retention time for additional etc. Pesos taxiing an aircraft imposes requirements that need to be taken into account in each section traveled on a plane, becoming umfator essential control to the financial health of umaempresa air, influencing in all areas of costs and operation.

5. Conclusion

This article demonstrates the advances and advantages in using the composite materials in the aerospace industry and their influence in everyday life. Using a set of literature and research in the area of materials and aeronautics, sources from the manufacturers, regulatory agencies, government bodies, environmental institutes and an extensive list of articles on similar topics, has clearly established the great importance of the new composite technologies in cargo and passengers way of transportation. The empirical work reviewed the weight reduction in data structures, the efficiency and performance, with direct influence on air transport freight loads values, reflecting the price of products on world markets. The reduction in major airports needs with long runways, reduces pressure on the areas around the aerodrome by doing so the weight is decreased and the fuel consumption is optimized to mitigate impacts on the atmosphere and the soil around the airports. Innovations has enhanced the aircraft characteristics such as: passenger capacity, flight range, quieter aircraft, comfort, safety, greater performance and decreased travel time between airports in the world. In a more futuristic look, the applications expansion of the composites in increasingly complex structures requires a huge effort in research and development work which stimulates the formation of highly skilled human resources to meet the requirements of lighter weight, strength and corrosion in a new range of products from various sectors.

Acknowledgement

This research was supported by the Federal University of Pará (UFPA) in partnership with the, Galileo Technology Institute (ITEGAM) and Amazons aeroclube.

6. REFERENCES

- [1] ANAC (2013). **Agência Nacional de Aviação Civil**. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/>>. Acesso em: 02 abr 2014
- [2] ATAC. Air Transport Action Group. Disponível em: <<http://www.atag.org/>>. Acesso em: 17 jan 2014
- [3] **Sindicato Nacional das Empresas Aeroviárias (SNEA)**. <http://snea.com.br/estudos> Acesso em: 10 maio 2014.
- [4] IPCC (1999) **Intergovernmental Panel on Climate Change**. Aviation and the Global Atmosphere. Disponível em: www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/av-en.pdf. Acesso em: 02 abr 2014
- [5] CONAMA – **Comisión Nacional Del Medio Ambiente**. Disponível em <http://www.conama.cl/porta1/1301/channel.html> Acesso em: 02 agosto 2014.

- [6] OCDE. **Science, Technology and Industrial Outlook**, 2008.
- [7] HEMAIS, C. A., **Polímeros e a Indústria Automobilística**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v.13, n.2, p. 107-114, 2003.
- [8] SUDELLE, B. C., EVANS, W. J., ISAAC, D. H., CROSKY, A., **A survey into the application of natural fibre composites in the automotive industry**. Natural Polymers and Composites, 4, 2002, São Paulo. Anais...São Paulo, 2002. p. 455-460.
- [9] **Associação Brasileira do Alumínio**. 2014.
<http://www.abal.org.br/aluminio/caracteristicas-quimicas-e-fisicas/ligas/ligas-de-aluminio-trabalhaveis/2014>.
- [10] **Schmolz Bickenbach do Brasil Ind. e Com. Aço, Ltda**.
<http://www.schmolz-bickenbach.com.br/produtos/ligas-de-aluminio/>
- [11] **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol 10, n° 2, 2000.
- [12] Baker, Alan; Dutton, Stuart; Kelly, Donald. **Composite Materials for Aircraft Structures. Second Edition**. AIAA Education Series. Reston, Virginia, 2004
- [13] MENDONÇA, P.T.R. **Materiais Compostos e Estruturas Sanduíche: Projeto e Análise**, Editora Manole, 1 ed., Barueri 2005.
- [14] ZANATTA, Rodrigo; **MATERIAIS compósitos na aviação**. Disponível em:
<http://www.aviacao.org/especiais/materiais-compositos>
 Acesso em: 02 jun 2014
- [15] EADS - **European Aeronautic Defence and Space**. Disponível em <http://airbusdefenceandspace.com/>
- [16] EHINGER, C; HOFFMANN, A; REIF, W; REINHART, G; STRASSER, G. **Automated cutting and handling of carbon fiber fabrics in aerospace industries**. 6th IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, CASE 2010, p.861-866, Toronto, Canada, August 2010.
- [17] Clean Sky (2009) **About Clean Sky**. Disponível em: www.cleansky.eu/index.php?arbo_id=35.
- [18] **Boeing**, 2003, www.boeing.com.
- [19] KLOTZEL, E., 2003, **Avião mais leve é meio caminho andado**, www.icarobrasil.com.br
- [20] GREENE, D. L., 1995, **“Commercial air transport**
- [21] **FAA Aerospace Forecasts 2011-2031**. Disponível em: http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/aviation_forecasts/aerospace_forecasts/2011-2031/
- [22] IATA (2008) **International Air Transport Association - Building Greener Future**. 3ª edição, Suíça.
- [23] Composites World.
<http://www.compositesworld.com/articles/resins-for-the-hot-zone-part-ii-bmis-ces-benzoxazines-and-phthalonitriles>
- [24] Mudabahaya Wordpress.
<http://mudabahaya.wordpress.com/2014/03/05/airbus-a350-xwb-certification-program/>
- [25] **International Maritime Organization**. <http://www.imo.org/>
- [26] Skybrary Aero.http://www.skybrary.aero/index.php/Main_Page.
- [27] Skone, Timothy J., and Kristin Gerdes. **"Development of Baseline Data and Analysis of Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Petroleum-Based Fuels."** US Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, Office of Systems, Analysis and Planning. November 26, 2008. <http://www.netl.doe.gov/energy-analyses/pubs/NETL%20LCA%20Petroleum-Based%20Fuels%20Nov%202008.pdf>.



Eco-efficiency in industry and PML plastic, reducing waste stretch film in production

Agna de Souza Vasconcelos¹, Elis Patrícia Silva Costa¹, Mayna Carolina Alves Monteiro¹

¹Centro Universitário do Norte (UNINORTE). Av. Joaquim Nabuco, 1469, Centro. Manaus-Amazonas-Brasil. CEP: 69005-290.
Fone: +55 (92) 3212-5000.

agnavasconcelos@gmail.com, elispati_32@hotmail.com, maynacarina@hotmail.com

ABSTRACT

This paper is about the use of tool Cleaner Production (CP) which proposes its connection to eco- efficiency. Approaching the relevant factors that determine the minimizing of waste in the production of stretch film in the plastics industry and its environmental areas. The aim of this paper, is to adopt the concepts of PML, through eco-efficiency which will permit the Company to benefit from the reduced costs of raw materials, leading to environmental awareness. The methods and techniques were quantitative, and the procedures were performed through a study case that used an observation which has the advantage of allowing the registration behavior when it occurs. The results is to improve the structure and logistics of handling the raw material, the results will be the placement of fixed pipes, achieving the main goals to handle in preventive maintenance.

Key words: Eco-efficiency; Cleaner Production; Stretch Film.

Eco-eficiência na indústria plástico e PML, reduzindo o desperdício de resíduos na produção de filme Stretch

RESUMO

Este artigo é sobre o uso da ferramenta de Produção Mais Limpa (PML), que propõe a sua ligação a eco-eficiência. Aproximando-se os fatores relevantes que determinam a minimização de resíduos na produção de película de estiramento na indústria de plásticos e suas áreas ambientais. O objetivo deste artigo é adotar os conceitos de PML, através de eco-eficiência que permitam à Companhia beneficiar dos custos reduzidos de matérias-primas, levando a consciência ambiental. Os métodos e técnicas foram quantitativa, e os procedimentos foram realizados por meio de um estudo de caso que utilizou uma observação que tem a vantagem de permitir que o comportamento de registro quando ela ocorre. Os resultados é o de melhorar a estrutura e a logística de manuseamento da matéria-prima, o resultado será a colocação de tubos fixos, a realização dos objetivos principais de manusear em manutenção preventiva.

Palavras-chave: Eco-eficiência; Produção Mais Limpa; Stretch Film.

I. INTRODUÇÃO

A elaboração desta pesquisa ocorreu através da análise na área de produção da indústria de materiais plásticos, tendo em vista o processo de utilização do material contaminado, que ao ser manuseado erroneamente não pode ser aproveitado no seu processo produtivo, devido à contaminação do contato com algum poluente, sendo necessária a utilização de material virgem neste processo. Tendo como pressuposto a má utilização de matéria-prima virgem, ocasionando desperdícios no setor de abastecimento dos Silos intermediários, por encontrar-se em condições desestruturadas, gerando um consumo médio de 4.200 kg/h, sendo que a velocidade projetada é de 2.500 kg/h. A aplicação da metodologia proposta em diferentes empresas

mostra os benefícios relativos á redução de insumos (água, energia e materiais), bem como as emissões e redução de resíduos [1]. O aumento de produtividade da empresa e os colaboradores e o bem-estar social também é destacada.

Levando em consideração que existe um acúmulo de material plástico usado no mundo e uma demanda crescente por material virgem [2], e que sobre essas matérias-primas, agregam-se consumo de mão-de-obra, energia, mobilização, entre outros, além do próprio desperdício da mesma. Constatou-se que a logística de manuseio utilizada não estar otimizando a capacidade máxima de produção, devido ao alto índice de desperdício da matéria-prima.

Plásticos como material de embalagem, têm benefícios substanciais em termos do seu baixo peso, durabilidade e baixo

custo relativamente a muitos outros tipos de materiais [3], que devido ao baixo custo de produção, peso reduzido, resistência e capacidade de ser moldado nas mais diversas formas, o material plástico é utilizado por inúmeros setores da cadeia produtiva, no Brasil e no mundo, esta característica faz com que materiais plásticos favoráveis para todos os tipos de embalagens de utilização.

Partindo deste pressuposto, e que o índice de desperdício gerado é muito substancial, ao auferir da estratégia PML consolidada com a eco-eficiência, a empresa contara a partir de sua adesão com essa importante ferramenta. Elevará sua competitividade e responsabilidade social, alertando os profissionais das indústrias de matérias plásticas, para a urgência de se reduzir os poluentes gerados, assim como a matéria-prima consumida, através desta ferramenta de gestão ambiental de fácil execução, baixo custo e acelerado retorno dos investimentos, pois é nas atividades empresariais que se concentram os maiores e mais graves riscos de poluição.

As organizações que não cogitarem a relação com o ambiente, como argumento de sobrevivência, estarão evidenciando-se ao perigo de perder futuros negócios.

II. PRODUÇÃO MAIS LIMPA (PML)

A PML deve ser compreendida como a adaptação contínua de uma estratégia preventiva integrada englobando processos, produtos e serviços a fim de alcançar benefícios econômicos e sociais, para a saúde humana e o meio ambiente.

Falar em PML é incorporar a ideia de que uma produção mais limpa é um padrão que emite menos GEE- gases de efeito estufa [4]. É uma abordagem de assimilação e reparação para a preservação ambiental, que diligência a criatividade das pessoas para investigar as etapas dos procedimentos de manufatura e o ciclo de vida dos produtos, inclusive os produtos usados nos escritórios e nos lares.

A PML é uma aproximação que requer ações para conservar energia e matéria prima, eliminar substâncias tóxicas e reduzir os desperdícios e a poluição resultantes dos produtos e dos processos produtivos [5]. É vista entre os conhecedores como um modelo moderno de tratar as indagações do meio ambiente nos métodos industriais.

O aspecto mais importante é que a mesma requisita não somente o aperfeiçoamento tecnológico, mas a utilização de *know-how* e a alteração de atitudes. Ambos reunidos é que fazem o diferencial em relação às outras técnicas ligadas a processos de produção, com intuito de avaliar com precisão os custos reais e os benefícios de implementação de práticas de produção mais limpa, é fundamental para usar os métodos de avaliação adequados que suportam a tomada de decisões processos [6].

II.1 PRINCÍPIOS DA PML

O princípio básico da metodologia PML é eliminar, ou pelo menos reduzir, a geração de resíduos durante o processo produtivo de uma determinada empresa. Para [7], isto porque os resíduos que a empresa gera implicam desperdício de matéria – prima e insumos como água e energia. Assim, uma vez gerados, representam um valor monetário investido na empresa que não gera qualquer lucro para a mesma.

Práticas de produção mais limpas representam um importante aliado na otimização de matérias-primas, e, assim, na conservação da recursos econômicos [8].

II.2 ECO-EFICIÊNCIA

Alicerça-se na ideia de que a atenuação de materiais e energia por unidade de produtos ou serviços aumenta a competitividade da empresa, ao mesmo tempo em que abate as ameaças sobre o meio ambiente, seja como procedência de recurso, ou como depósito de resíduos.

A eco-eficiência é alcançada por meio do fornecimento de bens e serviços que satisfazem às necessidades humanas e aumentam a qualidade de vida, sendo oferecidos a preços competitivos, reduz progressivamente os impactos ecológicos e ambientais, até um nível compatível com a capacidade de sustentação estimada da terra [9].

Os conceitos de eco-eficiência e PML são quase sinônimos. A ligeira diferença entre eles é que o eco-eficiência começa a partir de questões de eficiência econômica, que têm benefícios ambientais positivos, ao mesmo tempo que começa a PML. Ambos se completam no desenvolvimento empresarial sustentável. De forma que, eco-eficiente expressa fazer mais com menos e de forma melhorada, ou, utilizar mais apropriadamente os recursos naturais nos crescimento econômicos. Ainda que sejam nomes diferentes, o significado é praticamente o mesmo para eco-eficiência e para PML.

A PML se insere no contexto dos benefícios que a Gestão Ambiental traz para as atividades empresariais. Esses reconhecidos benefícios acontecem na redução de custos da empresa, na melhoria da sua imagem, na legalização das atividades produtivas, entre outros. Para [10] fala que indicadores de eco-eficiência mais holístico devem ser mais considerados e introduzidos para a indústria como o próximo passo para criar o verdadeiro desenvolvimento sustentável.

Esse conceito torna-se necessário, pois ainda há muito desperdícios de recursos naturais, afetando o desempenho operacional, resultados econômicos e agredindo a natureza, entende-se que é necessário valorizar tais perdas nesse agrupamento de análise de custos de produção. É impressionante a quantidade de recursos naturais ainda inofensivos descartados pela indústria. A eco-eficiência é vista como uma chave estratégia para a sustentabilidade industrial [11]. Adotando procedimentos de modificação no processo, facilitará a manufatura do produto, ou seja, são intervenções realizadas não no produto, mas no processo de fabricação, quando os meios de produção serão analisados para assinalar as oportunidades de redução de desperdícios através da adesão de boas ações de operação e substituição de manuseio manual.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Objetivo de uma metodologia é conduzir a uma verdade, para descoberta do novo, contribuindo a uma discussão crítica, a cerca de uma filosofia na qual todo conhecimento depende de algo e pode nos gerar o saber. Para [12], diz que a metodologia pode, entretanto, contribuir oferecendo pontos de vista que tornem possível uma discussão crítica sobre a ciência, e

de sugerir parâmetros que propiciem uma avaliação dos resultados da produção científica.

A pesquisa quanto à sua natureza foi de abordagem quantitativa, na qual utiliza a descrição matemática como uma linguagem, ou seja, a linguagem matemática é utilizada para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis etc. [13]. O papel da estatística serviu para estabelecer a relação entre o modelo teórico proposto e os dados observados na visita técnica. Essa abordagem foi utilizada através da observação que é utilizada para entender como indivíduos usam seu tempo em situação de trabalho, e ser o único instrumento de pesquisa e coleta de dados que permite informar o que ocorre de verdade, na situação real, de fato [14].

Tais observações foram de extrema importância para o andamento deste estudo, pois através da mesma identificou-se por meio de visita técnica nas dependências da empresa, feita primeiramente para identificar e reconhecer o local, tipos de serviços prestados, porte e dados gerais da empresa e quais cuidados ambientais a empresa vem tomando em relação aos seus desperdícios. Quando, foi observado que durante o processo produtivo há um desperdício considerado elevado.

Considerando que o preço da matéria-prima custa o equivalente a R\$ 4,50 o quilograma, constatou-se que em 24h (vinte e quatro horas) referentes aos três turnos de trabalho quando não há manuseio da matéria-prima, considera-se um desperdício de polietileno de 6 (seis) à 15 (quinze) kg, gerando um custo aproximado de R\$ 27,00 à R\$ 67,50, porém, quando ocorre o manuseio da mesma gera um desperdício de polietileno em média de 280 (duzentos e oitenta) à 4.500 (quatro mil e quinhentos) quilograma em 24h (vinte e quatro horas) de trabalho diário, gerando um custo aproximado de R\$ 1.260,00 à R\$ 20.025,00, somando esses valores ao mês chega-se ao valor estimado de R\$ 37.800,00 à R\$ 364.500,00.

Ao adotar a metodologia correta à empresa será beneficiada com uma economia de aproximadamente R\$ 402.300,00 ao mês reduzindo assim o consumo elevado de matéria-prima, os impactos positivos foram registrados quando estas práticas mais limpas são implementadas, tanto em termos de eficiência e desempenho financeiro [15].

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com capacidade produtiva de 900 toneladas/mês, a Empresa APM Plásticos da Amazônia, é fabricante de filmes esticáveis de polietileno (*Stretch Film*), no Pólo Industrial de Manaus. O parque industrial da empresa é composto de equipamentos de última tecnologia que confirmam sua alta produtividade, com excelente qualidade final dos produtos, fabricados. A empresa compõe o grupo Y, que detém mais de 65% do mercado nacional e Mercosul, sendo líder neste setor. A APM Plásticos da Amazônia está no PIM, desde janeiro de 2002, e gera 70 empregos diretos e indiretos em Manaus.

IV.1 PROCESSOS E LINHA DE PRODUTOS

O *Stretch Film* é gerado mediante blendas de polietileno linear de baixa densidade em coextrusoras planas (*Cast*) de 3 a

31 camadas, o produto é disponibilizado nas versões manual e automática, como mostra a figura 1.



Figura 1 - Matriz coextrusora CAST.

As máquinas (*CAST*) são de alta produção de *film stretch* e *film* de alto desempenho e resistência mecânica. Esse tipo de filme é utilizado na paletização de cargas, com a finalidade de permitir o armazenamento e transporte de forma rápida e segura. É estirável aplicável para uso doméstico e em escala industrial. Uma embalagem que tem o design de abrigar e unitizar cargas paletizadas e diversos produtos, garantindo o processo de movimentação e transporte, protegendo-os contra violação, poeira e umidade como mostra a figura 2.



Figura 2 - Filme Esticáveis de Polietileno (stretch film).

Os polietilenos são flexíveis, leves e transparentes de baixa densidade, (PEBD) é utilizado na produção de filmes termoencolíveis ou termocontráteis, como fios e cabos para televisão e telefones, filmes de uso em geral, sacarias industrial, tubos de irrigação, mangueiras, embalagens flexíveis, impermeabilização de papel, camada selante em estruturas cantonadas (embalagens longa vida), entre outros [16].

O *Filme Stretch* é processado com resinas 100% virgens de PELBD em uma máquina de matriz plana que permite a produção de estruturas com até 7 (sete) camadas, o que propicia características especiais quando comparados aos filmes produzidos em máquinas monocamadas.

IV.1.1 TIPOS DE FILME STRETCH

Representa a melhor solução técnico-econômica para a paletização e unitização de cargas, oferecendo a melhor relação custo \times benefício, além disso, é um produto reciclável e atóxico, como mostra a figura 3ª e 3B.



Figura 3.A - *Stretch* com tubete.



Figura 3.B - *Stretch* sem tubete.

O *stretch* com tubete é um *stretch* mais convencional que é vendido em grandes proporções. Já o *stretch* sem canudo é um *stretch* mais caro, por ser fabricado com material mais rico, e é uma tecnologia nova no mercado, tente a se expandir, pois deixa de desperdiçar uma grande quantidade de papel, contribuindo assim com o meio ambiente. A figura 4 mostra o desperdício da matéria-prima, advindo do transporte logístico.



Figura 4 - Desperdício nos paletes.

Falhas no transporte logístico afetam diretamente no desperdício da matéria-prima. Devido o local de descarregamento ser mal planejado e estruturado, ao chegarem às empilhadeiras para transportar a matéria-prima, ocorre um grande desperdício no traslado da mesma. A figura 5 mostra o abastecimento dos Silos intermediários e seus respectivos reservatórios.



Figura 5 - Silos intermediários.

Fica evidente a falta de organização neste setor de abastecimento, são tubulações expostas, assim como objetos fora do lugar, diversos fatores que influenciam a contaminação da matéria-prima.

A figura 6A e 6B mostra os desperdícios advindos do manuseio da matéria-prima.



Figura 6.A - Desperdício de matéria-prima.

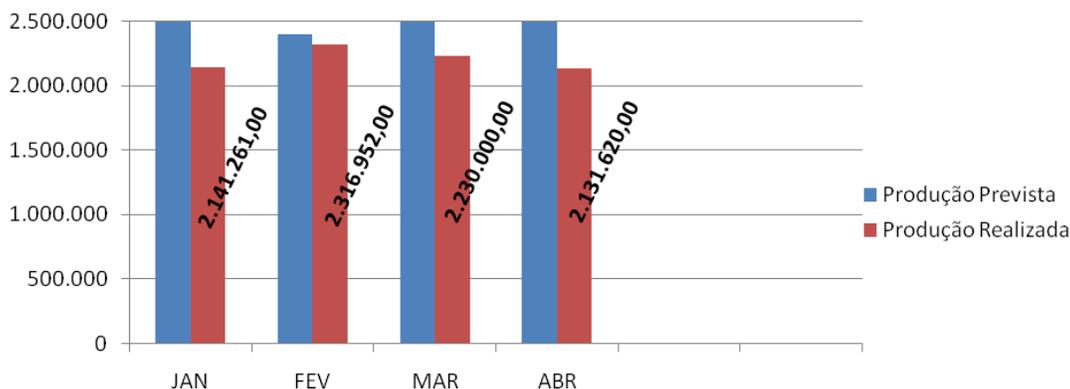


Figura 6.b - Desperdício de matéria-prima.

Evidência como as instalações dos Silos intermediários estão defasadas, devido o aumento do consumo das máquinas, gerando um alto índice de desperdícios na troca de especificações do produto, que ainda é feita manualmente.

O gráfico a seguir mostra a produção/mês e seus respectivos desperdícios.

Gráfico 1 - Produção x desperdício.



O gráfico demonstra análise da produção prevista e realizada, revelando dados estatísticos da porcentagem de desperdícios da situação atual da organização. Revela que nos respectivos meses que vão de janeiro a abril a empresa não utilizou a capacidade máxima de produção devido manuseio incorreto da matéria-prima. O índice de desperdício no mês de janeiro chega á 14,3% em relação á capacidade máxima produtiva, o que significa um desperdício de 358.739 kg de matéria-prima. No mês de fevereiro chega a 3,5% o que gera um desperdício de matéria-prima de 83.048 kg. No mês de março o desperdício é de 10,8% que representa uma significância de 270.000 kg de matéria-prima desperdiçada. Já no mês de abril a porcentagem de desperdício é de 14,7% o que representa um desperdício real de matéria-prima de 368.380 kg.

Mediante aos dados analisados percebe-se uma grande demanda de desperdícios nos respectivos meses, e que se a mesma não mudar a estrutura logística de manuseio da matéria-prima, além de perder financeiramente, acaba denegrindo o meio ambiente. O desafio não é criar novos, mas sim para recriar o os já existentes, a fim de fornecer a solução que melhor se adapta ao real problema [16].

V. CONCLUSÕES

A gestão ambiental é, hoje, uma função indispensável em toda organização, de qualquer tipo e porte. O uso eficiente de recursos naturais proporciona alternativas para minimização de desperdícios de qualquer tipo. O foco principal da produção e do consumo sustentável é mais do que a soma das duas partes, trata-se do propósito de aproximação integrada e mudanças. A PML decorre basicamente da necessidade de prevenir a poluição durante todo o seu processo de produção, enquanto a eco-eficiência preocupa-se também com o produto em si e seus impactos ambientais. A partir do momento que a empresa em estudo fizer uso dessa metodologia compreenderá a necessidade de automatizar suas linhas de abastecimento, criando tubulações

fixas e evitando o máximo possível o manuseio manual. E caso a indústria de materiais plásticos queira minimizar seus desperdícios e o consumo excessivo de matéria-prima, e tornar-se mais eficiente e competitiva, uma forma de fomentar essa possibilidade, é incluir a PML juntamente com a eco-eficiência em seus programas de melhoria de qualidade na empresa como um todo.

VI. AGRADECIMENTOS

Ao Centro Universitário do Norte – UNINORTE e a Empresa APM Plásticos da Amazônia pelo apoio dado á pesquisa.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CATARINO Justina; Henriques, João , 2014. **Sustainable Value and Cleaner Production** - research and application in 19 Portuguese SME. J. Clean. Prod. 1- 8.
- [2] MAGRINI, Alessandra. **Impactos ambientais causados pelos plásticos: uma discussão abrangente sobre os mitos e os dados científicos**. Rio de Janeiro: E- Papers, 2012. p. 23.
- [3] SOUZA, André H. C. Botto e Souza. **Guia ambiental da indústria de transformação e reciclagem de materiais plásticos**. São Paulo: CETESB: SINDIPLAST, 2011. p. 18.
- [4] Almeida, Fernando. **Desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. p. 91.
- [5] Barbieri, José Carlos. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.p. 135.
- [6] Bonilla, S., Almeida, C., Giannetti, B., Huisingh, D., 2010. The roles of cleaner production in the sustainable development of

modern societies: an introduction to this special issue. J. Clean. Prod. 18, 1 - 5.

[7] Adissi, Paulo José. **Gestão ambiental**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

[8] VARÓN, L., SIERRA, D., BEDOYA, L., 2011. **Industrial: un aporte significativo a la producción más limpia y la construcción sostenible**. Producción y Limpia 6,128 - 135.

[9] POLTRONIERI, Elaine. **Empregabilidade: Empresas Privadas no Brasil**. Biblioteca 24 horas, 2011. p.139.

[10] YUTAO, Wang, JIAN Liu, Lars HANSSON, Kai ZHANG, Renqing WANG. 2010. **Implementing stricter environmental regulation to enhance eco-efficiency and sustainability: a case study of Shandong Province's pulp and paper industry, China**. 19, 303 - 310.

[11] FERNANDÉZ-VIÑÉ, M.B., Gómez-Navarro, T., Capuz-Rizo, S.F., 2013. **Assessment of the public administration tools for the improvement of the eco-efficiency of small and medium sized enterprises**. J. Clean. Production. 47, 265 - 273.

[12] Carvalho, Maria Cecília Maringoni de. **Construindo o saber: Metodologia científica – Fundamentos e técnicas**. 24. ed. Campinas, SP: Papirus, 2012. p.10.

[13] TEIXEIRA, Elizabeth. **As três metodologias: acadêmica, da ciência e da pesquisa**. 9. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012. p. 136.

[14] ROESCH, Sylvia Maria Azevedo. **Projetos de estágio e de pesquisas em administração: guia para estágios, trabalhos de conclusão, dissertações e estudos de caso**. 3. ed. 7. reimpr. São Paulo: Atlas, 2012. p.148.

[15] ZENG, S.X., Meng, X.H., Yin, H.T., Tam, C.M., Sun, L., 2010. **Impact of cleaner production on business performance**. J. Clean. Production. 18, 975 - 983.

[16] FERNANDÉZ-VIÑÉ, M.B., Gómez-Navarro, T., Capuz-Rizo, S.F 2010. **Eco-efficiency in the SMEs of Venezuela**. Current status and future perspectives. J. Clean. Prod.18, 736 - 746.

[17] SESI – Serviço Social da Indústria. **Indústria de transformação do material plástico: manual de segurança e saúde no trabalho**. São Paulo: SESI-SP, 2012. p.19.



Design of cylindrical spur gears using TRIZ

Jorge L Moya Rodríguez, Angel S. Machado, Reiner. Robaina
Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Central de Las Villas.
Carretera a Camajuaní, Km. 3 1/2, CP 54830. Santa. Clara. Villa Clara. Cuba.
*jorgemoyar@gmail.com

ABSTRACT

TRIZ is a methodology, tool set, knowledge base, and model-based technology for generating innovative ideas and solutions for problem solving. TRIZ provides tools and methods for use in problem formulation, system analysis, failure analysis, and patterns of system evolution (both 'as-is' and 'could be'). TRIZ, in contrast to techniques such as brainstorming (which is based on random idea generation), aims to create an algorithmic approach to the invention of new systems, and the refinement of old systems. Some TRIZ is in the public domain. Some TRIZ resides in knowledge bases held by commercial consulting organizations. A complete and open TRIZ development process is not yet evident. Various camps vie for control of TRIZ and interpretation of its findings and applications. In this paper application of TRIZ principles to spur gear design is showed for first time.

Key words: Spur gears, TRIZ.

Diseño de engranajes cilíndricos de dientes rectos usando TRIZ

RESUMEN

TRIZ es una metodología, un sistema de herramientas, una base de conocimiento, y una tecnología basada en modelos para generar ideas y las soluciones innovadoras para la solución de problemas. TRIZ proporciona las herramientas y los métodos a usar en la formulación de problemas, el análisis de sistemas, el análisis de fallas, y patrones de evolución de los sistemas (tanto de su situación como de cómo podría ser.. TRIZ, en contraste con técnicas tales como las tormentas de ideas (que se basan en la generación al azar de la idea), apunta a crear un acercamiento algorítmico a la invención de nuevos sistemas, y el refinamiento de viejos sistemas. Algunas teorías TRIZ están en el dominio público, otras residen en las bases de conocimiento de organizaciones de asesores comerciales. Un proceso de desarrollo completo y abierto de TRIZ no es todavía evidente y determinante. Varios campos compiten para el control de TRIZ y la interpretación de sus resultados y usos. En este artículo se muestra por vez primera la aplicación de los principios TRIZ al diseño de engranajes cilíndricos de dientes rectos.

Palabras claves: Engranajes, TRIZ.

I. INTRODUCCIÓN

Entre los sistemas de innovación tecnológica más poderosos y sistematizados actuales, se encuentra el llamado "Método TRIZ", acrónimo ruso de la Teoría de Resolución de Problemas Inventivos (Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch).

TRIZ es un método probado para potenciar la innovación y se ha aplicado con éxito en diferentes ramas de la ciencia. Entre las importantes empresas que han adoptado la metodología en sus productos o procesos, se pueden mencionar: Jet Propulsion Laboratories, BMW, Siemens, Intel, Ericsson, Texas Instruments, Bosch, Toyota, Philips, LG Electronics, entre otras muchas [1].

En el marco de las aplicaciones TRIZ a la ingeniería, no se tiene referencia de trabajos enfocados a transmisiones por engranajes. Una transmisión por engranajes exige un fuerte compromiso entre, los factores geométricos y los que tienen en cuenta la influencia de los concentradores de tensión para

garantiza la capacidad de carga portante, régimen de explotación y vida útil deseada.

Hasta inicios de 1946 se pensaba que el proceso mental, que lleva a producir un invento o una innovación tecnológica, era algo fortuito que dependía del estado mental del inventor. Aún en la actualidad pocas personas, incluyendo a los psicólogos y estudiosos del proceso creativo e innovador, saben que existe un método sistemático para producir inventos llamado TRIZ, acrónimo, del idioma ruso, de las palabras: *Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadach*. La misma que se ha traducido a varios idiomas como: The Russian Theory of Inventive Problem Solving, en Inglés y en español: Teoría Innovadora para la Solución de Problemas [2, 3].

El ingeniero ruso de 22 años Genrich Altshuller, que por entonces era un examinador de patentes de la armada Soviética, tamizó 1.500.000 patentes, quedándose con 200.000 de ellas tratando de buscar solo los problemas inventivos y la forma en que fueron resueltos. De estas solo 40.000 patentes fueron consideradas por inventivas en el año 1990 [4]. Ello le llevó a

catalogar una serie de pasos necesarios, presentes en la mayoría de invenciones y que podían aplicarse a cualquier nueva invención que se intentara acometer [5].

Se trata de una metodología de resolución de problemas basada en un acercamiento lógico y sistemático. TRIZ puede ser utilizado como un instrumento intelectual poderoso para solucionar problemas técnicos y tecnológicos, sencillos y difíciles, más rápidamente y con mejores resultados [6].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

II.1 ALGUNOS CONCEPTOS Y DEFINICIONES

a) Las contradicciones en la Metodología TRIZ

Las contradicciones se consideran el origen de todo problema técnico. Una contradicción surge cuando dos necesidades de un producto o proceso están en conflicto y sin embargo están asociadas para alcanzar un objetivo [7].

b) El concepto de idealidad

Un concepto fundamental es el de *idealidad* que según el enfoque de TRIZ es la tendencia natural de todos los sistemas técnicos de acuerdo a un proceso de evolución creciente y se representa a menudo como la suma de todas las funciones útiles de un sistema dividido por la suma de todos sus efectos dañinos o nocivos [8]. Es decir:

$$I = \Sigma ED / (\Sigma EI + \Sigma C) \quad (1)$$

Donde:

I = Sistema tecnológico Ideal.

ΣED = Sumatoria de los efectos deseados.

ΣEI = Sumatoria de los efectos indeseados.

ΣC = Sumatoria de los costos del sistema tecnológico.

Todos los tipos de costos: los efectos indeseados, los desechos, los elementos contaminantes, son considerados como efectos indeseables. El costo del sistema incluye el espacio físico utilizado, el ruido provocado, la energía consumida, el tiempo implicado, los desechos y los retrabajos, en fin, todo lo que resulte de una calidad deficiente. Todas las modificaciones aceptadas buscan la idealidad, o sea, aumentar el numerador y/o reducir el denominador de la ecuación anterior [9].

II.2 APROXIMACIÓN A LA METODOLOGÍA TRIZ

El planteamiento adecuado de cualquier problema de inventiva o innovación tecnológica, proporciona en gran medida, o la solución más adecuada o señala el mejor camino a seguir [10].

La problemática se potencia cuando se examinan herramientas y/o métodos de apoyo al diseño, un análisis detallado indica que de todos los ámbitos del diseño, especialmente el relacionado con la mecánica y sus derivaciones, es el diseño conceptual el más huérfano de apoyo de herramientas, metodologías y hasta tecnologías. Esto hasta que surgiera con fuerza la alternativa del Método TRIZ. Es básicamente una metodología estructurada para la innovación, que examina los problemas de inventiva en forma metódica, explorando espacios de soluciones para generar ideas creativas. La figura 1 ilustra la fuerza metódica de TRIZ, indicando que el problema inicial pasa por una serie de etapas hasta que es posible formular el problema correctamente, identificar la contradicción que ha de resolverse correctamente para resolver e implantar la solución [11].

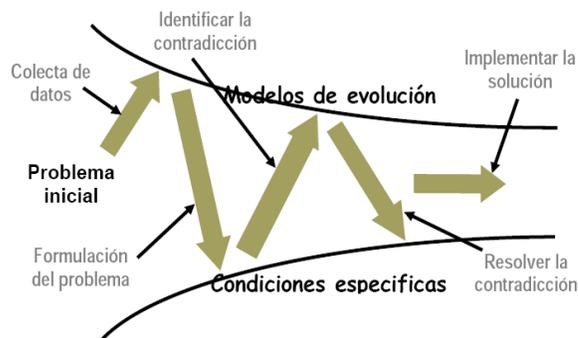


Figura 1. Parámetros conceptuales de TRIZ [11].

Todos los modelos de diseño, las metodologías e incluso las filosofías de diseño ven en TRIZ, lo que han venido a definirse como “una actividad”, dominios de interacción entre el usuario y el objeto”. La gran cuestión es el corazón del proceso de diseño, esto es el proceso de creación, de inventiva, de creación de una cosa nueva, que se denomina *diseño conceptual* [11]. Autores como Rantanen y Domb [12] presentan los pasos de la metodología TRIZ, como se muestra en la figura 2.

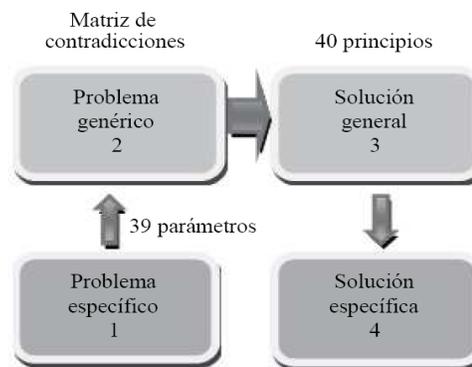


Figura.2. Esquema de solución de problemas usando TRIZ [13].

Dónde:

1. Problema particular o específico. Este problema específico se debe plantear en un problema genérico, es decir, se deben usar los 39 parámetros técnicos de TRIZ. Todo sistema puede plantearse como un problema genérico y este problema tendrá una contradicción particular.

2. Problema genérico: En esta etapa, vamos a lo que en TRIZ se conoce como la Matriz de Contradicciones, cuya función es mostrar cómo otros problemas generales análogos al que planteamos han sido resueltos por medio de la historia del conocimiento.

3. Solución general: Son conocidas como Principios de Inventiva.

4. Solución específica: Finalmente, al usar estas soluciones generales, tratamos de solucionar nuestro problema específico. Este tipo de procedimiento nos permite romper con la inercia psicológica y, de esta manera, se logran soluciones innovadoras a problemas concretos.

II.3 PRINCIPIOS INVENTIVOS Y CARACTERÍSTICAS O PARÁMETROS DE LOS SISTEMAS TECNOLÓGICOS QUE PROPONE ALTSHULLER.

Altshuller desarrolló los denominados “40 principios de invención”, que se especifican en la tabla 1.

Tabla 1.1- Principios de invención[10].

1. Segmentación	11. Precaución previa	21. Pasar rápidamente	31. Uso de Materiales porosos
2. Extracción	12. Equipotencialidad	22. Convertir el daño en beneficio.	32. Cambios de color
3. Calidad Local	13. Inversión	23. Retroalimentación	33. Homogeneidad
4. Asimetría	14. Esfericidad	24. Mediador	34. Rechazo y regeneración de partes
5. Combinación	15. Dinamicidad.	25. Autoservicio	35. Transformación de estados químicos o físicos.
6. Universalidad	16. Acciones parciales, sobre puestas o excesivas	26. Copiar	36. Transiciones de Fase
7. Anidación	17. Mover a una nueva dimensión.	27. Vida corta barata.	37. Expansión Térmica
8. Contrapeso	18. Vibraciones mecánicas	28. Reemplazar un sistemas mecánico	38. Oxidación acelerada
9. Acción contraria anticipada	19. Acción Periódica	29. Uso de sistemas hidráulicos o neumáticos.	39. Ambiente inerte
10. Acción anticipada	20. Continuidad de la acción útil	30. Membranas flexibles o películas delgadas	40. Materiales compuestos

A continuación en la tabla 2 se muestra los 39 parámetros o características que tienen los sistemas tecnológicos propuestos por Altshuller.

Tabla.2. Parámetros o características [10].

1. Peso de un objeto móvil	11. Tensión, presión	21. Potencia	31. Efectos de daños colaterales.
2. Peso de un objeto estacionario	12. Forma	22. Pérdida de energía	32. Manufacturabilidad o facilidad para la fabricación
3. Longitud de un objeto móvil	13. Estabilidad del objeto.	23. Pérdida de materia	33. Conveniencia de uso.
4. Longitud de un objeto estacionario	14. Resistencia	24. Pérdida de información	34. Facilidad de reparación
5. Área de un objeto móvil	15. Durabilidad de un objeto móvil	25. Pérdida de tiempo	35. Adaptabilidad
6. Área de un objeto estacionario	16. Durabilidad de un objeto estacionario	26. Cantidad de Sustancia o de materia	36. Complejidad del dispositivo u objeto
7. Volumen de un objeto móvil.	17. Temperatura	27. Confiabilidad	37. Complejidad de control
8. Volumen de un objeto estacionario	18. Brillantez	28. Precisión en la medida	38. Nivel de automatización
9. Velocidad	19. Energía gastada por el objeto móvil.	29. Precisión en la manufactura	39. Productividad
10. Fuerza	20. Energía gastada por el objeto estacionario.	30. Daño externo que afecta a un objeto	

II.4 MATRIZ DE CONTRADICCIONES

La Matriz de Contradicciones es el lugar donde se contrastan las características o parámetros del sistema tecnológico que se deben mejorar, frente a los parámetros de diseño que se deterioran o empeoran. En la intersección de estos se establecen los principales principios de inventiva involucrados que han de ser empleados en solución de una contradicción

particular. La matriz de contradicciones muestra los principios que han de ser empleado en la solución de la contradicción.

II.5 PASOS QUE COMPRENDE EL USO DE LA MATRIZ DE ALTSHULLER [11]:

1. Ante un determinado problema de diseño se ha de identificar los elementos del mismo con dos parámetros o características.

- Posteriormente se identifica la correspondencia entre los dos parámetros o características de diseño citadas con alguno de los 39 parámetros generalizados de Altshuller.
- Se buscan los principios de inventiva que permitan resolver el conflicto de diseño usando la matriz. Existen herramientas desarrolladas en Excel en que los parámetros generales tienen números asociados con ellos, se ha de buscar el correspondiente corte entre las filas y columnas que poseen esos números asociados.
- Los números que aparecen en la celda correspondiente, corresponden a principios de inventiva.
- Se debe analizar cada uno de los principios de inventiva resultantes y establecer si están en correspondencia con la naturaleza del problema.

Se ha de tratar de adaptar los principios de inventiva correspondientes a posibles soluciones del problema de diseño.

III. RESULTADOS

III.1 EJEMPLO DE APLICACIÓN TRIZ AL DISEÑO DE TRANSMISIÓN DE ENGRANAJES CILÍNDRICOS DE DIENTES RECTOS.

Se desea diseñar una transmisión abierta de engranajes cilíndricos de dientes rectos, cuyas exigencias técnicas de diseño se muestran en la tabla 3:

Tabla 3. Exigencias técnicas de diseño.

Relación de transmisión, $U_{t.e.}$	2,7778 ul
Potencia de entrada, P	5 kW
Velocidad de entrada, $n_{entrada}$	150 rpm
Eficiencia de la transmisión, $\eta_{t.e.}$	0,97
Vida útil deseada	10 000 hr
Material disponible	GOST 38ChA
Posible Dureza	45 – 50 HRC
Carga Ligera:	120% Sobrecarga
Tratamiento térmico	T.C.A.F
Ruedas apoyadas simétricamente	
Se desea que transmisión sea conservadoramente lo menos voluminosa.	

III.2 PROPUESTA DE DISEÑO SIGUIENDO LOS PASOS DE LA METODOLOGÍA TRIZ

III.2.1 PROBLEMA PARTICULAR O ESPECÍFICO

En las transmisiones cilíndricas de dientes rectos, resulta crítico el comportamiento del diente en la resistencia a la fatiga por flexión. Por lo que se requiere encontrar cuales son las condiciones geométricas que garantizan el mejor desempeño de este. En el caso de las transmisiones abiertas que se desea garantizar la máxima resistencia a la flexión, se ha demostrado, que haciendo cambios en la geometría del diente puede variarse el comportamiento de la transmisión; sin embargo se deteriora el factor de recubrimiento, el cual influye notablemente en la potencia a transmitir.

Parámetro que se desea mejorar: Resistencia a la fatiga por flexión, el cual es uno de los criterios más importantes

a considerar en el diseño de engranajes, también conocido como fallo por rotura en la base del diente. Se corresponde con el parámetro número 14 (Resistencia).

Parámetro que se deteriora: Factor de recubrimiento.

Este parámetro es de gran importancia en las transmisiones por engranajes, dando una idea de los pares de dientes que se encuentran simultáneamente en contacto a lo largo de la línea práctica de engranajes.

Mientras más alto sea este valor, más suavemente funcionará la transmisión y más potencia será capaz de transmitir [14]. Se corresponde con el parámetro número 21 (Potencia).

III.2.2 PROBLEMA GENÉRICO.

Selección de los principios de inventiva usando la matriz de contradicciones. A continuación se muestra en la tabla 4, la intersección de los parámetros contradictorios.

Tabla 4. Matriz de contradicciones.

	1. Peso del objeto móvil	21. Potencia	39. Capacidad/productividad
1. Peso del objeto móvil	-	12, 36, 18, 31	35, 3, 24, 37
14. Resistencia	1, 8, 40, 15	10, 26, 28, 35	29, 35, 10, 14
39. Capacidad/productividad	35, 26, 24, 37	35, 20, 10	-

La matriz de contradicciones propone los principios de inventiva que según Altshuller deben ser empleados en la solución de la contradicción (10, 26, 28 y 35).

III.2.3 ANÁLISIS DE CADA UNO DE LOS PRINCIPIOS DE INVENTIVA

Principio 10. Acción anticipada. (No se corresponde con la naturaleza del problema)

Principio 26. Copiado. (No se corresponde con la naturaleza del problema)

Principio 28. Reemplazar un sistema mecánico con otro sistema. (No se corresponde con la naturaleza del problema)

Principio 35. Transformación de propiedades. (No se corresponde con la naturaleza del problema)

Luego de un estudio detallado de cada uno de los principios que sugiere la matriz, así como de los restantes propuestos por el profesor Altshuller, no se dispone principios que tenga asociada una definición que permita resolver la contradicción del problema planteado. Teniendo en cuenta que las transmisiones por engranajes presentan un alto grado de exigencias y especificaciones de diseño, propias de esta metodología para dar respuestas a las diferentes exigencias técnicas que se presentan, se propone incorporar el siguiente principio de inventiva:

Variación de la geometría:

Definición: Reacondicionar la forma geométrica de un objeto, sistema tecnológico o parte de este, en función de su comportamiento.

Argumentación: Está demostrado que en el diseño mecánico, muchas veces es la variación de la geometría de un objeto o sistema tecnológico, la que da solución a disímiles problemas de ingeniería, puesto que en muchas ocasiones de esta depende el comportamiento.

Como ejemplo se puede mencionar el cambio en la aerodinámica del fuselaje de los aviones, en la carrocería de los automóviles, trenes y todos los medios de transportes, el cual influye notablemente en la resistencia al aire. Los grandes depósitos de combustibles con formas de domos geodésicos, cilíndricos con casquetes esféricos, en los cuales a de garantizarse la máxima resistencia al almacenar grandes volúmenes.

La tendencia en las cámaras de combustión de los motores de combustión interna a ser esféricas y así garantizar la menor superficie de contacto para que la mayor cantidad de energía sea transformada en trabajo.

En el diseño de perfiles para la carpintería de aluminio donde la geometría define la resistencia y rigidez con el menor costo por concepto de material.

Se puede afirmar que la geometría juega un papel importante en la resistencia, costos, fiabilidad, durabilidad, etc de los sistemas tecnológicos. Por lo que el principio de inventiva, **variación de la geometría** el cual responde a la definición antes planteada, se corresponde con muchas de las soluciones en el marco de la ingeniería.

III.2.4 SOLUCIÓN GENERAL

Aplicar el principio de inventiva, **variación de la geometría** y así garantizar la máxima resistencia a la flexión para las exigencias de diseño planteadas.

III.2.5 SOLUCIÓN ESPECÍFICA

Para garantizar la resistencia a la fatiga por flexión, se cambia la geometría del diente mediante el desplazamiento de la herramienta. La esencia del desplazamiento del engranaje

consiste en que, según sea la necesidad del cambio de unas u otras características del mismo, se utilizan distintos sectores de la evolvente de la circunferencia básica dada [15].

El grado de desplazamiento, se determina por los coeficientes de corrección X_1 y X_2 . Con el cambio de la magnitud de éstos, varían las dimensiones relativas de los dientes, puesto que cambia el desplazamiento real de la herramienta, con respecto a la pieza que se elabora [15].

Mediante el desplazamiento, puede aumentarse la capacidad portante de los engranajes [16-18] debido a:

- Engrosamiento del diente cerca de su base.
- Posibilidad de reducir el número de dientes y aumentar respectivamente el módulo.
- Aumento de los radios de curvatura de las superficies de la evolvente.
- Disminución del deslizamiento específico.

III.2.6 CÁLCULO DE RESISTENCIA IMPLEMENTANDO EL PRINCIPIO “VARIACIÓN DE LA GEOMETRÍA”.

Como herramienta de cálculo se utiliza el programa desarrollado por la compañía AUTODESK, denominado Autodesk Inventor Professional 2008.

El mismo cuenta con un módulo de cálculo de engranajes cilíndrico de dientes rectos denominado *Spur Gears Component Generator*, que permite realizar tanto el cálculo geométrico como el chequeo de resistencia por las metodologías ANSI, Bach, Merrit, ISO, DIN y CSN. Para el diseño de la transmisión se selecciona la metodología ISO la cual responde al procedimiento seguido en la norma internacional ISO 6336(Todas las variables están acorde con la norma utilizada).

Parámetros geométricos de diseño:

Selección de los coeficientes de corrección para máxima resistencia a la flexión [18].

Z_1	X_1	Z_2	X_2
18	1,05	50	0,36

La caja de diálogo *Design* figura 3, muestra todos los parámetros del cálculo geométrico.

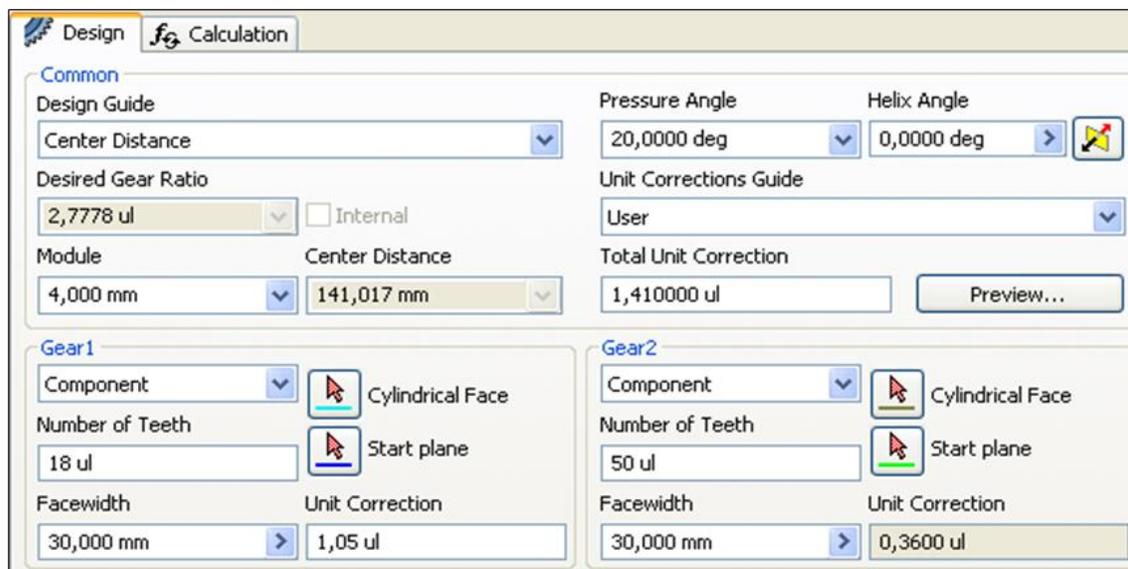


Figura 3. Caja de diálogo Design.

La caja de diálogo *Calculation* figura 4, muestra los valores y parámetros seleccionados para el chequeo de resistencia.

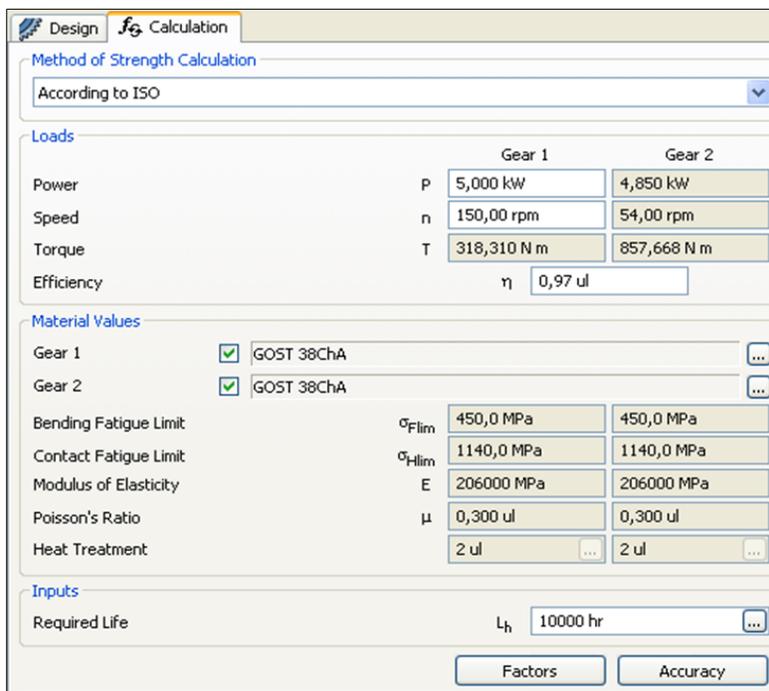


Figura 4. Caja de diálogo Calculation.

Teniendo en cuenta la influencia que tiene cambiar el perfil del diente sobre el factor de recubrimiento se muestran en la tabla 5 los valores obtenidos para las siguientes variantes:

Tabla.5. Valores del factor de recubrimiento.

Variantes		Factor de recubrimiento
No. 1	Transmisión sin desplazamiento, $X\Sigma=0$	1,6422
No. 2	Transmisión con desplazamiento, $X\Sigma= 1,41$	1,2106

Teniendo en cuenta la influencia que tiene cambiar el perfil del diente sobre el factor de recubrimiento se muestran en la tabla 5 los valores obtenidos para las siguientes variantes:

Tabla.5. Valores del factor de recubrimiento.

Variantes		Factor de recubrimiento
No. 1	Transmisión sin desplazamiento, $X_{\Sigma}=0$	1,6422
No. 2	Transmisión con desplazamiento, $X_{\Sigma}=1,41$	1,2106

Nota: Para ambas variante se tuvo en cuenta las mismas condiciones de diseño, tanto para el cálculo geométrico como para el chequeo de resistencia.

III. 2.7 RESULTADOS OBTENIDOS DEL CHEQUEO DE RESISTENCIA

Los valores mínimos de coeficientes de seguridad deseados son:

Esfuerzos de contacto	1
Esfuerzos de Flexión	1,3

A continuación la tabla 6, muestran los resultados obtenidos del cálculo de resistencia para ambas variantes.

Tabla 6. Resultados del cálculo de resistencia para ambas variantes

Variante No. 1		Variante No. 2	
Results		Results	
F_t	8841,941 N	F_t	8527,388 N
F_r	3218,203 N	F_r	3977,489 N
F_a	0,000 N	F_a	0,000 N
F_n	9409,397 N	F_n	9409,397 N
v	0,565 mps	v	0,565 mps
n_{E1}	19066,266 rpm	n_{E1}	16855,122 rpm
Gear 1		Gear 1	
S_H	0,834 ul	S_H	1,005 ul
S_F	1,172 ul	S_F	1,824 ul
S_{Hst}	1,105 ul	S_{Hst}	1,331 ul
S_{Fst}	3,220 ul	S_{Fst}	4,909 ul
Gear 2		Gear 2	
S_H	1,010 ul	S_H	1,116 ul
S_F	1,374 ul	S_F	1,398 ul
S_{Hst}	1,208 ul	S_{Hst}	1,335 ul
S_{Fst}	3,753 ul	S_{Fst}	3,785 ul

Una concepción *ideal* proporciona las funciones requeridas sin que, de hecho, tales funciones existan, puesto que el 'ideal' en este contexto es un enfoque subjetivo que opera como una meta referencial. Así es como evoluciona la calidad y los diseños [19].

IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS:

- Aunque la falla por resistencia que decide la rotura en las transmisiones abiertas no es la picadura, se ha de garantizar la resistencia límite del piñón y corona. Las tensiones de contacto en la variante No.1 sin desplazamiento, para el piñón supera la permisible, lográndose disminuir en un 17% al cambiar la geometría del diente haciendo el desplazamiento de la herramienta, variante No.2.
- Las tensiones a flexión en la variante No.1 sin desplazamiento, para el piñón no supera la permisible; pero no se obtiene el nivel de seguridad requerido para garantizar que no ocurran fallos por este concepto. Sin embargo al modificar la geometría del diente corrigiendo ambos engranes, variante No.2, las tensiones a flexión disminuyen en un 35,8 %.
- En ambas variantes las tensiones a flexión para la corona no supera el valor límite.

Análisis del concepto de idealidad.

	Transmisión sin desplazamiento $X_{\Sigma}=0$	Transmisión con desplazamiento $X_{\Sigma}=1,41$
ΣED	Se desea que la transmisión resista a: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Los esfuerzos de contacto (que no ocurra deterioro por fatiga superficial). ▪ Los esfuerzos en la base del diente (que no ocurra la fractura de los diente por fatiga volumétrica) 	
ΣC	La sumatoria de los costos de fabricación en ambas variantes son similares. Está demostrado que la fabricación de ruedas corregidas, no es más compleja y costosa que las ruedas no corregidas. Se fabrican en el mismo equipo con herramientas normalizadas. La diferencia en su fabricación consiste en que las piezas brutas se hacen con diámetros modificado, y en que se instala la herramienta con cierto desplazamiento en sentido radial. El cálculo técnico de las ruedas tampoco presenta dificultades.	
ΣEI	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El piñón falla a la fatiga por contacto. ▪ El piñón falla a la fatiga por flexión. 	El factor de recubrimiento disminuye en un 26,28%; pero no es inferior al 2,2 coeficiente recomendado para que el movimiento sea suave y continuo.

En la solución dada a este problema se cumple la Ley de Idealidad:

$$I = \Sigma ED / (\Sigma EI + \Sigma C)$$

Al corregir la transmisión se eliminan los efectos indeseados que se presentan sin hacer corrección. Teniendo en cuenta que los costos que intervienen son similares para ambos casos, se demuestra que el sistema evoluciona, cumple mejor su función. En este caso se logra aumentar la capacidad de carga de la transmisión.

V. CONCLUSIONES

- Se diseñó una transmisión por engranajes cilíndricos de dientes rectos, dando solución a la contradicción técnica haciendo uso de la metodología TRIZ, lo que demuestra la validez de esta teoría para el diseño de engranajes.
- Dado que no se encontró correspondencia entre los principios planteados por Altshuller para resolver el problema, se propone un nuevo principio que puede dar solución a múltiples contradicciones de diseño en este tipo de transmisión. Este principio se denominó variación de la geometría, el cual se aplicó con muy buenos resultados
- TRIZ aplicado al diseño, demuestra ser una metodología paso a paso que concibe de forma rápida la posible solución. Lo cual es muy útil para buscar la mejor solución.

VI. BIBLIOGRAFÍAS

- [1] *Método TRIZ*. 2008 [cited; Available from: <http://www.triz.net/metodoIndustriaDown.html>].
- [2] Kaplan, S., “*An introduction to TRIZ, the Russian Theory of Inventive Problem Solving*”. 1996: Ideation International, Inc.
- [3] Chamorro, C.V., *Metodología TRIZ para la Innovación Tecnológica e Inventiva*. 2008.
- [4] Isoba, O. *TRIZ ó La Teoría de Resolución de los Problemas inventivos*. 2006 [cited; Available from: <http://www.monografias.com/trabajos55/resolucion-problemas-inventivos/resolucion-problemas-inventivos.shtml>].
- [5] “*Método TRIZ*”. 2009 [cited; Available from: <http://www.triz.net/metodo.html>].
- [6] Korner, K. *Fundamentos de TRIZ – Lección 1 2009* [cited; Available from: <http://www.innovacion-sistematica.net/is/leccion1-fundamentosdetriz.html>].
- [7] López, D.E.C., ed. *La metodología triz y su impacto en la innovación industrial en México*. 1999.
- [8] Altshuller, G., *And suddenly the inventor Appeared, TRIZ, The Theory of inventive problem solving*. 1996, Technical Innovation Center, Inc Worcester, MA.
- [9] Córdova, E., *TRIZ: Une manière innovante de résoudre les problèmes d’Ingénierie*. 1999, Instituto Nacional Politécnico de Toulouse: Francia.
- [10] Maldonado, M.C., *Innovación Sistemática Mediante TRIZ*. 2005.
- [11] Martínez, P.S.P.F.P., *Alcances y aplicaciones en la fase de diseño conceptual de TRIZ, teoría de resolución acelerada de problemas del ámbito mecánico en Chile*. 2007, 8vo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica.
- [12] Rantanen, K.y.E.D., *Simplified TRIZ: New Problem Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals*. 2002, Boca Raton: FL: CRC St. Lucie Press.
- [13] Ames, W.C., *Administración TRIZ, la herramienta del pensamiento e innovación sistemática*. 2008.
- [14] Rodríguez, J.L.M., *El proyecto de curso en la Teoría de Mecanismos y Máquinas*. 1988.
- [15] Angel S. Machado Rodríguez, *Elevación de la capacidad portante en los engranajes cilíndricos mediante el desplazamiento del dentado*. 2007, 8vo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica.
- [16] Cherkashin, B.P., *Selección de los coeficientes de corrección óptimos para los dientes de un engranaje*. 1980, Viestnik Mashinostroenia.
- [17] Dudley, D.W., *Manual de Engranajes*. 1980, Continental: México.
- [18] Reshetov, D., *Elementos de máquinas*. 1985, Editorial Pueblo y Educación: La Habana.
- [19] Córdova, E., *La metodología triz y su impacto en la innovación industrial en México*. 1999.



Analysis on ergonomic workstation cabin test line production company TAM

Adriana Risuenho da Silva¹, Michela de Freitas Páscoa¹, Tainá Diniz Magalhães¹

¹Centro Universitário do Norte (UNINORTE). Av. Joaquim Nabuco, 1469, Centro. Manaus-Amazonas-Brasil. CEP: 69005-290.
Fone: +55 (92) 3212 5000.

adrisuenho@hotmail.com, chelle_czs@hotmail.com, taina-magalhaes@hotmail.com

ABSTRACT

With the demands of the modern world, companies search for an ever faster productivity to reach the market demand, which is why people come whining to develop repetitive tasks, unfavorable postures and excessive force, was thinking about it we decided talk about the area of ergonomics, specifically the ergonomic flaw found in production line testing booth. So the purpose of this article is intended to eliminate or at least reduce the repetitive stress of the employee by adapting the job in the booth test, because without the adaptation of the post the employee develop serious risks to health and productivity of the company would be compromised. The methods and techniques used in this research were interviews with employees of the line engine, which enabled the completion of this research, field research on the company, interviews with the employees, and the use of ergonomics to improve the preservation of diseases caused by stress repetitive as dullness, fatigue, temperature, lighting and work environment. Thus, the research shows that the results were positive, since adaptation of the job was done, ie; its size reduced, causing the worker carries the least possible moves, as well as adapting to a manual treadmill process as well, the engines would not be crowded and there would be no risk of skipping the testing process. The gains from these improvements are important because they will motivate the employee, reduce health risks and increase productivity.

Key Words: Ergonomics, cabin test and occupational health.

Análise Ergonômica do Trabalho na linha de Produção de cabine de teste da empresa TAM

RESUMO

Com as demandas do mundo moderno, as empresas procurar uma produtividade cada vez mais rápido para atingir a demanda do mercado, razão pela qual as pessoas vêm choramingar para desenvolver tarefas repetitivas, posturas desfavoráveis e força excessiva, estava pensando sobre isso decidimos falar sobre a área de ergonomia, especificamente a falha ergonômico encontrada em testes de linha de produção estande. Assim, o objetivo deste artigo destina-se a eliminar ou pelo menos reduzir o estresse repetitivo do empregado, adaptando o trabalho no teste de cabine, porque sem a adaptação do posto do empregado desenvolver sérios riscos para a saúde ea produtividade da empresa seria comprometida. Os métodos e técnicas utilizadas na pesquisa foram entrevistas com funcionários do motor de linha, o que permitiu a realização desta pesquisa, pesquisa de campo sobre a empresa, entrevistas com os funcionários, eo uso de ergonomia para melhorar a preservação de doenças causadas por estresse repetitivo como apatia, fadiga, temperatura, iluminação e ambiente de trabalho. Assim, a pesquisa mostra que os resultados foram positivos, pois a adaptação do trabalho está feito, ou seja; seu tamanho reduzido, fazendo com que o trabalhador exerce o mínimo de movimentos possíveis, bem como a adaptação a um processo esteira manual, bem como, os motores não seria lotado e não haveria risco de pular o processo de teste. Os ganhos com essas melhorias são importantes porque vai motivar o empregado, reduzir os riscos de saúde e aumentar a produtividade.

Palavras-chave: Ergonomia, teste cabine e saúde ocupacional.

I. INTRODUÇÃO

Através de um estudo feito na empresa T.A.M foi possível verificar as áreas críticas da empresa e perceber que um dos seus maiores problemas está voltado para a falha ergonômica no processo produtivo. Portanto, isso facilitou, através das coletas de dados, a análise de onde aplicaríamos a proposta de melhoria.

Então a escolha da problemática voltou-se para os problemas encontrados na produção do motor, especialmente na cabine de teste, onde encontramos problemas ergonômicos.

Sabemos que Taylor e os seus discípulos procuraram alcançar os mesmos objetivos que os ergonomistas atuais mais oficialmente anti-tayloristas [1]: analisar o trabalho humano com

o máximo de objetividade, a fim de tirar dessa análise conclusões que permitam melhorar a produção e, simultaneamente, diminuir a fadiga e os acidentes. Com base no conceito de Taylor, analisamos toda a linha de produção, a fim de resolvermos os problemas encontrados na cabine de teste. Mas, para encontramos uma solução para esses problemas, foi necessária responder a seguinte pergunta: Qual seria o meio mais viável para empresa diminuir os esforços repetitivos dos colaboradores no posto da cabine de teste investindo na melhoria ergonômica e investindo pouco? A resposta é simples; pois a empresa possuía tudo, o que precisava era de uma adaptação do posto de trabalho da cabine e saber aplicar de forma adequada os recursos existentes.

A empresa se uniu conosco nesse estudo para juntas encontrarmos as melhorias para as falhas ergonômicas encontradas no processo produtivo, então; foi necessário analisar como é realizado o trabalho na linha de produção, verificar os motivos que causavam lesões nos colaboradores e principalmente ouvir as queixas que os colaboradores tinham sobre o local que executavam suas atividades diárias.

Partindo dessa pesquisa, considerar as limitações do trabalho e ajustá-las da melhor maneira possível, pode levar o indivíduo a ver a eficácia, o bem-estar de forma integrada. De acordo com [2], as empresas devem seguir princípios que possibilitem a prática da força muscular com mais eficiência e menos esforço possível. Nesse contexto é que a Ergonomia se manifesta tanto nas condições prévias, quanto nas consequências ocasionadas entre o homem e a máquina.

Os aspectos físicos de trabalho empenha o indivíduo a uma série de fatores, que inevitavelmente se submetem as várias formas de jornada de trabalho, e com isso acontecem às interfaces adequadas do projeto de trabalho, o que significa para muitas empresas que elas terão que investir em equipamentos corretos para manter um ambiente em que não agrida a saúde de seus colaboradores.

Para [1] diz que a ergonomia é a ciência do trabalho e uma disciplina orientada para os sistemas, que se estende hoje em dia a todos os aspectos da atividade humana. Com isso, cabe destacar a importância da ergonomia para a sociedade e para a área de administração, pois visa o benefício, a saúde e a qualidade de vida das pessoas em geral.

II. ERGONOMIA

Considerar as limitações do trabalho e ajustá-las da melhor maneira possível, pode levar o indivíduo a ver a eficácia, o bem-estar de forma integrada. De acordo com [2], as empresas devem seguir princípios que possibilitem a prática da força muscular com mais eficiência e menos esforço possível.

Nesse contexto é que a Ergonomia se manifesta tanto nas condições prévias, quanto nas consequências ocasionadas entre o homem e a máquina. Os aspectos físicos de trabalho empenha o indivíduo a uma série de fatores, que inevitavelmente se submetem as várias formas de jornada de trabalho, e com isso acontecem às interfaces adequadas do projeto de trabalho, o que significa para muitas empresas que elas terão que investir em equipamentos corretos para manter um ambiente em que não

agrada a saúde de seus colaboradores. Desse modo, a ergonomia é definida como a ciência da configuração de trabalho adaptada ao homem.

De acordo com [3] a ergonomia participativa tem desenvolvido muitas variações nos modelos e técnicas utilizadas nas empresas, pois garante a utilização do conhecimento especializado que os trabalhadores tem de suas próprias tarefas, envolvendo os trabalhadores em melhorar seus locais de trabalho. É por isso que conversar com os colaboradores de sua empresa é tao importante e necessário, pois não há pessoal mais indicada para demonstrar o erro do que aquela que o conhece diariamente. Nos projetos do trabalho e das situações cotidianas, a ergonomia focaliza o homem. As condições de insegurança, insalubridade, desconforto e ineficiência são eliminadas adaptando-as às capacidades e limitações físicas e psicológicas do homem.

Para [4] definiu como "PE (Practical Ergonomics) que ergonomia prática é a participação dos atores necessários na resolução de problemas". Mas o que significa a participação significa? [5] considera PE como um processo de resolução de problemas ergonômicos que incorpora entrada informada de cada grupo de partes interessadas relevantes no local de trabalho na identificação de áreas de melhoria, desenvolvimento de soluções e implementação de física e trabalhar as mudanças organizacionais, a fim de minimizar o risco de lesões e maximizar a produtividade.

A participação pode ser formal ou informal. Então, foi exatamente isso que aconteceu na empresa T.A.M, através das entrevistas realizadas com os colaboradores foi possível identificar de forma fácil o problema e encontrar uma solução, pois as propostas apresentadas pelos próprios funcionários da empresa ajudaram bastante na tomada de decisão para aplicação da melhoria no posto de trabalho.

De acordo com [6], pode-se dizer que a ergonomia é uma ciência aplicada ao projeto de máquinas, equipamentos, sistemas e tarefas, com o objetivo de melhorar a segurança, saúde, conforto e eficiência no trabalho. A definição formal da Ergonomia adotada pela *International Ergonomics Association (IEA)* é: Ergonomia (ou fatores humanos) é uma disciplina científica que estuda as interações dos homens com outros elementos do sistema, fazendo aplicações da teoria, princípios e métodos de projeto, com o objetivo de melhorar o bem-estar humano e o desempenho global do sistema [6].

É importante lembrar que a ergonomia estuda vários aspectos: a postura e os movimentos corporais (sentados, em pé, empurrando, puxando e levantando cargas), fatores ambientais (ruídos, vibrações, iluminação, clima, agentes químicos), informação (informações captadas pela visão, audição e outros sentidos), relações entre mostradores e controles, bem como cargos e tarefas (tarefas adequadas, interessantes).

A conjugação adequada desses fatores permite projetar ambientes seguros, saudáveis, confortáveis e eficientes, tanto no trabalho quanto na vida cotidiana. A ergonomia baseia-se em conhecimentos de outras áreas científicas, como a antropometria, biomecânica, fisiologia, psicologia, toxicologia, engenharia mecânica, desenho industrial, eletrônica, informática e gerência industrial. Ela reuniu, selecionou e integrou os conhecimentos

relevantes dessas áreas, para desenvolver métodos e técnicas específicas para aplicação desses conhecimentos na melhoria do trabalho e das condições de vida, tanto dos trabalhadores, como da população em geral [6].

III. MATERIAIS E METÓDOS

De acordo [7] a análise documental é uma das técnicas de maior confiabilidade. Os dados coletados nessa análise possibilitam a validação das informações obtidas durante a entrevista com informante-chave das organizações não-governamentais pesquisadas na primeira etapa de coleta de dados.

A análise documental constitui uma técnica importante na pesquisa qualitativa, seja complementando informações obtidas por outras técnicas, seja desvelando aspectos novos. Utiliza-se de materiais que não receberam tratamento analítico e vive muita da crítica histórica. A característica da pesquisa documental é que a fonte de coleta de dados está restrita a documentos, escritos ou não, constituindo o que se denomina de fontes primárias. Estas podem ser feitas no momento em que o fato ou fenômeno ocorre, ou depois.

A análise será feita por meio de dados baseados na documentação já existente, através dos quais será possível se fazer uma verificação de informações suficiente para realização da pesquisa. A entrevista é importante instrumento de trabalho nos vários campos das ciências sócias ou de outros setores de atividades, como da sociologia, da antropologia, da psicologia social, da política, do serviço social, do jornalismo, das relações públicas, da pesquisa de mercado e outras.

A entrevista é um encontro entre duas pessoas, a fim que uma delas obtenha informações a respeito de determinado assunto, mediante uma conversação de natureza profissional. É um procedimento utilizado na investigação social, para a coleta de dados ou para ajudar no diagnóstico ou no tratamento de um problema social [8].

Para alguns autores consideram a entrevista um instrumento de excelência da investigação social. Quando realizado por um investigador experiente, são muitas das vezes superiores a outros sistemas de obtenção de dados. Esta técnica será utilizada, com objetivos de captar informações, mas detalhadas que facilitará na informação do processo.

Por ser a principal técnica para a coleta de dados numa pesquisa qualitativa, a entrevista será aplicada através de um questionário, contendo sete perguntas que serão respondidas por dez pessoas da linha de produção do motor e não necessitará seguir um padrão rígido para as respectivas perguntas, isto é, assemelhará a uma conversa de forma clara e objetiva, desde que todas as perguntas sejam respondidas.

Observação direta é uma forma prática e rotineira de enriquecer e validar as conclusões tiradas pela entrevista e questionários. Às vezes, tal observação ocorre mesmo inconscientemente, pois como diz o ditado “ver para crer ou com os próprios olhos”.

Podemos observar através de [8], que a observação direta constitui-se, em geral, no levantamento de dados no próprio local onde os fenômenos ocorrem. Esses dados podem ser obtidos de

duas maneiras: através de pesquisa de campo ou da pesquisa de laboratório. Optamos pela pesquisa de campo que foi realizada no mês de Janeiro de 2014, no período das férias e utilizamos também alguns relatórios, slides e fotos que foram disponibilizados pela empresa. A Observação é uma técnica de coleta de dados para conseguir informações e utiliza dos sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade. Não consiste apenas ver e ouvir, mas também em examinar fatos ou fenômenos que se desejam estudar.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A ergonomia faz o planejamento ou a correção física das áreas industriais através de intervenções que ampliem a possibilidade de segurança, conforto e bem-estar aos trabalhadores. Tornando assim, a eficácia das atividades ampliada, ocasionando um ganho do funcionário de menor função até o empresário que o contratou, sendo este um ganho profissional, econômico e pessoal a todos que estão ligados a empresa.

A adequação dos postos de trabalho, ferramentas e instrumentos, máquinas e ambiente de trabalho às necessidades do trabalhador é o objetivo prático da ergonomia. Pois a concretização desses objetivos ao plano industrial facilita o trabalho e melhora o rendimento do trabalho.

As particularidades do trabalhador precisam ser atendidas conjuntamente com as particularidades ou limites dos fragmentos mecânicos, sistêmicos ou ambientais, para uma adequação mútua.

Todos os equipamentos que fazem parte do posto de trabalho precisam ser adaptáveis as necessidades psicofisiológicas do trabalhador e à natureza da tarefa exercida. As condições ambientais de trabalho também devem adequar-se às características psicofisiológicas do trabalhador e a natureza da atividade de trabalho em questão [9]. O controle das condições do ambiente de trabalho oferece melhores padrões de higiene e segurança ao trabalhador, auxiliando positivamente a produtividade.

IV.1 PERFIL DA EMPRESA

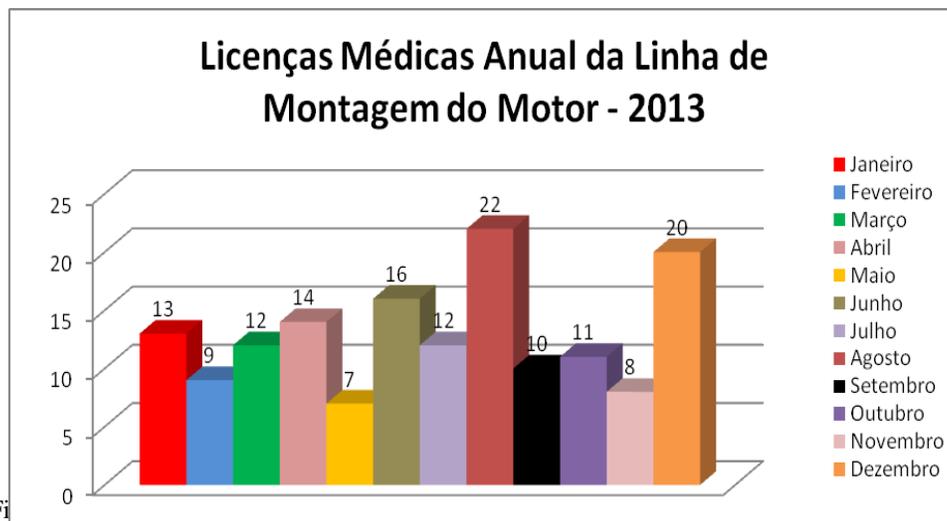
Situada em Manaus, a empresa A T.A.M foi instalada em setembro de 2002, e iniciou sua produção em abril de 2003. A empresa atua há 11 anos no mercado brasileiro, e suas atividades estão sempre dentro dos mais altos padrões de qualidades, principalmente devido a ser uma empresa com cultura japonesa.

A empresa possui as certificações da ISO 9001, ISO 14001 e em 04 de Julho de 2011 adquiriu a ISO 18000. Mas, a empresa possui alguns problemas ergonômicos, que teve um índice significativo no ano de 2013 em licenças médicas em consequência das doenças ocupacionais.

A Figura 1 nos mostra que no ano de 2013 a linha do motor teve 154 dias de licenças médicas, sendo o principal motivo às doenças ocupacionais. Através da pesquisa feita na empresa foi possível perceber que os movimentos realizados ocasionavam dores e isso ocasionava o afastamento das pessoas. Com um índice tão alto de afastamentos médicos a empresa

T.A.M resolveu investir em adaptações, melhorias, tecnologias para motivar e beneficiar a saúde dos seus colaboradores, como também garantir sua produtividade anual.

Ed. 0003. VOL 001 – ISSN 2447-0228 (online)



Já a figura 2 nos mostra que as doenças ocupacionais estavam em primeiro lugar no ranking de atestados médicos e

licenças, tendo como segundo lugar as doenças ortopédicas que também eram ocasionadas pelo esforço repetitivo.

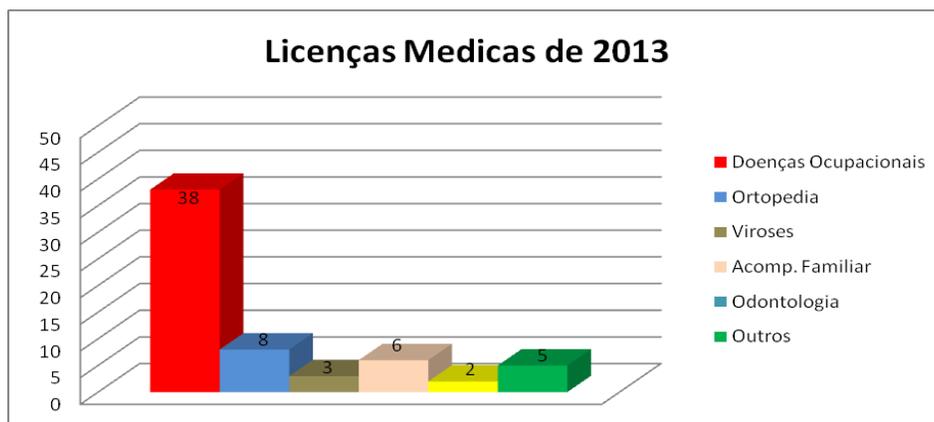


Figura 2 – Licenças médicas – período 2013.

Para entendermos melhor esses dados, é necessário delimitarmos os postos de trabalhos da linha do motor. Pois a linha é composta por onze postos, sendo cada um responsável por uma parcela do processo produtivo, mas vamos detalhar apenas até o processo do posto 8, aonde será realizada uma nova análise ergonômica. Acompanhe a seguir como a linha é composta:

Processo 1 com o auxílio de um prensa automática efetua-se a montagem da bucha no suporte traseiro, após a montagem é passado para o processo 2 o qual efetua-se a montagem do parafuso terminal no suporte traseiro em seguida passa para o processo 3 aonde é realizada a revisão e a montagem das molas nas escovas de carvão no processo, no processo 4 é montada as

seguintes peças (suporte traseiro, induzido, arruelas traseiras e junção) após essa semi-montagem passa o motor para o processo 5 aonde serão inseridas as arruelas dianteiras, o suporte encosto, e o suporte dianteiro, após a montagem desses componentes o motor é passado para o processo 6. O motor é inserido em um dispositivo de fixação aonde são colocados dois parafusos para o fechamento do motor, após o fechamento do motor ele é passado para o processo 7 onde é chamado de magnetização e teste de característica, nesse processo o motor de partida recebe uma descarga elétrica o qual é responsável pela magnetização dos ferrite componente essencial para o seu funcionamento, após a magnetização o motor é submetido ao teste de característica aonde observamos seu desempenho enquanto ao torque, RPM e voltagem; após essa simulação o motor é passado para o processo

8 Cabine de teste nesse processo o motor e submetido a uma revisão visual com objetivo de encontrar falhas na montagem, riscos e batidos nas peças, após essa revisão e submetido a um teste sem carga com objetivo de se encontrar algum ruído ou travamento no motor, após aprovação nos teste o motor de partida recebe um carimbo com o respectivo lote do dia em seguida é passado para os demais processos. Os colaboradores dessa linha trabalham em um período de 8 horas com três

intervalos, um de 1 hora e dois de 10 minutos, no início do expediente os colaboradores fazem 5 minutos de ginástica laboral, após isso iniciasse o expediente de trabalho. Em função das análises dos postos, o estudo concentra-se no processo 8 da cabine de teste. Pois, como mostra a figura 3, a cabine de teste em janeiro de 2014 media 1,20cm de largura o qual obrigava o colaborador a fazer um grande número de movimentos, causando assim fadiga, cansaço, dores no pescoço e ombros.

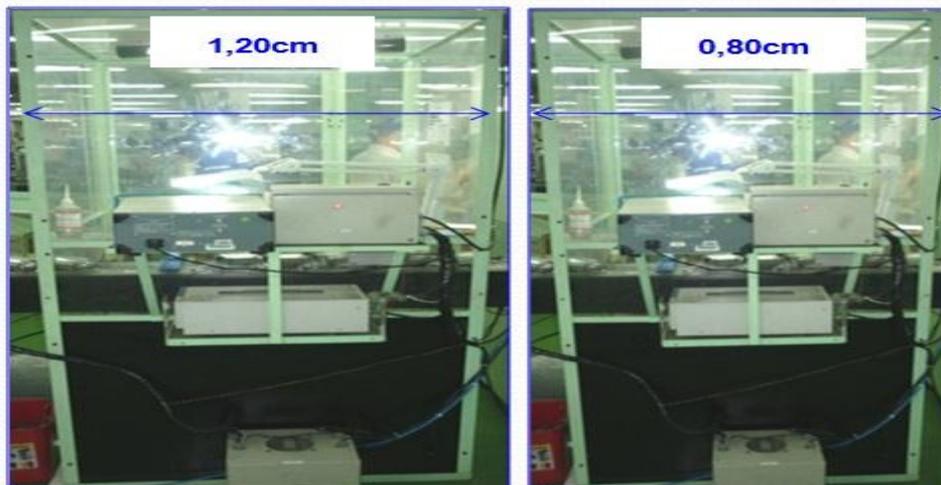


Figura 3 – Melhoria aplicada na cabine de teste – fevereiro/2014.

Após os estudos direcionados para esse processo foram apresentadas melhorias na infraestrutura da cabine onde foi solicitado o acompanhamento da manutenção e engenharia.

A primeira proposta foi à redução da largura da cabine de 1,20 cm para 0,80cm de largura, pois com essa redução o numero de movimentos reduziria consideravelmente e a mesma foi aprovada, a segunda melhoria foi à instalação de uma esteira que se encontrava sem uso na empresa, essa esteira levaria o motor até ao colaborador, diminuindo ainda mais o seu esforço. Essas propostas de melhorias foram analisadas e aprovadas pela engenharia da empresa no período de fevereiro de 2014, durante

o recesso do carnaval, isso para evitar que os índices desse ano fossem tão altos como no ano passado.

A adaptação do posto de trabalho aconteceu e os ganhos gerados foram: diminuição do tamanho da cabine, conforme mostra a figura 3, mudança da bancada fixa por uma esteira elétrica.

A figura 4 nos mostra o antes e o depois da adaptação do posto de trabalho, na cabine de teste. Com a melhoria aplicada, a esteira diminuiu consideravelmente a movimentação do colaborador, o acúmulo de motores na cabine e possíveis pulo de processo passagem de motores sem serem testados.



Figura 4 – Melhoria aplicada na cabine de teste – fevereiro de 2014.

Pode-se dizer que as lesões, cansaço, fadiga, dores não acabaram, mas a empresa conseguiu diminuir em muito o índice de afastamentos, pois aplicou severamente a rotatividade, não permitindo que um único colaborador exerça a mesma função por mais de 4 horas seguidos.

A Figura 5 mostra a análise ergonômica que era utilizada no posto da cabine, essa análise era antiga e não passava por revisão há um ano, sendo que a mesma foi substituída por uma

nova, onde detalha cada esforço que o colaborador faz e o que é permitido ou não fazer.

As análises asseguram o colaborador, pois o mesmo entende que seus movimentos estão sendo estudados e que a empresa leva em consideração sua saúde e bem estar. Na empresa T.A.M não foi diferente, com base nos dados da pesquisa foi possível realizar uma nova análise ergonômica para o posto estudado.

INSPEÇÃO ERGONÔMICA EWA											A: 2101 a 2500
SETOR: LINHA DO MOTOR											B: 1701 a 2500
POSTO DE TRABALHO: CABINE DE TESTE											C: 901 a 1300
NOME DO COLABORADOR: MARIA DINIZ											D: 500 a 900
											E: 300 a 700
CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	A (100)		B (80)		C (60)		D (40)		E (20)		OBSERVAÇÕES
	O	T	O	T	O	T	O	T	O	T	
1. ESPAÇO HORIZONTAL			X	X							
2. ALTURA DO PLANO DE TRABALHO	X			X							
3. DISTÂNCIA VISUAL	X			X							
4. ÂNGULO VISUAL	X			X							
5. ESPAÇO PARA MEMBROS INFERIORES						X	X				
6. ASSENTOS			X	X							
7. INSTRUMENTOS MANUAIS				X	X						
8. ATIVIDADE FÍSICA GERAL				X	X						
9. LEVANTAMENTO E TRANSPORTE DE CARGA											Não aplicado
10. POSTURA: PESCOÇO E OMBROS			X	X							
11. POSTURA: COTOVELO E PUNHO				X					X		
12. POSTURA: COLUMNA	X					X					
13. MEMBROS INFERIORES				X	X						
14. ILUMINAÇÃO				X							
15. UMIDADE RELATIVA DO AR				X							
16. VELOCIDADE DO AR				X							
17. TEMPERATURA				X							
18. RUÍDO						X					
19. RISCOS DE ACIDENTES			X	X							
20. SATISFAÇÃO NO TRABALHO				X					X		
21. RESTRIÇÃO DO TRABALHO				X					X		
22. CONTATO INTERPESSOAL				X	X						
23. TOMADA DE DECISÃO	X			X							
24. REPETITIVIDADE	X			X							
25. EXIGÊNCIA DE ATENÇÃO		X							X		
PONTUAÇÃO MÉDIA (O + T) / 2			1580				EWA				C
AVALIADO POR REZENDE TELES COLABORADOR / MATRÍCULA: MARIA DINIZ 171 DATA: 2013											

Figura 5 – Análise Ergonômica Antiga – Dezembro de 2013.

As novas análises foram realizadas devido ao índice de reclamações de dores e doenças geradas pelo esforço repetitivo. Isso trouxe um despertar para os gestores da empresa que atualizaram a análise ergonômica do posto e aplicaram algumas melhorias ao colaborador do posto, como: rotatividade entre colaboradores, sendo permitido trabalhar apenas 4 horas seguido na mesma função, intervalos de 20 minutos com acompanhamento de fisioterapeuta duas vezes por semana,

intervalos de 20 minutos diários com ginástica laboral e novos EPI's. Essas pequenas melhorias levaram a empresa a ter um enorme crescimento na produtividade, como elevou o índice de satisfação por parte do colaborador, fazendo com que o mesmo permaneça saudável e trabalhe em um lugar que proporcione qualidade de vida.

Abaixo, a figura 6 mostra a nova análise ergonômica do posto da cabine de teste com uma condição ergonômica boa.

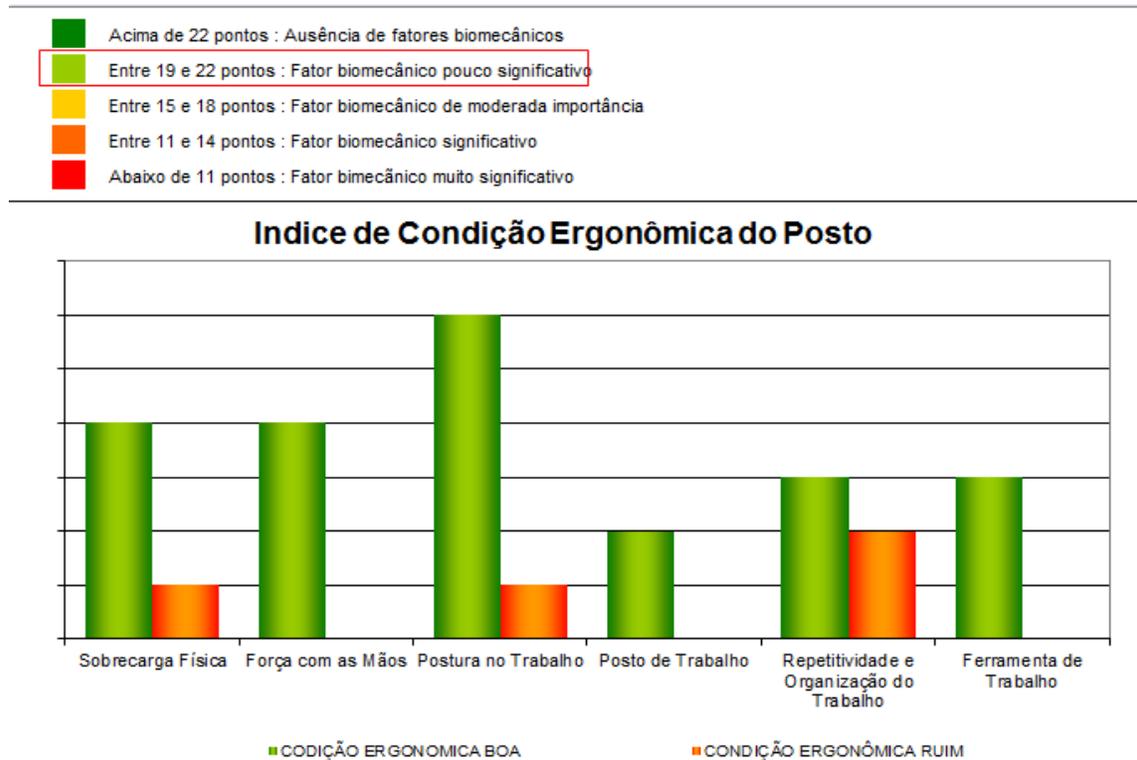


Figura 6 – Análise Ergonômica Atual – Novembro/2013.

V. CONCLUSÕES

Quando o homem é obrigado a trabalhar num ambiente que não lhe proporciona qualidade de vida e bem estar, seu rendimento produtivo cai. A infraestrutura, a temperatura, os equipamentos e as condições de trabalho influenciam em grande parte na sua produção. Isto significa que colaboradores que não possuem qualidade de vida nas organizações não geram lucro para as mesmas, pelo contrário, a organização que não se preocupa em oferecer um bom ambiente de trabalho, com fatores ergonômicos positivos perde tanto em produtividade, quanto em lucro. Diante disto, as necessidades humanas e ergonômicas precisam ser supridas pela organização, para que assim, a mesma possua um bom quadro de funcionários e uma boa produtividade. Nesse estudo vimos como a falha ergonômica é prejudicial à organização e a vida do colaborador e como a melhoria é favorável tanto para a um como para o outro.

Portanto, as soluções para evitar os problemas neste artigo, no que diz respeito ao posto de trabalho da cabine de teste foram alcançadas, ou seja, resolvidas. Pois os problemas eram mínimos, mas geravam altos prejuízos a empresa, principalmente com licenças médicas, devido ao índice de doenças ocasionadas pelo trabalho repetitivo. Para as melhorias aplicadas nesse artigo, a organização não gastou nada além do que já gastava, pois a esteira elétrica não foi comprada, a mesma estava parada devido a uma linha de produção ter sido desativada, a reforma na cabine

foi realizada pela manutenção da empresa, e o auxílio médico e de educadores físicos foram proporcionados pelo SESMT da organização. Devido a esses fatores, foi necessário propor melhoria na falha ergonômica encontrada, através de uma nova análise ergonômica, e identificar como era realizado o trabalho na cabine, verificar os motivos que causavam as lesões nos colaboradores e analisar a necessidade das melhorias no processo. Por fim, as hipóteses levantadas no estudo são verdadeiras e receberam a melhoria devida.

VI. AGRADECIMENTOS

Ao Centro Universitário do Norte (UNINORTE), pelo apoio a realização desta pesquisa.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Montmollin, M. **A ergonomia**. Lisboa: Instituto Piaget, 2011.
- [2] Kroemer, K.H.E. Grandjean, E. **Manual de Ergonomia: Adaptando o Trabalho ao Homem**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- [3] R. Burgess-Limerick, L. Straker, C. Pollock, G. Dennis, S. Leveritt, S. Johnson. **Implementation of the Participative**

Ergonomics for Manual tasks (PERforM) program at four Australian underground coal mines. International Journal of Industrial Ergonomics, 37 (2007), pp. 145–155.

[4] Kuorinka, I. Kuorinka. **Tools and means of implementing participatory ergonomics** *Industrial Ergonomics*, 19 (1997), pp. 267–270.

[5] Laing et al., 2007 A.C. Laing, D.C. Cole, N. Theberge, N.R.P. Wells, M.S. Kerr, M.B. Frazer **Effectiveness of a participatory ergonomics intervention in improving communication and psychosocial exposures** *Ergonomics*, 50 (7) (2007), pp. 1092–1109 July.

[6] Dul, J. Weerdmeester, B. **Ergonomia Prática.** Tradução de Itiro Iida. 2. ed. São Paulo. Edgard Blücher, 2004.

[7] Godoy, Arlida Schmidt. **Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades.** In: Revista de Administração de Empresas. v.35. n.2. São Paulo: RAE, 1995.

[8] Lakatos, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica.** 7.ed. São Paulo: Atlas. 2009.

[9] Levi and Slem, 1995 D. Levi, C. **Slem Team work in research and development organizations: the characteristics of successful.** International Journal of Industrial Ergonomics, 16 (1995), pp. 29–42.

Multicriteria design of passive harmonic filters for industrial installations using evolutionary computation techniques

*Jandecy Cabral Leite¹; Ignácio Perez Abril²; Manoel Socorro Santos Azevedo¹, Manoel Henrique Reis do Nascimento¹, Nadime Mustafa Moraes³, Ana Maria Reis³

¹*Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM)*

²*Universidad Central de Las Villas (UCLV)*

³*Universidade do Estado do Amazonas (UEA)*

*jandecy.cabral@itegam.org.br, iperez@uclv.edu.cu, manoelazevedo@yahoo.com.br, mustafanadime@gmail.com, areisreis@gmail.com, hreys@bol.com.br

ABSTRACT

For analysis of industrial growth and in particular the Industrial Pole of Manaus (PIM), need to get mathematical tools that facilitate the specialist to make decisions about the selection and sizing of harmonic filters that provide neutralize the harmful effects of harmonics generated by nonlinear loads industry and achieve compliance with the standards of the relevant power quality standards. The article aims to develop a mathematical method and a computer tool (Evolutionary Computation - NSGA II) for the selection of configuration parameters and design a set of passive harmonic filters for industrial electrical systems. The methodology was discussed the optimization problem of harmonic compensation through passive filters was formulated as a multiobjective problem that considers both the goals of reducing harmonic distortion as the economic effectiveness of the project considering the characteristics of the Brazilian rates. The results show from the analysis of several practical examples show the advantages of the method developed so that the developed computational tool has several new features like: not only calculates the parameters that characterize the filters, as well as select the type of configuration and the number of filter branches in each candidate bar according to a set of pre-established configurations; They have implemented two standards for the evaluation of power quality restrictions (PRODIST-Module 8 v.6 2015 and IEEE 519-92).

Keywords: Evolutionary Computation, Harmonic Impact, Quality Electric Power and Distribution of Electric Power.

Projeto multicritério de filtros harmônicos passivos para instalações industriais utilizando técnicas de computação evolucionária

RESUMO

Para análise do crescimento industrial e em especial, o Pólo Industrial de Manaus (PIM), são necessários obter ferramentas matemáticas que facilitem ao especialista tomar decisões sobre a seleção e dimensionamento dos filtros harmônicos que proporcionam neutralizar os efeitos prejudiciais dos harmônicos gerados pelas cargas não lineares da indústria e alcançar conformidade com os padrões das normas de qualidade de energia correspondentes. O objetivo artigo é desenvolver um método matemático e uma ferramenta computacional (Computação Evolucionária – NSGA II) para a seleção da configuração e parâmetros do projeto de um conjunto de filtros harmônicos passivos para sistemas elétricos industriais. Como metodologia foi abordado o problema de otimização da compensação de harmônicos por meio de filtros passivos foi formulado como um problema multiobjetivo que considera tanto os objetivos da redução da distorção harmônica como da efetividade econômica do projeto considerando as características das tarifas brasileiras. Os resultados mostram a partir da análise de vários exemplos práticos, mostram as vantagens do método desenvolvido tanto que a ferramenta computacional desenvolvida tem várias novidades como: não só calcula os parâmetros que caracterizam os filtros, como também seleciona o tipo de configuração e o número de ramos do filtro em cada barra candidata de acordo com um conjunto de configurações pré-estabelecidas; têm implementada duas normas para a avaliação das restrições de qualidade de energia (PRODIST- Módulo 8 v.6 2015 e IEEE 519-92).

Palavras-Chave: Computação Evolucionária, Impactos Harmônicos, Qualidade de Energia Elétrica e Distribuição de Energia Elétrica.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas elétricos modernos contêm uma grande quantidade de fontes contaminantes ou produtores de

harmônicos onde se destacam fundamentalmente as cargas não lineares empregadas nas indústrias, nas instalações comerciais e residenciais [1][2].

As fontes contaminantes de média e alta potência geralmente se concentram nos sistemas elétricos industriais. Entre estas se incluem conversores estáticos de potência e fornos de arco elétrico.

Em instalações comerciais e residenciais, são empregadas uma grande quantidade de cargas não lineares de pequena potência, que devido a seu grande número não podem ser desprezadas, como fonte de distorção. Este é o caso de equipamentos eletrodomésticos e de escritório, lâmpadas de descarga, entre outros.

Os harmônicos injetados no sistema elétrico pelas cargas não lineares produzem efeitos: nos próprios sistemas elétricos de potência e nas cargas elétricas conectadas a estes, assim como nos sistemas de comunicações.

Todos os efeitos dos harmônicos em sistemas de potência são prejudiciais e entre eles pode-se citar: 1) A possível existência de ressonâncias série e paralelo, que contribuem para a amplificação dos harmônicos e seus efeitos; 2) Redução da eficiência do sistema, aumentando as perdas nos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia; 3) O envelhecimento prematuro do isolamento dos componentes da rede elétrica e, conseqüentemente, redução da sua vida útil e 4) O mau funcionamento do sistema ou quaisquer de seus componentes.

Um dos fenômenos mais prejudiciais associados com a presença dos harmônicos é a possibilidade de ocorrência de ressonância no circuito elétrico. Como a maioria dos elementos existentes nos sistemas de potência como: transformadores, máquinas rotativas, etc. têm caráter indutivo, a presença de bancos de capacitores para compensar o fator de potência ou o próprio efeito capacitivo das linhas de potência pode interagir com os elementos indutivos do circuito de forma que a determinadas frequências são iguais às reatâncias indutivas e capacitivas equivalentes causando uma condição de ressonância em que podem aparecer altos valores de tensão e de corrente, que afetam o funcionamento correto do sistema e podem causar falhas nos equipamentos.

Os filtros harmônicos são dispositivos ativos ou passivos, cuja missão é de evitar a circulação dos harmônicos pelo sistema elétrico de potência para impedir a ocorrência de ressonâncias prejudiciais e evitar outros efeitos indesejáveis que podem ocorrer. Apesar dos filtros ativos terem características de desempenho melhores que os passivos, estes últimos ainda são mais usados que os primeiros. É preciso ter ferramentas matemáticas que facilitem ao especialista tomar decisões sobre a seleção e dimensionamento dos filtros harmônicos necessários para neutralizar os efeitos prejudiciais dos harmônicos gerados pelas cargas não lineares da indústria e alcançar conformidade com os padrões das normas de qualidade da energia correspondentes.

Além disso, como os filtros harmônicos passivos têm a capacidade de filtragem e também de gerar potência reativa à rede, estes meios são eficazes compensadores de potência reativa e, portanto, podem conseguir uma economia significativa no faturamento de energia elétrica consumida por essas instalações industriais.

II. NORMAS DE QUALIDADE DE ENERGIA

As normas de qualidade de energia compreendem um conjunto de regulações que estabelecem os limites de qualidade que o sistema elétrico deve cumprir para oferecer um bom serviço elétrico aos consumidores.

Existem normas internacionais e nacionais para o controle da distorção das formas de onda de tensão e corrente. Entre as primeiras destacam-se: a [3][4][5].

Vale ressaltar que a estrita observância dos limites recomendados pelas normas não necessariamente eliminam os problemas, particularmente quando os sistemas estão operando perto dos limites [6].

II.1 NORMA IEC 61000-3-6 DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

A série 61000 da IEC (Comissão Eletrotécnica Internacional) compreende um amplo conjunto de regulações sobre a qualidade de energia. Em particular, a [4] estabelece os limites de emissão de harmônicos para as instalações conectadas a sistemas elétricos de potência. Para a tensão elétrica esta norma define:

1) A Distorção Harmônica Total de Tensão (%THDV). Calculada como a relação entre a tensão *rms* dos harmônicos superiores considerados e a tensão fundamental (V_1), apresentado em (1).

$$\%THDV = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} 100 \quad (1)$$

2) A Distorção Harmônica Individual de tensão de ordem *h* (%IHDV_h). Calculada como a relação entre a tensão de um harmônico individual (V_h) e a tensão fundamental de acordo com (2).

$$\%IHDV_h = \frac{V_h}{V_1} 100 \quad (2)$$

A referência (IEC/TR 61000-3-6, 2008) estabelece dois tipos de limites: (1) níveis de compatibilidade como é mostrado na Tabela 1 e (2) níveis de planejamento, como apresentado na Tabela 2. Quando as emissões de harmônicos das cargas não lineares não superam os níveis de compatibilidade estabelecidos, assegura-se uma boa qualidade de energia. Por outro lado, os níveis de planejamento (mais restritivos que os de compatibilidade) são seguidos como guias para o planejamento do sistema e os mesmos asseguram o cumprimento dos níveis de compatibilidade.

Tabela 1 – Níveis de compatibilidade para as tensões harmônicas individuais em redes de baixa (BT) e média tensão (MT).

Ímpares não múltiplas de 3		Ímpares múltiplas de 3		Pares	
Ordem de Harmônico <i>h</i>	Tensão Harmônica %	Ordem de Harmônico <i>h</i>	Tensão Harmônica %	Ordem de Harmônico <i>h</i>	Tensão Harmônica %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.4	6	0.5
13	3	21	0.3	8	0.5
$17 \leq h \leq 49$	$2.27(17/h) - 0.27$	$21 \leq h \leq 45$	0.2	$10 \leq h \leq 50$	$0.25(10/h) + 0.25$

Fonte: (IEC/TR 61000-3-6, 2008).

Os limites de harmônicos de tensão são estabelecidos para evitar os efeitos nocivos dos harmônicos em regime permanente e em curto prazo que se define como:

1) Efeitos de regime permanente são relacionados fundamentalmente a efeitos térmicos em capacitores, cabos,

transformadores, motores e outros, e são medidos em média a intervalo de 10 minutos.

2) Efeitos a curto prazo que se manifestam em equipamentos eletrônicos sensíveis a níveis de harmônicos tendo como intervalo de interesse para registro a faixa de 3 segundos ou menos.

O nível de compatibilidade do THDV para média e baixa tensão é de 8% para harmônicos de regime permanente (intervalos de 10 minutos) e de 11% para harmônicos de curta duração (intervalos menores que 3 segundos).

Os limites de compatibilidade da Tabela 1 e de planejamento da Tabela 2 para as tensões harmônicas individuais são válidos para harmônicos estacionários. Estes limites devem ser modificados pelo fator K_{hvs} para ser utilizados com harmônicos de curta duração conforme (3).

$$K_{hvs} = 1.3 + 0.7 \frac{h-5}{45} \quad (3)$$

Tabela 2 – Níveis de planejamento para tensões harmônicas individuais em redes de média (MT), alta (AT) e extra-alta tensão (EHT).

Ordem de Harmônico h	Tensão Harmônica h %		Ordem de Harmônico h	Tensão Harmônica %		Ordem de Harmônico h	Tensão Harmônica %	
	MT	AT-EHT		MT	AT-EHT		MT	AT-EHT
5	5	2	3	4	2	2	1.8	1.4
7	4	2	9	1.2	1	4	1	0.8
11	3	1.5	15	0.3	0.3	6	0.5	0.4
13	2.5	1.5	21	0.2	0.2	8	0.5	0.4
$17 \leq h \leq 49$	$1.9(17/h)-0.2$	$1.2(17/h)$	$21 \leq h \leq 45$	0.2	0.2	$10 \leq h \leq 50$	$0.25(10/h)+0.22$	$0.19(10/h)+0.16$

Fonte: (IEC/TR 61000-3-6, 2008).

Esta norma não estabelece explicitamente limites para a distorção da corrente no PCC, no entanto, a mesma contempla a possibilidade de converter os limites de distorção para a tensão em limites de distorção para a corrente ao utilizar a impedância em frequências harmônicas do sistema externo de energia.

II.2 NORMA IEEE Std. 519 – 92.

Essa norma é chamada de "práticas recomendadas e requisitos da norma [3] para o controle de harmônicos em sistemas elétricos de potência". É caracterizada por estabelecer os limites para ambos, não só a distorção da tensão fornecida pelo distribuidor, como também a corrente de carga do consumidor [3].

Limites de harmônicas da norma [3] foram estabelecidas para o PCC (Figura 1) entre a concessionária e vários consumidores. Assim, este é o ponto em que outros consumidores podem ser alimentados.

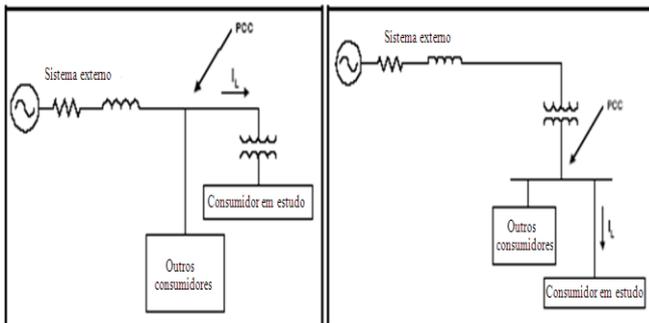


Figura 1: Ponto de conexão comum (PCC).

Do ponto de vista da distorção da tensão, a concessionária é responsável por manter a qualidade da forma de onda de tensão no PCC, abaixo dos limites máximos de regime permanente apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Limites de distorção de tensão

Tensão No PCC	Distorção Individual de Tensão (%)	Distorção Total de Tensão THDV (%)
$V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$V > 161 \text{ kV}$	1.0	1.5

Fonte: IEEE Std. 519-92.

Estes limites devem ser cumpridos para a pior condição de operação do sistema com duração mais de uma hora. Para períodos de curto prazo, durante as condições iniciais ou transitórias, esses limites podem ser ultrapassados em 50%. Os limites de distorção de corrente especificados na Tabela 4, dependem da relação que existe entre a carga do consumidor (I_L) e a corrente de curto-circuito (I_{sc}) no PCC. Um elevado I_{sc}/I_L significa que o sistema tem uma maior imunidade para absorver as emissões de harmônicas da carga e dessa forma pode admitir níveis de distorção harmônicos mais elevados. Os limites de correntes harmônicas são estabelecidos pelos indicadores apresentados a seguir:

1) A distorção da demanda total (%TDD), calculada como a razão entre a corrente rms de harmônicos mais elevados considerados e a corrente de carga máxima conforme equação (4).

$$\%TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} 100 \quad (4)$$

2) Distorção harmônica individual da demanda ($IDD_h\%$), calculada como a relação entre a corrente de um harmônico individual (I_h) e a corrente de carga máxima de acordo com equação (5).

$$\%IDD_h = \frac{I_h}{I_L} 100 \quad (5)$$

Tabela 4: Limites de distorção da corrente no PCC.

V ≤ 69 kV						
I _{sc} /I _L	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
69 kV < V ≤ 161 kV						
< 20	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50-100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
> 1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
V > 161 kV						
< 50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

Fonte: [3].

II.3 ANEEL - PRODIST - MÓDULO 8 V.6 2015 - QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

O objetivo desta norma é estabelecer os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica (QEE), abordando a qualidade do produto e a qualidade do serviço prestado. Para a qualidade do produto, este módulo define a terminologia, caracteriza os fenômenos, parâmetros e valores de referência relativos à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações na forma de onda de tensão, estabelecendo mecanismos que possibilitem à ANEEL fixar padrões para os indicadores de QEE.

Tabela 5: Terminologia

Identificação da Grandeza	Símbolo
Distorção harmônica individual de tensão de ordem h	DIT _h %
Distorção harmônica total de tensão	DTT%
Tensão harmônica de ordem h	V _h
Ordem harmônica	h
Ordem harmônica máxima	hmáx
Ordem harmônica mínima	hmin
Tensão fundamental medida	V ₁

Fonte: [5].

Os valores de referência para as distorções harmônicas totais estão indicados na Tabela 6. Estes valores servem para referência do planejamento elétrico em termos de QEE e que, regulamentariamente, serão estabelecidos em resolução específica, após período experimental de coleta de dados.

Tabela 6: Valores de referência globais das distorções harmônicas totais (em porcentagem da tensão fundamental)

Tensão nominal do Barramento	Distorção harmônica total de tensão DTT(%)
V _n ≤ 1 kV	10
1 kV < V _n ≤ 13.8 kV	8
13.8 kV < V _n ≤ 69 kV	6
69 kV < V _n ≤ 230 kV	3

Fonte: [5].

A Tabela 5 sintetiza a terminologia aplicável às formulações do cálculo de valores de referência para as distorções harmônicas. As expressões para o cálculo das grandezas %DIT_h e DTT% são iguais as já previamente definidas pelas normas [4] e [3] para o %IHD_h e o %THD_h respectivamente.

Tabela 7: Níveis de referência para distorções harmônicas individuais de tensão (em porcentagem da tensão fundamental).

Harmônicos	Ordem	Distorção Harmônica Individual de Tensão [%]			
		V _n ≤ 1 kV	1 kV < V _n ≤ 13.8 kV	13.8 kV < V _n ≤ 69 kV	69 kV < V _n ≤ 230 kV
Ímpares não múltiplos de 3	5	7.5	6	4.5	2.5
	7	6.5	5	4	2
	11	4.5	3.5	3	1.5
	13	4	3	3	1.5
	17	2.5	2	1.5	1
	19	2	1.5	1.5	1
	23	2	1.5	1.5	1
	25	2	1.5	1.5	1
	>25	1.5	1	1	0.5
Ímpares múltiplos de 3	3	6.5	5	4	2
	9	2	1.5	1.5	1
	15	1	0.5	0.5	0.5
	21	1	0.5	0.5	0.5
	>21	1	0.5	0.5	0.5
Pares	2	2.5	2	1.5	1
	4	1.5	1	1	0.5
	6	1	0.5	0.5	0.5
	8	1	0.5	0.5	0.5
	10	1	0.5	0.5	0.5
	12	1	0.5	0.5	0.5
	>12	1	0.5	0.5	0.5

Fonte: [3].

II.3.1 APLICAÇÃO DO PRODIST

Os sinais a serem monitorados devem utilizar sistemas de medição cujas informações coletadas possam ser processadas por meio de recurso computacional. A duração do monitoramento deve ser de pelo menos uma semana com registro a cada 10 minutos.

Para os sistemas elétricos trifásicos, as medições de distorção harmônica devem ser feitas através das tensões fase-neutro para sistemas estrela aterrada e fase-fase para as demais configurações.

Os instrumentos de medição devem observar o atendimento aos protocolos de medição e às normas técnicas vigentes.

O espectro harmônico a ser considerado para fins do cálculo da distorção total deve compreender uma faixa de frequências que considere desde a componente fundamental até, no mínimo, a 25ª ordem harmônica ($h_{max} = 25$).

Os transformadores de potencial utilizados em um sistema trifásico devem ter as mesmas especificações e suas cargas devem corresponder a impedâncias semelhantes, e serem conectadas em Y-Y aterrado, independentemente do tipo ou classe de tensão. Para os casos sem conexão a terra pode ser utilizada como arranjos para os transformadores de potencial do tipo V.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

O problema formulado para o projeto de filtros é não linear com variáveis reais e inteiras cuja solução requer um algoritmo de otimização multiobjetivo misto. Estes tipos de problemas de otimização apresentam várias funções objetivos, que quase sempre estão em conflito, e que se pretende otimizar simultaneamente [7].

III.1 ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO

Em otimização multiobjetivo a noção de solução ótima é substituída pela noção de solução não dominada ou ótima de Pareto. Uma solução não dominada é uma solução admissível para a qual não é possível melhorar simultaneamente todas as funções objetivo; i.e., a melhoria numa função objetivo apenas pode ser alcançada por degradação de pelo menos uma das outras. Ou seja, uma solução admissível é dominada por outra sempre que ao passar da primeira para a segunda, exista melhoria de pelo menos uma função objetivo, permanecendo inalteradas as restantes [8].

Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II). [9] desenvolveram um algoritmo, NSGA-II, que usa um mecanismo de preservação e diversificação de soluções. Depois identifica várias frentes não dominadas, classificando a população em diferentes níveis de dominância. Existem muitos conceitos e definições particulares em otimização multiobjetivo. Como trabalha com problemas em que os objetivos encontram-se em conflito, não é possível obter uma solução ótima, mas um conjunto de soluções que constituem a frente ótima de Pareto. Nestas circunstâncias, ter como solução do problema um conjunto de soluções “ótimas” pode ser entendido no sentido de não se poder afirmar que, nesse conjunto, uma solução é melhor do que outra (i.e., o conceito de não dominância é o conceito chave em otimização multiobjetivo, mas é um conceito “pobre” no sentido em

que não permite discriminação entre essas soluções) [7][9][10].

O algoritmo tem início na iteração ($t = 0$) com a geração aleatória de uma população P_0 , de tamanho N . Nessa população são identificadas várias frentes não dominadas, classificando as soluções em diferentes níveis de não dominância “rank”. A cada solução é atribuído um valor de aptidão igual ao seu nível de dominância, começando por 1 para as soluções da primeira frente (que são as soluções não dominadas da população). Este procedimento é conhecido como ordenamento não dominado “non-dominated sorting”.

Depois desta fase de inicialização do algoritmo, inicia-se uma fase comum a todas as gerações (iterações) que compreende os seguintes passos pela iteração t :

1) Aplica-se um mecanismo de seleção por torneio, baseado no valor da aptidão e da distância de multidões de forma a preservar a diversidade da população. A solução i ganha o torneio se: tiver melhor classificação (em termos de ordenação nas frentes não dominadas) do que a solução j , ou se tiver a mesma classificação e a solução i tiver uma distância de multidões superior à solução j . A distância de multidões é usada como uma estimativa da densidade de soluções na vizinhança de uma solução i ;

2) São aplicados os operadores genéticos cruzamento e mutação, para construir uma população de descendentes, Q_t , de tamanho N que é combinada com a população P_t para formar uma terceira população R_t composta dos progenitores e descendentes;

3) As soluções da população R_t resultante (com tamanho $2N$), são classificadas por níveis de dominância para identificação das diferentes frentes não dominadas, e;

4) É feita uma nova população, P_{t+1} , a partir das soluções da população R_t (ver Figura 2). Como o tamanho de P_{t+1} é metade da de R_t , nem todas as frentes podem ser adicionadas à nova população. Isto implica que as piores frentes sejam ignoradas e que, ao adicionar a última frente possível à nova população, o número de soluções seja maior do que o espaço que sobra em P_{t+1} . Não havendo possibilidade de adicionar a totalidade de soluções da última frente possível, quando esta frente é adicionada, em vez de simplesmente se ignorar os elementos excedentes, é usada uma estratégia baseada em distância de multidões.

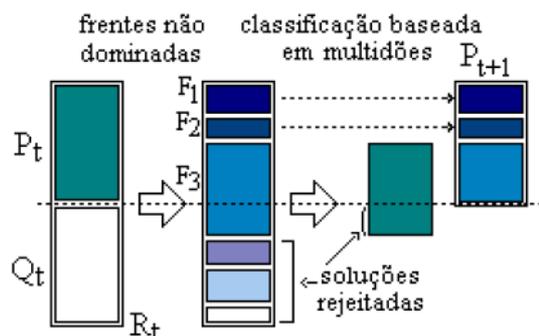


Figura 2: Obtenção da população P_{t+1} .

Fonte: [7].

5) Se a iteração corrente é menor do que o número pré-definido de gerações é incrementado $t = t + 1$ e se volta ao passo 1, mais em caso contrário o algoritmo termina.

Sheshadri [11] lançou o código fonte em Matlab para NSGA-II que é utilizado no desenvolvimento do *software*

de otimização deste artigo. Algumas características desta implementação do NSGA-II são as seguintes:

1) O algoritmo fica codificado diretamente em números reais “real-coded GA”, assim, o cromossomo fica representado por um arranjo de números reais, e;

2) O operador genético cruzamento emprega a técnica do “Simultated Binary Crossover SBX”, a qual simula o cruzamento binário que existe na natureza. O cruzamento do elemento j de dois progenitores p_{1j} e p_{2j} é feito mediante o seguinte procedimento:

- a. Gera-se um numero aleatório u_j uniformemente distribuído entre 0 e 1.
- b. Calcula-se o coeficiente β_j , mediante (6).

$$\beta_j = \begin{cases} (2u_j)^{\frac{1}{\mu+1}} & \text{se } u_j \leq \frac{1}{2} \\ (1/(2-2u_j))^{\frac{1}{\mu+1}} & \text{se } u_j > \frac{1}{2} \end{cases} \quad (6)$$

onde μ é o índice de cruzamento selecionado ($\mu=20$) segundo [11].

c. Calcula-se os elementos j dos filhos c_{1j} e c_{2j} mediante (5.23).

d.

$$\begin{aligned} c_{1j} &= \frac{1}{2}(1 + \beta_j)p_{1j} + \frac{1}{2}(1 - \beta_j)p_{2j} \\ c_{2j} &= \frac{1}{2}(1 - \beta_j)p_{1j} + \frac{1}{2}(1 + \beta_j)p_{2j} \end{aligned} \quad (7)$$

3) O operador genético mutação segue uma técnica tal como o cruzamento. A mutação do elemento j do progenitor p_j é feita mediante o seguinte procedimento:

a. Gera-se um número aleatório r_j uniformemente distribuído entre 0 e 1.

b. Calcula-se o coeficiente δ_j , mediante (5.24).

$$\delta_j = \begin{cases} (2r_j)^{\frac{1}{\mu m+1}} - 1 & \text{se } r_j < \frac{1}{2} \\ 1 - (1/(2-2r_j))^{\frac{1}{\mu m+1}} & \text{se } r_j \geq \frac{1}{2} \end{cases} \quad (8)$$

onde μm é o índice de mutação selecionado ($\mu m=20$) [11].

c. Calcula-se o elemento j do filho c_j mediante (9).

$$c_j = p_j + (x \max_j - x \min_j) \delta_j \quad (9)$$

onde $x \max_j$ e $x \min_j$ são os limites superior e inferior para a variável representada na posição j do cromossomo.

4) O algoritmo não tem um critério de convergência especial, mais termina quando se completa o número estabelecido de gerações.

Para poder utilizar o código de Sheshadri, foi necessário desenvolver algumas modificações que são descritas seguidamente [11]:

1) Depois que o operador genético de cruzamento é feito, os resultados c_{1j} e c_{2j} dos elementos j que são números inteiros são aproximados ao valor inteiro mais próximo.

2) Depois que o operador genético de mutação é feito, os resultados c_j dos elementos j que são números inteiros são aproximados ao valor inteiro mais próximo. Se o resultado $c_j < x \min_j$, é avaliado $c_j = x \max_j$, pelo contrário, se o resultado $c_j > x \max_j$, é avaliado $c_j = x \min_j$.

3) Além disso, os limites $x \min_j$ e $x \max_j$ são considerados na obtenção das soluções viáveis.

III.2 AVALIAÇÃO DA FUNÇÃO OBJETIVO

Como todo algoritmo genético, o NSGA-II utiliza uma função para avaliar os quatro objetivos declarados f_1 , f_2 , f_3 e f_4 a partir do arranjo x de variáveis independentes do problema (cromossomo). Esta função foi desenvolvida no Matlab como mostra (10):

$$\text{function } [f, data] = \text{evaluate_objectives}(x, data) \quad (10)$$

onde o parâmetro $data$ representa todos os dados adicionais para avaliar a operação do sistema para uma determinada solução (cromossomo x), e f recebe os resultados das funções objetivo calculadas.

O algoritmo da função “evaluate_objectives” é mostrado na Figura 3, e executado como descrito a seguir:

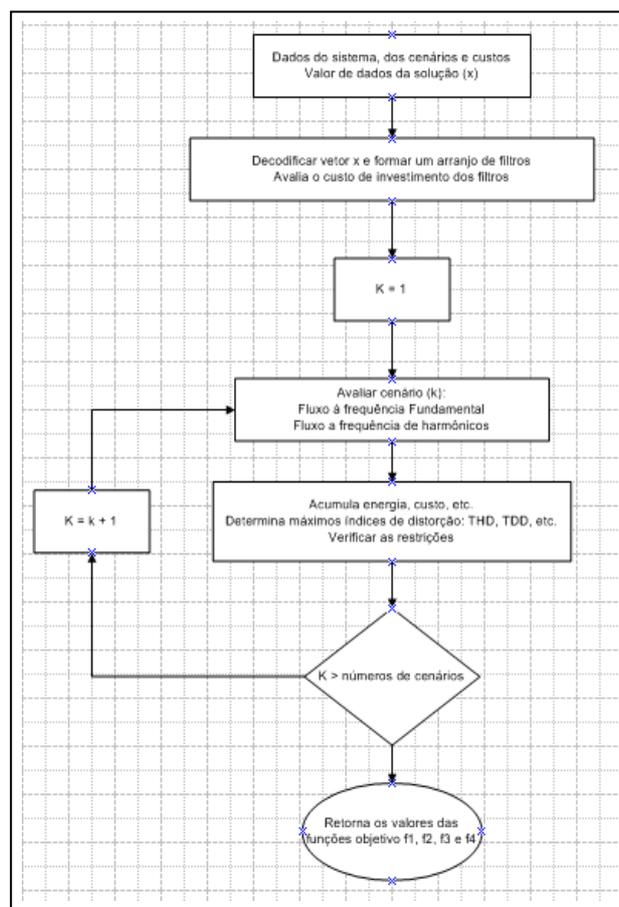


Figura 3. Algoritmo da função “evaluate_objectives”.

1) Dado o arranjo X de solução (cromossomo), determinar os dados correspondentes ao conjunto de filtros a serem localizados no sistema industrial;

2) Calcular o custo de investimento dos filtros;

3) Para todos os W cenários possíveis, analisar a operação do sistema elétrico industrial, por meio da função “loadflow” (fluxo de potência na frequência fundamental) e da função “harmflow” (cálculo da penetração de harmônicos);

4) Com os resultados calculados para os L cenários característicos, calcular a fatura de energia elétrica, incluindo as perdas em todos os elementos e nos filtros. Com esses dados, avalia-se o -VPL do projeto de compensação (f_1);

5) Calcular as taxas de distorção de tensões e correntes para todos cenários possíveis e determinar os máximos valores de TDD e THD (f_2 e f_3 , respectivamente), e;

6) Verificar as restrições de qualidade da energia e a saturação dos capacitores e calcular a função de restrições (f_4).

III.3 ALGORITMO PRINCIPAL

O algoritmo principal de otimização representado na Figura 4, pode ser resumido como:

- 1) Analisar o caso base do sistema industrial (avalia o custo inicial e todas as taxas de harmônicos);
- 2) Obter as soluções ótimas de Pareto mediante o algoritmo NSGA-II;
- 3) Selecionar uma solução da população final do NSGA-II.

A otimização é realizada a partir da área de trabalho do Matlab, invocando a função desenvolvida *nsga2opt.m* com a seguinte sintaxe:

```
function nsga2opt(@filename, popsize, generations) (11)
```

onde *filename* é o nome do arquivo (*.m) que descreve os dados do problema a otimizar, *popsize* é o tamanho da população e *generations* é a quantidade de gerações a avaliar.

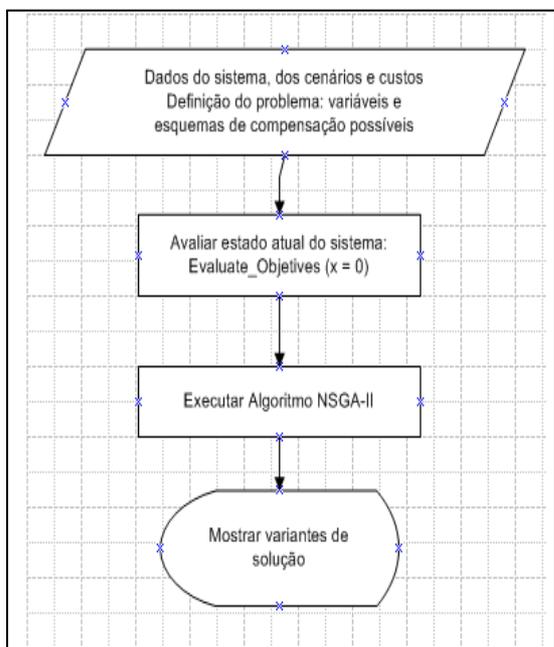


Figura 4: Algoritmo principal

Em cada geração, o algoritmo imprime os valores mínimos de cada função objetivo e parâmetros adicionais. Além disso, a cada dez gerações salva um arquivo (*results##.mat*) que contém todos os resultados da atual geração. Obtido o arquivo de resultados para o número de gerações especificadas, este é examinado pela função desenvolvida *dispresults.m* que tem a seguinte sintaxe:

```
function dispresults(resultfile) (12)
```

onde *resultfile* é o arquivo *result##.mat* da última das gerações.

A função *dispresults* mostra os resultados obtidos e seleciona as variantes a serem utilizadas de acordo com o seguinte algoritmo:

- 1) São selecionadas as variantes possíveis ($f_4 = 0$) da população final;
- 2) Dessas variantes, obtêm-se as soluções viáveis;
- 3) O resultado é apresentado graficamente (funções objetivo) para as diferentes variantes ordenadas, e;
- 4) A opção desejada é escolhida.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este exemplo corresponde a uma indústria que contém cargas de média e baixa tensão. O sistema elétrico utiliza uma rede de distribuição primária de 4160V que alimenta as cargas de média tensão e quatro subestações que alimentam as cargas de 480V. As cargas não lineares se concentram na parte de baixa tensão e estão formadas por conversores trifásicos de seis pulsos.

Neste caso considera-se que a tensão de todos os nós da rede deve cumprir com os indicadores de qualidade conforme estabelece a norma PRODIST-Módulo 8 da ANEEL. A instalação industrial está descrita de acordo com o diagrama unifilar mostrado na Figura 5 [12].

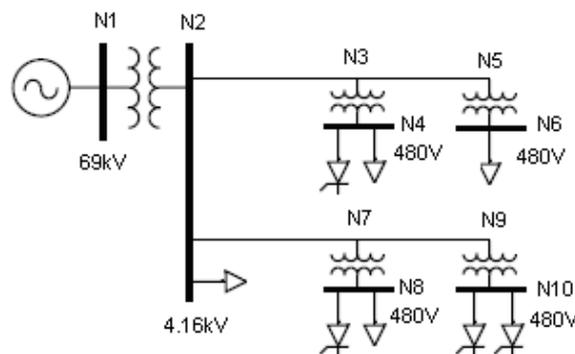


Figura 5: Exemplo de um Sistema.

Os dados que descrevem a instalação industrial. Para o processo de otimização, são considerados cinco cenários de operação possíveis, os quais são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Cenários para as análises

Parâmetro	Cenários				
	1	2	3	4	5
Duração diária do cenário (h/dia)	6	10	8	0	0
Depreciação da capacitância dos filtros ΔC(%)	0	0	0	0	10
Depreciação da indutância dos filtros ΔL(%)	0	0	0	-5	5
MVA de curto-circuito no PCC (MVA)	250	250	250	125	125

De acordo com o [5], estes níveis de distorção estão dentro dos limites estabelecidos. Terminadas 100 gerações, o algoritmo genético produziu uma população de 500 soluções, para o exemplo. Extraindo apenas soluções viáveis, os resultados obtidos são mostrados na Figura 6 para a fronteira de Pareto do problema.

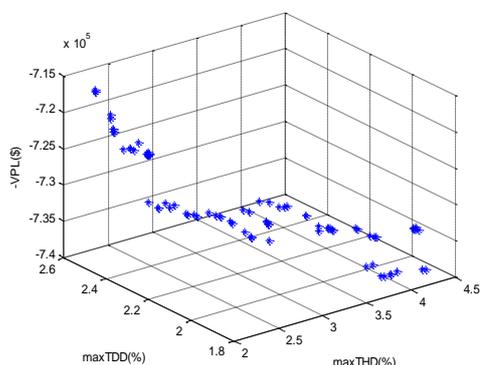


Figura 6. Espaço das soluções viáveis (caso 1).

IV.1 PROJETO DOS FILTROS PARA OS CINCO CENÁRIOS POSSÍVEIS

Neste caso, adicionam-se dois cenários não característicos que complicam o problema, pois os filtros devem ter um desempenho adequado para todos os cenários. Embora aumentem as taxas de distorção da tensão, igual ao caso anterior, não ocorrem violações da norma PRODIST Modulo 8, o que pode ser comprovado na Tabela 9.

Tabela 9: Resultados iniciais (caso 1).

Parâmetro	Valor
Custo anual da energia (\$/ano)	840124
Máximo TDD (%)	7.412
Máximo IDD (%)	6.498
Máximo THD (%)	9.090
Máximo IHD (%)	6.818
Fator de potencia	0.797

A Figura 7 mostra as soluções ordenadas para o novo caso, onde se repete o comportamento observado previamente.

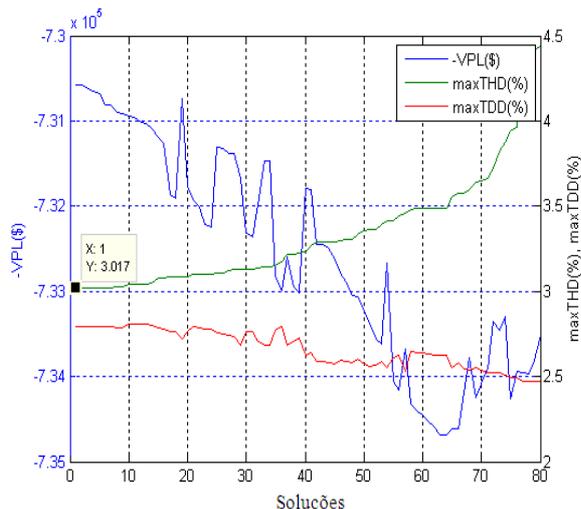


Figura 7. Soluções ordenadas (caso 1).

A solução escolhida apresentada, na Figura 7, está composta pelos filtros cujos parâmetros são mostrados na Tabela 10.

Tabela 10: Parâmetros dos filtros selecionados (caso 2)

Barra	Parâmetro	Ramo 1	Ramo 2
N4	Tipo	2ª ordem	
	Capacitor	8x50 kvar	
	Frequência	5.6	
	Fator de qualidade	5.8	
N8	Tipo	2ª ordem	
	Capacitor	4x50 kvar	
	Frequência	5.5	
	Fator de qualidade	5.8	
N10	Tipo	sintonizado	sintonizado
	Capacitor	4x50 kvar	2x50 kvar
	Frequência	4.7	6.6
	Fator de qualidade	41.3	22.7

Para estes filtros, obtêm-se os resultados da Tabela 11, que demonstram uma redução apreciável dos limites de distorção, e se espera um bom VPL do projeto.

Tabela 11: Resultados finais (caso 1)

Parâmetro	Valor	%
Custo anual da energia (\$/ano)	637442	75.875
Máximo TDD (%)	2.795	37.711
Máximo IDD (%)	2.481	38.177
Máximo THD (%)	3.017	33.191
Máximo IHD (%)	2.594	38.040
Fator de potencia	0.982	123.218
Custo de investimentos dos filtros (\$)	37751	
VPL do projeto	739857	

Como se pode ver, na Figura 5.16, estes filtros têm um desempenho muito estável ante as variações de seus parâmetros L e C.

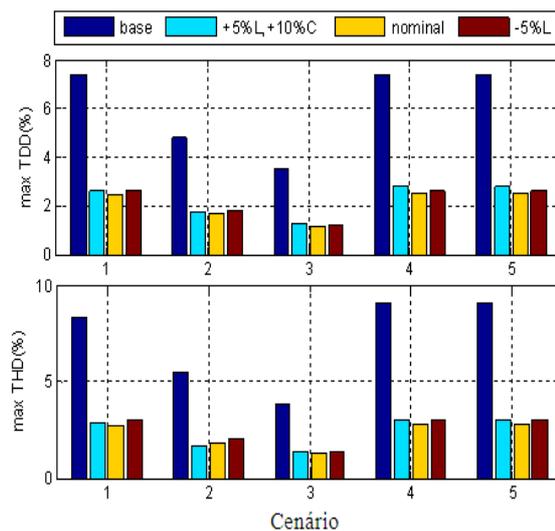


Figura 8. Resultados com depreciação dos filtros (caso 1).

Sendo assim, os resultados da varredura de frequência na Figura 9 mostra que os picos de impedância não coincidem com os harmônicos presentes e, portanto os filtros selecionados podem operar sem problemas.

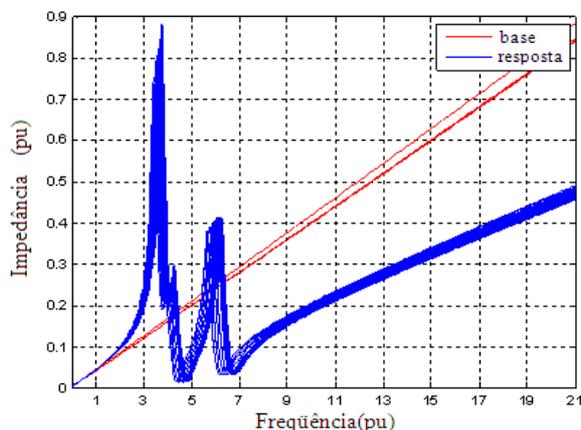


Figura 9. Varredura de freqüência na barra N10.

Como os casos 1 são muitos semelhantes aos outros casos testados, compararam-se os resultados quanto as taxas de distorção TDD e THD das variantes de solução aplicadas no caso 2, esperando que a variante encontrada para este caso seja melhor, sobretudo para dos cenários 4 e 5. Os resultados são mostrados na Tabela 12.

Tabela 12. Comparação entre as soluções 1 e 2 para caso 1.

Índice	Solução	Cenário					Max
		1	2	3	4	5	
maxTDD	1	2.596	1.699	1.234	2.445	4.450	4.450
	2	2.469	1.655	1.139	2.617	2.795	2.795
maxTHD	1	2.346	1.564	1.100	2.369	4.134	4.134
	2	2.742	1.834	1.280	3.017	3.017	3.017

V. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, podem-se tirar as seguintes conclusões. Para a obtenção de bons resultados, é necessário utilizar populações que superem várias vezes o número de variáveis do problema. Os casos considerados com três filtros foram aplicados com populações de 500 elementos (7.6 indivíduos por variável): 1) as respostas obtidas utilizam geralmente capacitores de diferentes potências para os diferentes ramos de um filtro. Isso é diferente das propostas de vários autores, que usam capacitores iguais para os diferentes ramos; 2) devido às características dos algoritmos genéticos, não há garantia de que o tipo de configuração dos filtros escolhida pelo algoritmo seja a melhor. Percebe-se que o algoritmo produzirá um conjunto de boas soluções para o problema. Sendo assim, o programa tem a opção de restringir as possíveis soluções a escolher e prefixar a configuração desejada em cada caso; 3) é necessário melhorar as ferramentas para a seleção da variante final, a partir do conjunto de soluções viáveis, determinadas pelo algoritmo de otimização; 4) as soluções obtidas com o algoritmo devem ser analisadas para diferentes condições de depreciação da capacitância e indutância dos filtros e, desta forma, julgar corretamente o desempenho dos filtros selecionados e 5) o algoritmo de otimização desenvolvido pode se adaptar sensivelmente à programação paralela com o qual se reduziria drasticamente o tempo de execução do algoritmo.

VI. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo apoio financeiro a pesquisa.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tostes, Maria Emília de Lima. **Avaliação dos impactos causados pela geração de harmônicos na rede de distribuição em Consumidores em baixa tensão**. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará (ITEC-UFPA). 2003.
- [2] Leite, J. C.; Abril, I. P.; Azevedo, M. S. S.; Medeiros, A. B. ; Nascimento, M. H. R. ; Valenzuela, W. A. V. . **Otimização multiobjetivo de filtros harmônicos passivos para instalações industriais usando técnicas de NSGA II**. Revista SODEBRAS, v. 10, p. 110-116, 2015.
- [3] IEEE. Std. 519-92. **Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems**. IEEE Industry Applications Society 2014.
- [4] IEC TR 61000-3-6 – “**Electromagnetic compatibility (EMC) –Part 3-6: Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems**”, Edition 2.0, 2008-02.
- [5] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. V.6. Data de vigência: 01/01/2015.
- [6] Arrillaga, J. and N. R. Watson. **Power Systems Harmonic**. 2nd ed. New York: Wiley, 2003.
- [7] Pereira Costa, Dulce Helena. **Uma Abordagem Evolutiva Multiobjetivo para o Problema de Compensação de Energia Reativa em Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. Tese submetida para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade de Coimbra, 2011.
- [8] CLÍMACO, J. N., C.H. ANTUNES E M.J. ALVES, **Programação linear multiobjetivo. Do modelo de programação linear clássico à consideração explícita de varias funções objetivo**. Universidade de Coimbra, 2003.
- [9] DEB, K., S. AGRAWAL, A. PRATAP, E T. MEYARIVAN, “**A fast elitist nondominated sorting genetic algorithm for multiobjective optimization: NSGA- II**”, Proceedings of Parallel Problem Solving from Nature VI, Springer, 849- 858, 2000.
- [10] BROWNLEE. JASON. **Clever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes**. Ed.Lulu. ISBN: 9781446785065. 2011.
- [11] SHESHADRI, ARAVIND. **NSGA-II source code available in**. <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/10429-nsa-ii-a-multi-objective-optimization-algorithm/content/NSGA-II/>. Acesso em 23 de outubro de 2012.
- [12] Leite, J. C ; Abril, Ignacio Perez ; Tostes, M. E. L.; Oliveira, R. C. L. **Optimización Multiobjetivos de Filtros Pasivos**. In: Sixth International Conference and Exhibition / Sexta Conferencia y Exhibición Internacional./ IEEE PES T&D LA 2012, 2012, Montevideo. Sixth International Conference and Exhibition/Sexta Conferencia y Exhibición Internacional./ IEEE PES T&D LA 2012. Uruguay: <http://www.ieee-tla.org>, 2012. v. 1. p. 1-30.



Biocomposite from polyester reinforced with licuri leaves fiber (syagros coronata)

Manfrine Silva Santos^{2*}, Raimundo Valdan Pereira Lopes^{1*}, Jandecy Cabral Leite^{3*}, Marcus Roberto Binda Afonso¹, Eleodoro Rodriguez Hermenegildo¹

¹Universidade Federal do Amazonas, Rua 1º de maio N.5, Colônia. Benjamin Constant – AM – Brasil. CEP: 69630 – 000. Fone: +55(97)34155677 / +55(92)993878930. *valdanlopes@hotmail.com

²Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correa 01 Guamá. Belém – Pará / Brasil. CEP: 66075-110. Fone: +55(91)32017435/ +55(91)93147699. *manfrine20@yahoo.com.br

³Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM Praça Francisco Pereira da Silva, 149, Bola da Suframa – Distrito Industrial. Manaus – Amazonas – Brasil. CEP: 69073-270. Fone: +55 (92) 3639-8952 ou +55 (92) 3584-6145. *jandecy.cabral@itegam.org.br

ABSTRACT

The aim of this paper is the evaluation of the mechanical properties of polyester composites reinforced with Licuri fibers by tensile testing through a manual process using the lowest possible level of steps in the technological process in order to obtain a technically viable material. Quantitative and qualitative methods were used, comparing parameters obtained in composites developed by other literature. The fibers in naturas were characterized taking into account their mass fraction (5 mm - 3.18%, 10mm - 3.15% and 15mm - 2.86%) and were evaluated micro structurally by scanning electron microscopy of the surface of the fiber. The results showed that for the investigated materials, the tensile strength increased with fiber length (5 mm - 13.47 (MPa), 10 mm - 14.5 (MPa) and 15mm - 16.97 (MPa)), and despite the mass fractions relatively low when compared to composites of other literature, the results proved potentially viable for using this composites.

Keywords: *Licuri leaves fibers, Mechanical Property, Tensile Testing, Bio composite.*

Biocompósito de poliéster reforçados por fibra da folha de licuri (syagros coronata)

RESUMO

O objetivo do artigo em questão foi o de avaliação das propriedades mecânicas em ensaio de tração de compósitos de poliéster reforçados por fibras de Licuri, mediante um processo manual utilizando o menor nível tecnológico possível nas etapas do processo, de modo a obter um material tecnicamente viável. O método utilizado foi o quantitativo e qualitativo, comparando parâmetros obtidos em compósitos desenvolvidos por outras literaturas. As fibras *in naturas* foram caracterizada quanto a sua fração mássica (5mm - 3,18%, 10mm - 3,15% e 15mm - 2,86%) e avaliação microestrutural por microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície da fibra. Os resultados revelaram que, para os compósitos investigados, a resistência à tração aumentou com o comprimento das fibras (5mm – 13,47(MPa), 10mm – 14,5(MPa) e 15mm – 16,97(MPa)) e apesar das frações mássica relativamente baixas quando comparadas as de compósitos fabricados nas de outras literaturas, os resultados alcançados se mostraram potencialmente viáveis.

Palavras-chave: *Fibras da folha de Licuri, Propriedade Mecânica, Ensaio de tração, Biocompósito.*

I. INTRODUÇÃO

As transformações notáveis recorrentes no desenvolvimento de materiais de engenharia nas últimas décadas são proporcionais às mudanças que ocorrem em nossa forma de trabalhar, construir,

consumir, inovar e pensar o futuro [1]. A consciência de que os recursos de fontes não renováveis são limitados, desencadeou uma maior valorização dos recursos de fontes renováveis, de tal forma, que vivenciamos o chamado século celulósico [2]. O

desenvolvimento de materiais compósitos reforçados por fibras vegetais ou biocompósito tem se tornado um desafio para a pesquisa científica, em que se busca conciliar desenvolvimento tecnológico com sustentabilidade. Uma vez, que as fibras naturais utilizadas nesses materiais desempenham um papel determinante na atividade econômica de um país [3]. Em países em desenvolvimento, tais fatores exercem um papel socioeconômico e ambiental fundamental, uma vez que promove a criação de postos de trabalho no campo e, por consequência, a geração de renda e a qualidade de vida das pessoas [4, 3]. O

Brasil, por ser um país de clima tropical é propício a muitas culturas vegetais, como é o caso da cana de açúcar, banana, coco, juta, sisal, milho, curauá, licuri e outras espécies ricas em fibras e outras substância, tornando este um dos maiores produtores de fibras naturais do mundo [5, 6].

A taxa média de crescimento mundial de biocompósito a base de plástico entre 2003 e 2007 foi de 38% ao ano, nesse mesmo período, a taxa de crescimento anual na Europa foi de 48%. Há, no entanto, uma previsão de superação da capacidade de produção que era de 0,36 milhões de toneladas ocorrida no ano de 2007, para um aumento de 2,33 milhões de toneladas até 2013 e, 3,45 milhões de toneladas até 2020 [2]. Estes são materiais que possuem características únicas, que os tornam adequados também em aplicação de produtos que possuem ciclos de vida curtos ou que não exijam alta resistência mecânica ou, em materiais descartáveis [7].

Assim também, manter as pessoas em locais de produção da matéria prima é um objetivo difícil, devido às dificuldades de investimento na produção, também devido a hostilidade e diversificação climática e principalmente à esperança de vida melhor nos grandes centros. Gerar uma fonte de renda para os produtores é de fundamental importância para se obter matéria suficiente para uma grande produção, aliando a isso a preservação da flora é outro benefício.

Diante dessa perspectiva, a pesquisa em questão objetivou o desenvolvimento de materiais compósitos reforçados por fibras da fibra da folha do Licuri, sendo esta uma fibra rotineiramente utilizada para os mais diversos fins por moradores do nordeste brasileiro, devido suas propriedades mecânicas e estéticas. Podendo tais fibras representar mais uma alternativa no uso em materiais compósitos poliméricos.

II. EXPERIMENTAL

Extração das fibras de Licuri: as fibras foram extraídas de forma manual das folhas das copas de árvores adultas nativas, com o uso de facões e faca, na região de caatinga do Município de Tapiramutá - BA, situada na região da Chapada Diamantina. O Município de Tapiramutá se encontra à 365 Km da capital Salvador. A obtenção e a separação das fibras foram realizados manualmente. Em seguida as fibras foram cortadas com tesouras manuais, obtendo-se comprimentos de fibras com 5, 10 e 15 mm, sendo este um procedimento consideravelmente simples, uma vez que já haviam realizados o desfibramento e a mesma possui fibras muito fina o que as torna bastantes maleáveis para o seu manuseio.

As fibras foram inicialmente pesadas e secadas até massa constante, determinando-se o teor de umidade pela Equação 1 que é referente ao Cálculo para a fabricação dos corpos de prova.

$$T\% = \frac{M_1 - M_2}{M_1} * 100 \quad (1)$$

Onde ($T\%$) corresponde ao teor percentual de umidade, (M_1) a massa inicial antes da secagem (M_2) a massa final após a secagem.

Para determinação da massa específica das fibras foi empregado o método do picnômetro com água como não solvente, sendo o material mergulhado em água notando o volume deslocado, conforme a norma DNER-ME 084/95. Foi definido o valor médio para a massa específica da fibra de Licuri em $1,35 \text{ g/cm}^3$. As imagens a, b e c da Figura 1 mostram

a fibra cortadas para determinação da massa específica.

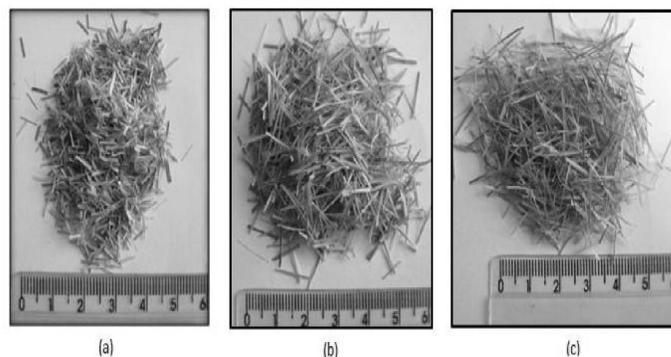


Figura 1: Fotos das fibras de Licuri antes da fabricação do compósito, cortadas com comprimento de 5 mm, 10 mm e 15 mm..

Matriz polimérica: A matriz utilizada foi a de poliéster *tereftálica* insaturada fabricada pela Royal Polímeros sob a denominação de Denverpoly 754, obtida em comércio especializado na região metropolitana de Belém-PA. O agente de cura da resina foi o peróxido MEK (butanox M - 50), nas porções de 0,33% v/v.

Confeções dos Corpos de Prova: A confecção dos corpos de prova dos compósitos consistiu em um processo bastante simplificado. Os copos de provas foram confeccionados em moldes de silicones, processo inteiramente manual, sem utilização de maquinário ou quaisquer processo de pressão e sem desmoldante, curados à temperatura ambiente. A determinação da massa para cada comprimento de fibra ocorreu respectivamente aos tamanhos das fibras de 5mm- 3,18%, 10mm- 3,15% e 15mm - 2,86%. A qual ocorreu em conformidade com a Equação 2.

$$fm = \frac{mf}{mc} * 100 \quad (2)$$

Onde (fm) corresponde à fração mássica, (mf) a massa da fibra (mc) a massa do compósito.

As médias usadas nas misturas com resina na proporção de 61,5 g e catalizador na proporção de 0,15 g para fabricação dos corpos de prova.

Ensaio de tração do material compósito: Os ensaios de tração ocorreram em conformidade com a norma ASTM D 638M. A confecção dos compósitos para o ensaio de tração ocorreu mediante o uso de moldes de silicone com um número de 24 (vinte e quatro) corpos de prova com matriz reforçada por fibras curtas Licuri. Os quais foram ensaiados em uma máquina universal modelo KRATOS MKCA-KE, com sistema de aquisição de dados, com célula de carga de 5 KN, adotando velocidade de 5 mm/min e comprimento útil para medição entre garras de 60 mm.

Análises da superfície da fratura dos corpos de prova: A análise da superfície da fratura dos compósitos ocorreu mediante Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV, em que se analisou a morfológica da superfície da fratura e os principais mecanismos de falha dos compósitos produzidos como mostra Figura 2.

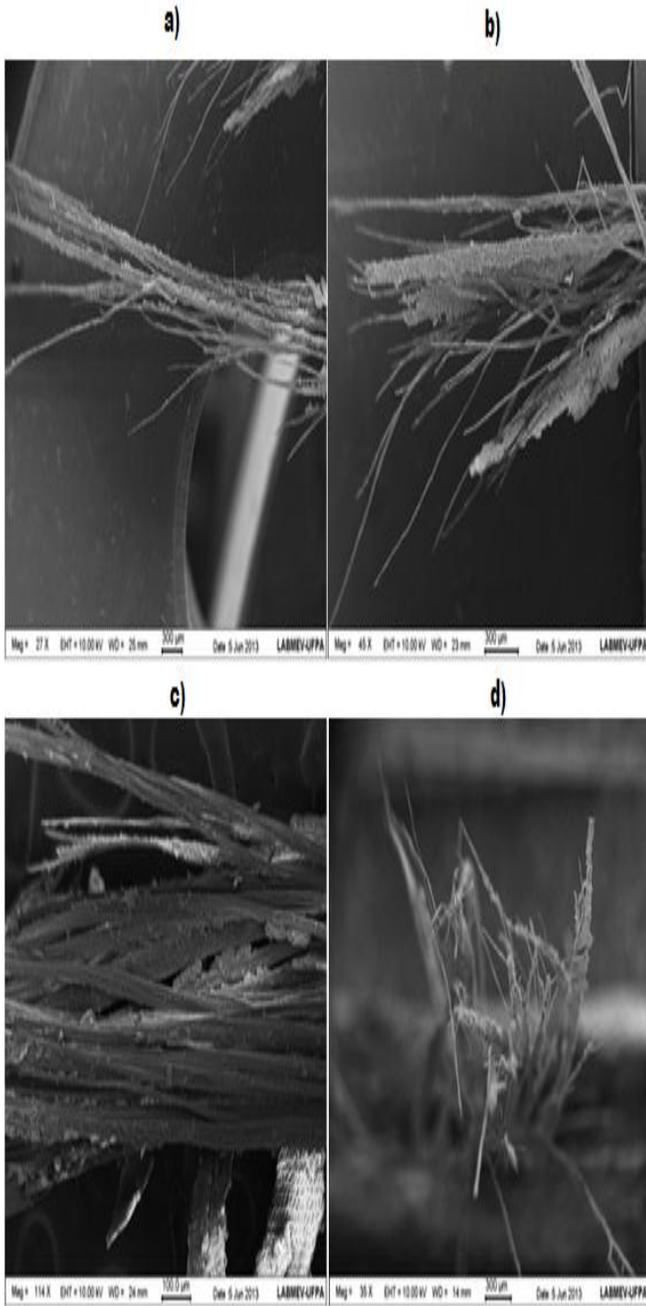


Figura 2: imagens de MEV da fibra de licuri *in natura*: **a) e b)** ângulo longitudinal e filetes de fibras **c)** microcavidade superficial e **d)** ângulo frontal.

2.1 Fratura do material compósito

A fractografia é a chave para se determinar a sequência dos eventos ocorridos ao longo do processo de fratura e identificar o estado de tensões atuantes no momento da falha [13]. A Caracterização das propriedades mecânicas dos materiais compósitos não é uma tarefa simples. A primeira questão a se considerar, é como aplicar métodos padrões desenvolvidos para materiais homogêneos, aos materiais compósitos. Este é especialmente o caso das propriedades locais, como os parâmetros de resistência ao impacto e tenacidade à fratura [14]. Figura 3 mostra os vários mecanismos de falhas que poderão ocorrer em compósitos reforçados por fibras. Ressalta-se, no entanto, que a fratura raramente ocorre de modo catastrófico, mas

tende a ser progressiva, com falhas subscritas dispersas através do material, o que se revela uma vantagem.

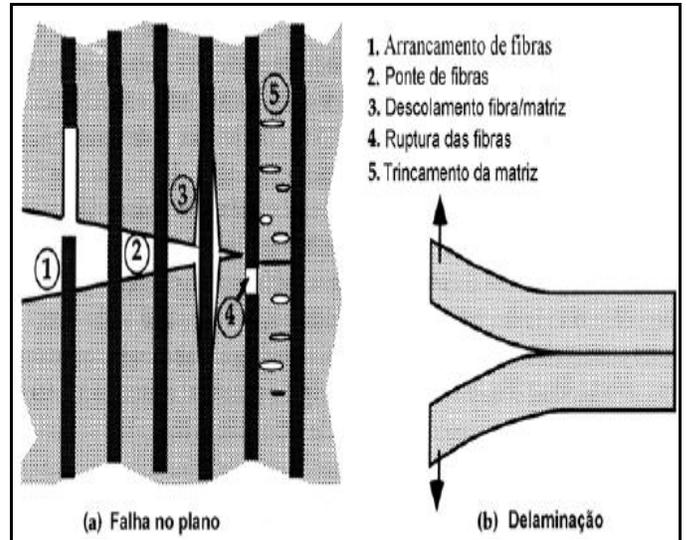


Figura 3. Mecanismos de falha em materiais compósitos.

Entre os mecanismos de falha local que podem ocorrer durante a fratura de um compósito fibrado estão a deformação e o trincamento da matriz, ruptura das fibras, descolamento das fibras, deslizamento interfacial seguido da ruptura das fibras (*pull out*), efeito pontes de fibras ou *fiber bridging*, onde as superfícies de uma trinca são interligadas por fibras. Vale ressaltar, que, durante o processo de fratura de um compósito, muitos destes mecanismos podem atuar simultaneamente.

3. Resultados e Discussão

Características mecânicas e microestrutural dos materiais compósitos: a fabricação, acabamento, dimensionamento e marcação dos compósitos com fibra de Licuri ocorreram em conformidade com especificações das normas ASTM D 638, conforme mostra a Figura 4.

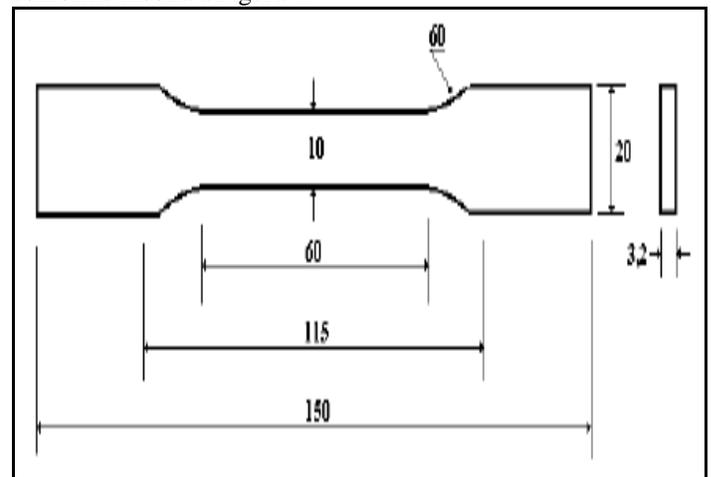


Figura 4: Dimensões em milímetro aplicado ao corpo de prova.

Materiais compósitos reforçados por fibras particuladas de Licuri de 5, 10 e 15 mm: A Figura 5 mostra os resultados do estresse mecânico no ensaio de tração dos compósitos com o surgimento de ciclos de ruptura provocados pela resitencia do material.

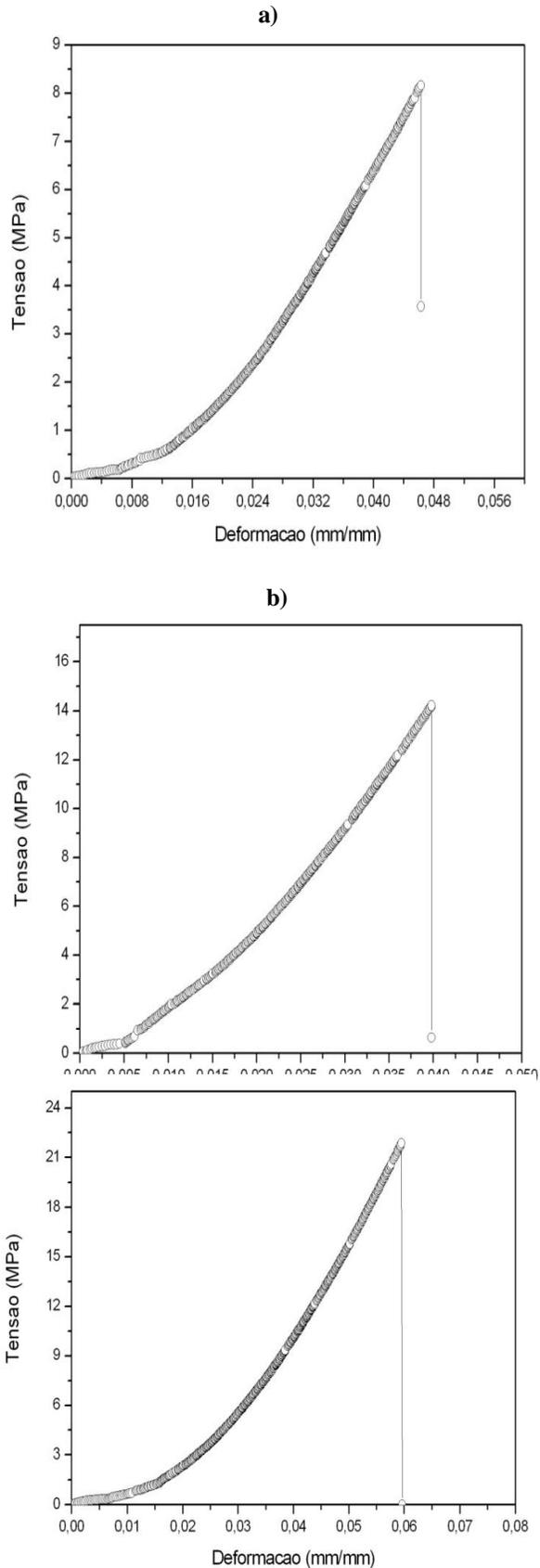
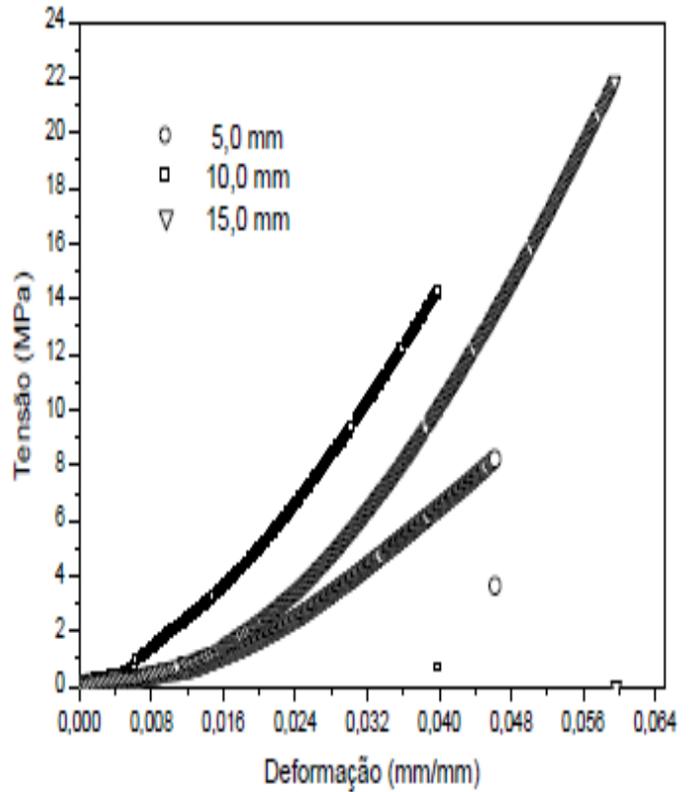


Figura 5: Curva tensão versus deformação de materiais compósito de poliéster reforçados por fibras de licuri de 5mm (a), 10mm (b) e 15mm (c).

A Figura 6 fornecer uma melhor compreensão do desempenho

mecânicos dos compósitos para o três materiais compósitos com fibras de 5mm, 10mm e 15mm.

Figura 6: Desempenho mecânico de compósitos reforçados por



fibras de Licuri de 5, 10 e 15 mm.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração mecânica dos compósitos reforçados por fibras de 5, 10 e 15mm, proporcionando uma melhor compreensão do esforço mecânico aplicado e suas proporcionalidades nos compósitos. Nos resultados obtidos se evidencia que os desempenhos mecânico dos compósitos foram respectivos aos comprimentos das fibras.

Compositos reforçados por fibras	Força Máxima (kN)	Deslocamento na Força Máxima (mm)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Deformação na Tensão Máxima (mm/mm)
5mm	0,43	2,42	13,47	0,34	0,04
10mm	0,46	2,81	14,50	0,31	0,05
15mm	0,54	3,14	16,97	0,32	0,05

Tabela 1: Materiais compósitos reforçados por fibras curtas de Licuri de 5 mm, 10mm e 15mm.

Algumas literaturas obtiveram resultados maiores ou menores comparar, mas todas utilizando uma quantidade mássica maiores que as utilizadas nessa pesquisa. Compósitos com matriz poliéster biodegradável reforçados por fibras de curauá tratadas e *in natura* nos comprimentos de 5, 10 e 20 mm, apresentaram no ensaio de resistência a tração de 13,60 MPa, 17,70 MPa e 14,50 Mpa os compósitos com fibras *in natura*, enquanto os compósitos reforçados por fibras de curauá tratadas quimicamente: 14,80 MPa, 19,30 MPa e 22,2 Mpa [8]. Tais resultados ocorreram respectivamente aos comprimentos das fibras. O compósito de matriz de poliéster reforçado a partir da fibra de da folha do licuri (*Syagrus coronata*) com tratamento *in natura*, obteve os

seguintes resultados (5mm - 13,47(MPa), 10mm - 14,50(MPa) e 15mm - 16,97(MPa) [9]. Todas as fibras consultadas obtiveram valores de resistências a tração entre 12 a 20 (MPa) o que pode viabilizar para a indústria materiais com reais capacidades de produção. O diferencial da fibra de Licuri dessa pesquisa, dar-se-á, pelo seu peso, a quantidade mássica utilizada foi bem inferior as pesquisas consultadas. Estudo com compósitos de resina poliéster de alta densidade reforçados por polpa de fibras de bambu alcançaram no ensaio de tração 17,5 (MPa), cujos resultados mais satisfatórios foram obtidos mediante o uso de compatibilizantes [10]. Compósitos de Poliuretano reforçados por fibras de curauá nas proporções de 5, 10 e 20 %, alcançaram no ensaio resistência à tração 14,7 (MPa), com desempenho mais satisfatório nos compósitos com proporções de 5% fibra curauá [11]. Em compósitos híbridos de poliéster insaturado reforçado por fibras curtas de sisal e seda de 1, 2 e 3 cm, os resultados mecânicos no ensaio de tração com base nos comprimento das fibras para compósitos híbridos com fibras *in natura*, foi de 16,57 (MPa), 18,94 (MPa) e 17,54 (MPa). No caso dos compósitos híbridos com fibras tratadas quimicamente, o resultado no ensaio de tração foi de 20,86 (MPa), 23,60 (MPa) e 21,31(MPa), sendo os compósitos tratados quimicamente, os que apresentaram melhores valores mecânico [12]. No caso de compósitos puros de matriz epóxi com fibras de banana e sisal de 15 mm, o resultado do ensaio de tração para compósitos com fibras de banana foi de 16,12 (MPa) e para os materiais compósitos com fibra de sisal foi de 21,20 (MPa) [12].

Aspecto da fratura dos materiais compósitos reforçados por fibras particuladas de Licuri de 5, 10 e 15 mm: O aspecto da fratura do material compósito com fibras de 5,0 mm encontra-se ilustrado na Figura 7. Observa-se que após a fratura ocorreu a exposição de fibras devido ao fenômeno de *pull-out* ou ainda associado a fratura de fibras durante o carregamento no ensaio mecânico.



Figura 7: Aspecto da fratura do material compósito com fibras de licuri de 5,0 mm de comprimento.

Para o compósito com fibras de 10 mm de comprimento, o aspecto da fratura do material compósito encontra-se ilustrado na Figura 8. Observa-se que, após a fratura ocorreu a exposição de fibras devido ao fenômeno de *pull-out* ou ainda associado a fratura de fibras durante o carregamento no ensaio mecânico, semelhante ao ocorrido com o reforçado por fibras de 5,0 mm de comprimento.



Figura 8: Aspecto da fratura do material compósito de poliéster reforçado por fibras de licuri de 10 mm de comprimento.

Para o compósito com reforço de fibras de 15,0 mm, o aspecto da fratura do material compósito encontra-se ilustrado na Figura 9. Observa-se que após a fratura ocorreu a exposição de fibras devido ao fenômeno de *pull-out* ou ainda associado a fratura de fibras durante o carregamento no ensaio mecânico, semelhante ao ocorrido com o reforçado por fibras de 5 mm de 10 mm de comprimento.



Figura 9: Aspecto da fratura do material compósito de poliéster reforçado por fibras de licuri de 15mm de comprimento.

4. CONCLUSÕES

Os resultados no ensaio mecânico de tração dos compósitos reforçados por fibras de Licuri fabricação por moldagem manual revelaram um aumento na resistência proporcional ao reforço, com resultado satisfatório com os reforçados por fibras de 15 mm. Os mecanismos de falhas predominantes nos compósitos de maiores resistências foi o rompimento das fibras, e para os de menores resistências foram o *pull out* e descolamento de fibras na matriz. Quando comparado com resultados de outras literaturas pode-se inferir que as características e propriedades mecânicas do compósito produzido, possui viabilidade de uso em aplicações diversas da indústria. Ao mesmo, em que promove a discussão em torno da viabilidade no uso de fibras vegetais regionais do nordeste brasileiro.

5. AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Universidade Federal do Pará (UFPA), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) e Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia (ITEGAM), pelo apoio na realização dessa pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Mano, E. B. **Polímeros como Materiais de Engenharia**. Ed. Blucher Ltda, São Paulo, 2010. 5 reimp.

- [2] Faruk, O.; A. K. Bledzki; H. Fink; M. Sain. **Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000 – 2010**. 2012. 37, 1552–1596.
- [3] Monteiro, S. N.; V. Calado; F. M. Margem; R. J. S. Rodriguez. **Thermogravimetric Stability Behavior of Less Common Lignocellulosic Fibers**. 2012, v.1, 3, 189-199.
- [4] Tomczak, F.; T. H. D. Sydenstricker; K. G. Satyanarayana. **Studies on lignocellulosic fibers of Brazil**. Part II: Morphology and properties of Brazilian coconut fibers. 2007, 38, 1710-1721.
- [5] Guimarães, J. L.. **Tese de Doutorado**, Universidade Federal do Paraná, 2010.
- [6] Alves, C.; P. M. C. Ferrão; A. J. Silva; L. G. Reis; M. Freitas; L. B. Rodrigues; D. E. Alves. 2010, 18, 313–327.
- [7] Ramírez, M. G. L.. **Tese de Doutorado**, Universidade Federal do Paraná, 2011.
- [8] Harnnecker, F.; D. S. Rosa; D. M. Lenz. **Biodegradable Polyester-Based Blend Reinforced with Curauá Fiber: Thermal, Mechanical and Biodegradation Behaviour**. 2012, 20, 237-244.
- [9] Mothé, C. G.; C. R. ARAÚJO. *Caracterização térmica e mecânica de compósitos de poliuretano com fibras de Curauá*. 2004, 14, 4, 274-278.
- [10] Liu, H. et al, 2008, **Compatibilizing and toughening bamboo flour-filled HDPE composites**: Mechanical properties and morphologies. *Composites: Part A*, n. 39, p. 1891-1900.
- [11] Mothé, C. G. and ARAÚJO, C. R., 2004, **Caracterização térmica e mecânica de compósitos de poliuretano com fibras de Curauá**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. v. 14, n. 4, p.274-278.
- [12] Khanam, P. N. et al, 2007, Tensile, **Flexural and Compressive Properties of Sisal/Silk Hybrid Composites**. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v. 26, n. 10.
- [13] Franco, L. A. L. **Análise fractográfica de compósitos poliméricos estruturais**. 2003. Dissertação (Mestrado em Física e Química de Materiais Aeroespaciais), Instituto Tecnológico da Aeronáutica - ITA, São José dos Campos/SP, 2003.
- [14] Silva, R. V. **Compósito de Resina Poliuretano Derivada de Óleo de Mamona e Fibras Vegetais**. 2003. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais), Setor de Tecnologia, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2003.



Tube and Shell heat exchanger optimization taking into account Mechanical restrictions

Maida Bárbara Reyes Rodríguez, *Jorge L Moya Rodríguez, Oscar Cruz Fonticiella, Eduardo Migeu Fírvida Donéstevez.

Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Central de Las Villas. Carretera a Camajuaní, Km. 31/2, CP 54830. Santa. Clara. Villa Clara. Cuba.* jorgemoyar@gmail.com

ABSTRACT

Normally when the optimization of a heat exchanger is realized looks for to diminish the cost, being used for the thermal and hydraulic calculation some of the methods established in Literature, preferably the method of Kern or the one of Bell Delaware. After realized the optimization, the interchanger according to the procedure is designed mechanically established by the different norms, mainly norms ASME and TEMA. Nevertheless the mechanical calculation, as much of the resistance of the tube and shell, like the calculation to the vibrations, can produce the modification of the values of the used variables of design in the process of thermal and hydraulic optimization. In the present work a procedure for the mechanical optimization of the heat exchangers of tube and shell, that not only consider the objectives functions own of the thermal and hydraulic design of the interchangers, but also restrictions is offered, in such a way that the resistance of the optimized interchanger is guaranteed. All the procedure was implemented using MATLAB.

Key words: optimization, heat exchangers, mechanical restrictions, entransy, genetic algorithms.

Optimización de Intercambiadores de Calor de tubo y coraza teniendo en cuenta las restricciones mecánicas

RESUMEN

Normalmente cuando se realiza la optimización de un intercambiador de calor se busca minimizar el costo, usándose para el cálculo térmico e hidráulico algunos de los métodos establecidos en la literatura, preferentemente el método de Kern o el de Bell Delaware. Luego de realizada la optimización, se diseña mecánicamente el intercambiador de acuerdo a los procedimientos establecidos por las diferentes normas, principalmente las normas ASME y TEMA. Sin embargo el cálculo mecánico, tanto de la resistencia del tubo y de la coraza, como el cálculo a las vibraciones, pueden producir la modificación de los valores de las variables de diseño usadas en el proceso de optimización térmica e hidráulica. En el presente trabajo se ofrece un procedimiento para la optimización de los intercambiadores de calor de tubo y coraza, que no sólo tiene en cuenta las funciones objetivos propios del diseño térmico e hidráulico de los intercambiadores, sino también las restricciones mecánicas, de tal manera que se garantice la resistencia del intercambiador optimizado. Todo el procedimiento se implementó usando MATLAB.

Palabras Clave: optimización, intercambiadores de calor, restricciones mecánicas, entransía, algoritmos genéticos.

I. INTRODUÇÃO

En los últimos veinte años, el consumo mundial de energía ha aumentado un 52%. En la última década, lo ha hecho un 30%. El consumo energético mundial total en 2012 fue de 600 EJ (= 6×10^{20} J) (ó 166,700T²Wh) con un 86,5% derivado

de la combustión de combustibles fósiles, aunque hay al menos un 10% de incertidumbre en estos datos. Esto equivale a una potencia media de 18 TW (= $1,8 \times 10^{13}$ W) [1].

Por lo anterior se comprende que el problema de la economía energética unido al impacto ambiental es uno de los más importantes y de orden cada vez más creciente. La investigación y el desarrollo en la transferencia de calor son de significativa importancia en muchas ramas de la tecnología, en particular de la tecnología energética [2,3]. El proceso de intercambio de calor entre dos fluidos que están a diferentes

¹E= exa = Prefijo del Sistema Internacional de Unidades que indica un factor de 10¹⁸

²T= tera = Prefijo del Sistema Internacional de Unidades que indica un factor de 10¹²

temperaturas y separados por una pared sólida ocurre en muchas aplicaciones de ingeniería. Por muchos años, el diseño de estos equipos ha sido un gran reto para los investigadores, debido a las exigencias del ahorro energético. Dentro de ellos, los intercambiadores de calor del tipo de coraza y tubo constituyen la parte más importante de los equipos de transferencia de calor sin combustión en las plantas de procesos químicos y su uso es muy amplio en la producción de potencia.

Los nuevos desarrollos de intercambiadores incluyen criterios de optimización desde el punto de vista energético, pero sin tener en cuenta las restricciones mecánicas impuestas por las normas dentro del propio proceso de optimización.

Los intercambiadores de calor de tubo y coraza (ICTC) son el tipo más común en los procesos industriales. Además, mencionan que la minimización del costo de estos equipos es un objetivo clave para diseñadores y usuarios [4].

Compañías tales como la HTRI [5] y HTFS [6] (Heat Transfer Research Incorporate, HTRI; Heat Transfer Flow Systems, HTFS), venden sus software en el mercado, incorporando diversas opciones para los intercambiadores de calor.

Uno de los trabajos pioneros en la optimización de intercambiadores de calor de tubo y coraza fue el realizado en el año 1996 por Markovska Liljana; Mesko Kiprijanova Radmila y Grizo Alexander [7]. En su trabajo señalan la complejidad de este proceso y desarrollan un software para tal fin denominado OPTIMIZER. Definen una función objetivo junto con la restricción implícita.

Las técnicas evolutivas se han utilizado con el fin de la optimización de un solo objetivo por más de tres décadas [8]. Pero se descubrió gradualmente que muchos problemas del mundo real están planteados naturalmente como problemas de varios objetivos. Actualmente la optimización multiobjetivo es sin duda un tópico muy popular para los investigadores y los ingenieros. Una historia más completa de los Algoritmos Genéticos y otros métodos evolutivos se ofrece por Bäckert al [9].

Sin embargo el interés y la utilización de los Algoritmos genéticos en el campo de la transferencia de calor son mucho más recientes. Esto es probablemente debido al hecho que para la mayoría de los problemas numéricos en los cuales se interesa la transferencia de calor los tiempos de cómputo son típicamente largos.

El procedimiento de optimización multiobjetivo mediante GAs no busca una solución óptima particular, sino en su lugar un conjunto de soluciones que representan compromisos entre muchas funciones objetivos. En la mayoría de los artículos recientes el algoritmo específico empleado es el “*Algoritmo Genético de Ordenación No-Dominada Elitista* (NSGA-II) [10]. Por analogía con la conducción eléctrica, en el año 2007 Guo Zeng-Yuan; Zhu Hong-Ye y Liang Xin-Gang [11] definieron un nuevo concepto físico denominado Entransy, que describe la

habilidad de un cuerpo o sistema para transferir calor.

Esta cantidad, que será referida como “Entransía” ($E_h = \frac{1}{2} Q_{vh} \cdot T$), corresponde a la energía eléctrica almacenada en un capacitor. Los análisis de transferencia de calor demuestran que la Entransía de un objeto describe su capacidad de transferencia de calor, de la misma forma que la energía eléctrica en un capacitor describe su capacidad de transferencia de carga eléctrica. La disipación de Entransía ocurre durante procesos de transferencia de calor como una medida de la irreversibilidad de la transferencia de calor.

Los conceptos de entransía y disipación de entransía fueron utilizados para desarrollar el principio de la disipación de entransía para la optimización de los procesos de transferencia de calor. Para un flujo de calor en una frontera fija, el proceso de conducción es óptimo cuando se reduce al mínimo la disipación de entransía [12].

Para el diseño y análisis de intercambiadores de calor se define una resistencia térmica equivalente basada en la disipación de entransía, de tal manera que el principio extremo de disipación de entransía se puede relacionar con el principio de la mínima resistencia térmica para evaluar el proceso de transferencia de calor [13].

La llamada “Teoría de la disipación de entransía” ha revolucionado los conceptos y métodos de la transferencia de calor. Guo Jiangfeng, Li Mengxun, Xu Mingtian y Cheng Lin [14] introducen esta teoría en la optimización de intercambiadores de calor.

Para el diseño y análisis de intercambiadores de calor se define una resistencia térmica equivalente basada en la disipación de entransía, de tal manera que el principio extremo de disipación de entransía se puede relacionar con el principio de la mínima resistencia térmica para evaluar el proceso de transferencia de calor [15].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

II.1 PROCEDIMIENTO PARA LA OPTIMIZACIÓN MULTI-OBJETIVO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBO Y CORAZA.

En la figura 1 se presenta en un diagrama de bloques el procedimiento desarrollado para llevar a cabo la optimización multiobjetivo de un intercambiador de calor de tubo y coraza. Por primera vez se optimiza un ICTC considerando tres objetivos a la vez, una referencia consultada en que se utiliza este tipo de optimización multiobjetivo para otro tipo de equipo es la [16]. En la optimización multiobjetivo para el estudio de caso considerado se tendrán en cuenta tres funciones objetivo: el costo total, el número total de disipación de entransía y la tasa de resistencia térmica, de modo que se obtendrá un frente de Pareto espacial, en la optimización se introducen las diez restricciones mecánicas, y luego se analizarán los resultados en su conjunto.

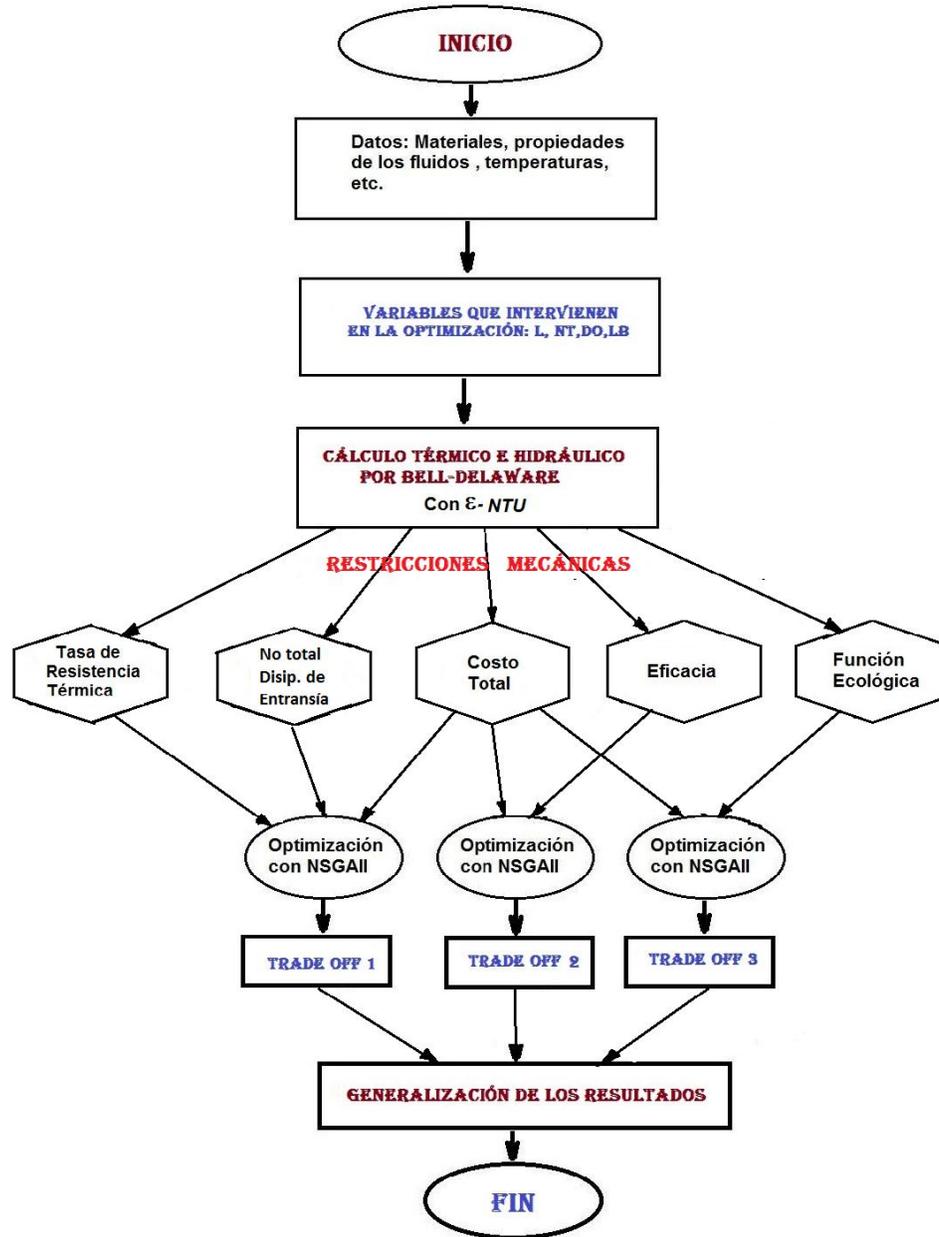


Figura 1: Diagrama del procedimiento seguido para la optimización multiobjetivo.

Las restricciones mecánicas que se tuvieron en cuenta son:

1. Criterio de Pettigrew y Gorman [17], el cual establece que la frecuencia reducida por el vertimiento de vórtice debe ser mayor que dos veces el número de Strouhal.

$$\frac{f_n \cdot d_o}{V} > 2S_u \quad (1)$$

2. La deflexión por vertimiento de vórtice y por impacto turbulento (y_{max}) debe ser menor de 0,02 do [18].
- 3.

$$y_{maxvv} = \frac{C_L \cdot \rho_o \cdot d_o \cdot V^2}{8 \cdot \pi^2 \cdot \delta_T \cdot f_n^2 \cdot w_o} \leq 0,02 d_o \quad (2)$$

$$y_{maxit} = \frac{C_F \cdot \rho_o \cdot d_o \cdot V^2}{8 \cdot \pi \cdot \sqrt{\delta_T} \cdot \sqrt{f_n^2 \cdot w_o}} \leq 0,02 d_o \quad (3)$$

Donde:

f_n - Frecuencia natural en 1/s

S_u - Número de Strouhal

y_{maxvv} - Valor máximo de la amplitud de la vibración en el medio del tramo del tubo para el primer modo, para fluidos de una fase en pulgadas.

y_{maxit} - Valor máximo de la amplitud de la vibración en el medio del tramo del tubo para el primer modo, para fluidos de una fase en pulgadas.

C_L - Coeficiente de elevación para el vertimiento de vórtice (ver tabla 3.3).

ρ_o - Densidad del fluido del lado de la coraza a la temperatura volumétrica en libras por pie cúbico.

d_o - Diámetro exterior del tubo en pulgadas.

V - Velocidad de flujo cruzado de referencia en pies por segundo.

δ - Decremento logarítmico (amortiguación)

f_n – Frecuencia natural fundamental del tramo de tubo en ciclos/s
 w_o – Peso efectivo del tubo por unidad de longitud en libras/pie
 C_F - Coeficiente de fuerza.

- Chequeo a la inestabilidad elástica del fluido. Según Pettigrew y Taylor, la velocidad del fluido por dentro del tubo debe ser menor que la velocidad crítica [18]:

$$V < V_{crit} \quad \text{donde: } V_{crit} = 3 f_n \cdot d_o \left(\frac{m \cdot \delta_T}{\rho_s \cdot d_o^2} \right)^{0.5} \quad (4)$$

- La tensión equivalente actuante en la coraza (σ_{act}), tiene que ser menor que la tensión admisible del material de la coraza [19]:

$$\sigma_{act} < \sigma_{adm} = \frac{P \cdot r}{t_{circ}} \quad (5)$$

P – Presión interna del recipiente

r – Radio interior de la coraza

t_{circ} – espesor de pared de la coraza según el esfuerzo circunferencial.

- La presión máxima permisible en la coraza (Según norma ASME) es mayor que la presión actuante[20]:

$$P_{act} < [P_{m\acute{a}x}] = \frac{S \cdot E \cdot (t - CA)}{\frac{D_o}{2} - 0.4 \cdot (t - CA)} \quad (6)$$

donde:

t: Espesor nominal o espesor mínimo del casco (pulg)

D_o : Diámetro externo casco (pulg)

CA: Tolerancia a la corrosión (pulg)

E: Eficiencia de la junta de soldadura

S: Esfuerzo permisible casco (psi)

[$P_{m\acute{a}x}$] Presión máxima de trabajo permisible (psig).

- La tensión circunferencial en los tubos según código ASME sección VIII debe ser menor que la permisible del material de los tubos [20]:

$$S_{circ} = \frac{P(R+0.6)}{E(t+1)} < S_{perm} \quad (7)$$

Donde:

t - Espesor nominal tubos (pulg)

P- Presión interna de diseño máxima (Lb/pulg²)

R- Radio interior del tubo (pulg).

S - Esfuerzo máximo permitido del material empleado a la temperatura de diseño (ASME VIII, Subsección C). (Lb/pulg²).

E- Eficiencia de la junta soldada según ASME.

- La tensión longitudinal en los tubos según código ASME sección VIII debe ser menor que la permisible del material de los tubos [20]:

$$S_{long} = \frac{P(R-0.4t)}{2 \cdot E \cdot t} < S_{perm} \quad (8)$$

- La Tensión equivalente en el tubo (σ_{eq}) considerándolo como bóveda de paredes delgadas debe ser menor que la permisible del material de los tubos (σ_{perm}) [21]:

$$\sigma_{eq} = \frac{\sqrt{3}}{4} * \frac{p \cdot D}{h} < \sigma_{perm} \quad (9)$$

donde:

p - presión interior en el tubo

D - diámetro medio del tubo

h - espesor de la pared del tubo.

- La Tensión equivalente en el tubo considerándolo como bóveda de paredes gruesas debe ser menor que la permisible del material de los tubos.

11.

$$\sigma_{eq} = \frac{\sqrt{3}}{4} * p * \frac{\left(\frac{D}{h} + 1\right)^2}{h} < \sigma_{perm} \quad (10)$$

- La Tensión equivalente en el tubo considerándolo como bóveda de paredes gruesas y teniendo en cuenta la temperatura [22]:

$$\sigma_{eq} = \frac{(\varepsilon + 1)^2}{4 \cdot \varepsilon} * \sqrt{3 * p^2 + 3 * p * m_1 * \Delta t + (m_1 * \Delta t)^2} < \sigma_{perm} \quad (11)$$

donde:

$$m_1 = \frac{E \cdot \alpha \cdot \alpha_1}{1 - \mu} \alpha_1 = \frac{2 \cdot \varepsilon}{(\varepsilon + 1)^2 \cdot \ln\left(\frac{\varepsilon + 1}{\varepsilon - 1}\right)} - 1 \quad \text{y } \varepsilon = D/h \quad (12)$$

E - Módulo de Elasticidad del material del tubo

α - coeficiente de dilatación térmica del material del tubo

μ - coeficiente de Poisson del material del tubo.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para todos los resultados expuestos en las tablas sucesivas, la nomenclatura utilizada fue la siguiente: Lt- longitud del tubo, do-diámetro exterior del tubo, Lb-espaciamento entre deflectores, Ds-diámetro interior de la coraza, Nt-número de tubos, Uo-Coeficiente total de transferencia de calor, Q-flujo de calor, Tco-temperatura de salida del fluido frío, Tho-temperatura de salida del fluido caliente, Acal-área de transferencia de calor calculada, VLn-velocidad lineal del fluido por los tubos, T.R.Tér-tasa de resistencia térmica, Ef-eficacia, Ci-costo fijo, CoD-costo de operación, ΔP_t -caída de presión en los tubos, ΔP_c -caída de presión en la coraza, NTDE-número total de disipación de entransía.

III.1 ESTUDIO DE CASO

Para evaluar todo el procedimiento desarrollado se decidió analizar como estudio de caso, un ejemplo de la literatura [23].

Diseñar un intercambiador tipo E de la norma TEMA para enfriar un condensado secundario de metanol a 95°C. El rango o razón de flujo del metanol es de 27.8 kg/s. Se utilizará agua de mar a 25°C como refrigerante. El refrigerante es corrosivo, por tanto se asignará al lado del tubo. Como se conocen sólo las temperaturas de entrada de los fluidos y no las de salida se utiliza el procedimiento de ε -NTU para el diseño. Se utiliza este procedimiento para lograr una optimización térmica del equipo y el procedimiento LMTD sólo como un complemento del diseño. En la tabla 1 se muestran los datos y resultados tomados de la literatura [23].

Tabla 1: Datos y resultados del ejemplo de la Literatura

Lt (m)	do (mm)	Lb (mm)	Ds (mm)	Nt	U ₀ W/m ²⁰ C	Q (kW)	Tc ₀ (°C)	Th ₀ (°C)	Acal m ²	V.Ln (m/s)
4.83	20	178	894	918	600	4340	40	40	278	0.75

III.2 OPTIMIZACIÓN CON EL PROCEDIMIENTO DESARROLLADO

Primeramente se aplicó el procedimiento con los parámetros de diseño fijados dados en la literatura con el objetivo de tenerlos como parámetros de comparación y se obtuvo la optimización que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2: Optimización con los datos del ejemplo tomado de la Literatura.

T. R. Tér.	Ef.	Costo \$	Lt (m)	do mm	Nt	Lb mm	Ds mm	NTU	Uo W/m ²⁰ C	ΔPt (Pa)	ΔPc (Pa)	Q (kW)	Tco (°C)	Tho (°C)	Acal m ²	C_i \$	CoD \$	V.Ln. (m/s)
0,63	0,79	58296,6	4,83	19,05	918	178	803	2,2	659	9121,2	34952,4	4346,3	40,0	39,9	265,4	49622,2	8674,0	0,8

Se realiza entonces la optimización multiobjetivo con el procedimiento propuesto. Los mejores diseños se seleccionan según los siguientes criterios:

1. El valor o los valores más cercanos a la dominancia de Pareto que resulta ser la diagonal al gráfico que parte del óptimo inalcanzable (en lo adelante criterio 1).
2. El valor que da la temperatura de salida recomendada para el fluido que se enfría o se calienta (en lo adelante criterio 2).

La primera optimización multiobjetivo contempla tres funciones objetivo como se mencionó anteriormente (Tasa de resistencia térmica contra costo total y número total de disipación de entransía contra costo total) y sus resultados se muestran en la figura 2 En la misma se encuentra señalado el mejor diseño según el criterio 1

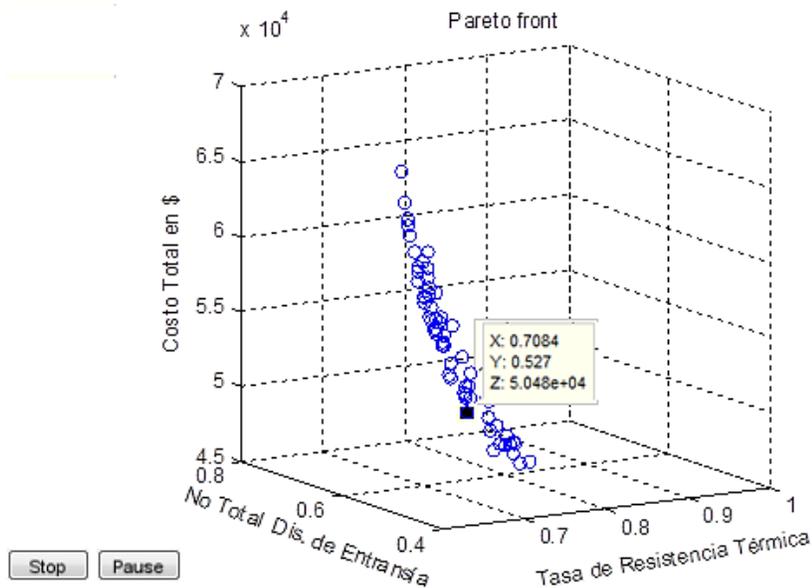


Figura 2: Número total de disipación de entransía contra la tasa de resistencia térmica y contra el costo total.

disipación de entransía son necesarios mayores valores para el costo total del equipo. En la figura 3 se muestra las proyecciones del frente de Pareto en los ejes x-z “y” y-z.

Se puede notar que a medida que se quieren menores valores de tasa de resistencia térmica y del número total de

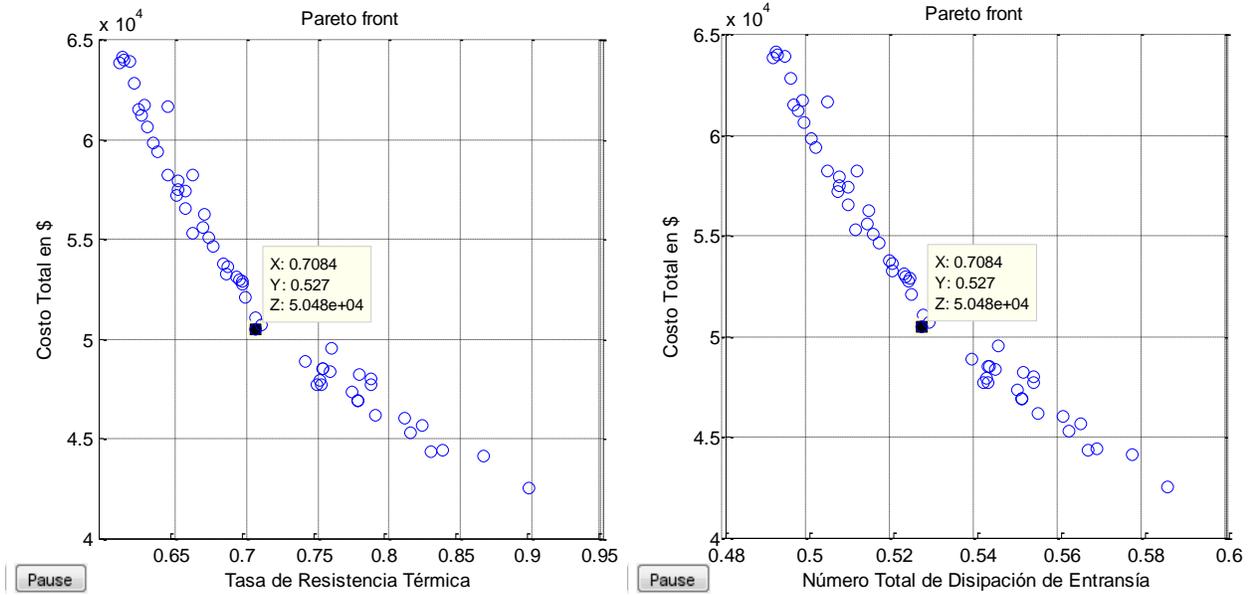


Figura 3: Tasa de resistencia térmica contra costo total y número total de disipación de entransía contra costo total.

De la figura se puede apreciar el comportamiento idéntico de la tasa de resistencia térmica y del número total de disipación de entransía contra el costo. Este es un efecto que se buscó a propósito para demostrar que la minimización del número de disipación de entransía corresponde en este caso

perfectamente a la maximización de la eficacia del ICTC. En la figura 4 se muestra como varía la tasa de resistencia térmica con el número total de disipación de entransía. Los valores numéricos de los diseños obtenidos se muestran en la tabla 3.

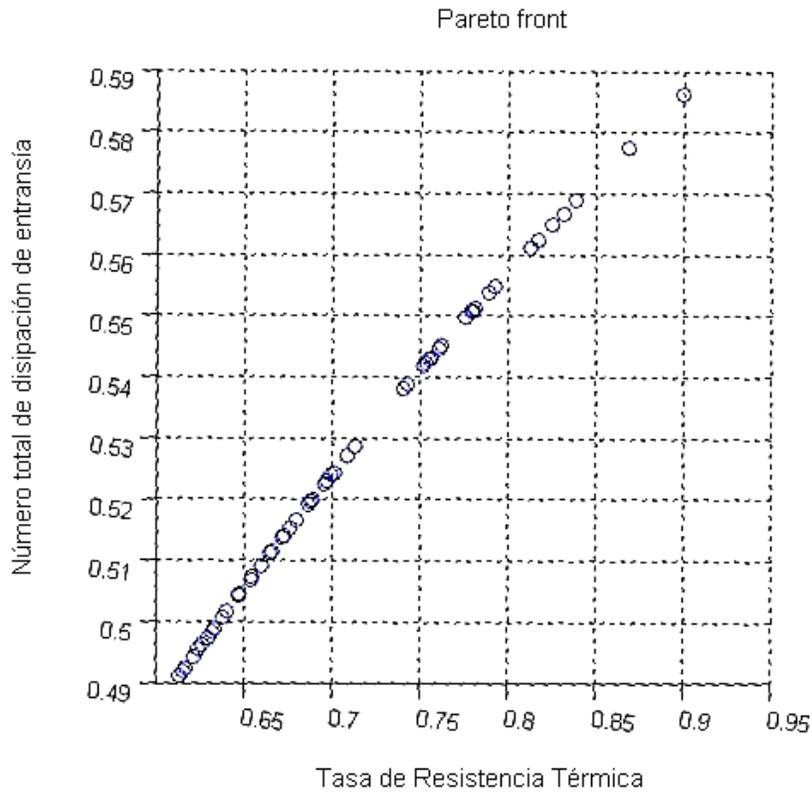


Figura 4: Tasa de resistencia térmica contra número total de disipación de entransía.

Tabla 3: Diseños óptimos obtenidos con el procedimiento propuesto para tres objetivos del caso de estudio 1.

No	T.R.T er	NTDE	Costo (\$)	Lt (m)	do (mm)	Nt	Lb (mm)	Ds (mm)	NTU	Uo W/m ² °C	ΔPt (Pa)	ΔPc (Pa)	Q (kW)	Tco (°C)	Tho (°C)	Acal (m ²)	C.i (\$)	CoD (\$)	V. Lt (m/s)
1	0,91	0,59	42133	4,0	15,9	599	184	554	1,25	826	43990	54681	3575	37,4	49,7	120	28147	13986	1,8
2	0,61	0,49	66170	5,5	15,9	906	159	667	2,46	781	25168	76376	4445	40,4	38,7	249	47222	18947	1,2
3	0,61	0,49	64971	5,49	15,9	885	161	660	2,40	781	26269	75116	4423	40,3	38,9	242	46319	18652	1,2
4	0,72	0,53	49689	4,27	15,9	857	179	650	1,76	760	22710	48023	4079	39,1	43,3	183	37645	12044	1,3
5	0,80	0,56	45710	4,13	15,9	721	180	602	1,50	794	31196	52016	3853	38,3	46,2	149	32566	13144	1,5
6	0,91	0,59	42133	4,0	15,9	599	184	554	1,25	826	43990	54681	3575	37,4	49,7	120	28147	13986	1,8
7	0,62	0,49	62558	5,39	15,9	881	168	658	2,32	772	26121	68307	4391	40,2	39,3	237	45569	16989	1,2
8	0,90	0,59	42858	4,05	15,9	600	182	554	1,27	829	44424	56611	3603	37,5	49,3	121	28400	14458	1,8
9	0,71	0,53	51878	4,65	15,9	788	177	626	1,81	780	28860	56754	4112	39,2	42,9	183	37643	14235	1,4
10	0,73	0,54	48364	4,18	15,9	854	182	649	1,71	755	22526	45295	4038	39,0	43,8	178	36984	11380	1,3
11	0,82	0,56	44225	4,01	15,9	716	182	600	1,44	792	30919	49361	3792	38,1	46,9	143	31722	12502	1,5
12	0,87	0,58	43236	4,06	15,9	641	183	571	1,34	812	38861	53150	3680	37,7	48,4	130	29702	13534	1,7
13	0,78	0,55	47376	4,16	15,9	740	173	609	1,56	800	29871	55834	3912	38,5	45,4	154	33318	14058	1,5
14	0,65	0,51	57222	5,08	15,9	849	176	648	2,09	765	26712	59459	4283	39,8	40,7	215	42376	14847	1,3
15	0,82	0,56	45319	4,13	15,9	687	178	589	1,45	806	34346	54592	3802	38,1	46,8	142	31502	13817	1,6
16	0,66	0,51	56572	4,93	15,9	855	173	650	2,05	769	25682	59715	4264	39,7	41,0	210	41667	14905	1,3
17	0,65	0,50	58234	5,05	15,9	869	172	654	2,13	768	25383	61339	4306	39,9	40,4	219	42941	15293	1,3
18	0,68	0,52	54644	4,81	15,9	820	173	638	1,94	778	27420	59755	4200	39,5	41,8	197	39702	14942	1,3
19	0,71	0,53	50476	4,27	15,9	880	176	658	1,80	759	21554	48565	4109	39,2	42,9	187	38314	12162	1,2
20	0,64	0,50	59405	5,13	15,9	872	170	655	2,18	770	25609	63593	4330	40,0	40,1	223	43562	15843	1,3
21	0,66	0,51	55305	4,72	15,9	890	173	661	2,02	760	22896	55105	4246	39,7	41,2	209	41549	13755	1,2

IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Como se observa en la tabla el mejor diseño entre todos por el criterio 1 es el de la fila 19 y por el criterio 2 es el de la fila 17. Por el primer criterio se ahorraría un costo total de 7820.6 \$ y por el segundo criterio los costos totales dan muy semejantes pero aun así el diseño propuesto por el nuevo procedimiento es mejor que el que ofrece la literatura porque da una mayor velocidad del fluido por los tubos, lo que es muy necesario en este caso en que se trata de agua de mar.

V. CONCLUSIONES

Se logró un procedimiento para la optimización multiobjetivo de intercambiadores de calor de tubo y coraza que es flexible para diferentes tipos de fluidos y para múltiples diseños de estos equipos y que por añadidura cuenta con diez restricciones mecánicas incorporadas al diseño. Para realizar la optimización multiobjetivo se utilizó un algoritmo genético de segunda generación: el NSGA II, o sea el gamultiobj

implementado en el toolbox de optimización del MATLAB. Se usaron tanto variables discretas como continuas. Las variables independientes pueden ser modificadas según los deseos del usuario, así como las fronteras de las mismas.

Se realizó por primera vez la optimización tri-objetivo de un intercambiador de calor de tubo y coraza, usándose simultáneamente como funciones objetivos la tasa de resistencia térmica, el número total de disipación de entransía y el costo total. Se obtuvo un frente de Pareto tridimensional. Los resultados obtenidos se analizaron en su conjunto, seleccionando las mejores opciones para el diseño, las cuales fueron comprobadas con los resultados de la literatura.

La optimización multiobjetivo del intercambiador de calor de tubo y coraza tipo E de la norma tema incluyendo diez restricciones mecánicas dio como resultado un diseño del equipo con un mínimo costo para una determinada carga térmica y con variantes geométricas ajustables al espacio disponible para instalar el mismo y a las disposiciones de servicios auxiliares (dígase equipos de bombeo) con que se cuente.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rühl, Christof. BP **Statistical Review of World Energy**. Junio de 2013. bp.com/statisticalreview. © BP 2013.
- [2] Szargut, J.; “**Exergy Method, Technical and Ecological Applications**”, WIT Press, Southampton; Boston, 2005, ISBN: 1-85312-753-1.
- [3] Szargut, J. Stanek Wojciech., “**Influence of the Pro-ecological Tax on the Market process of fuels and electricity**”, ECOS 2006, Crete, 11-14 July, 2006.
- [4] Patel, V.K.; Rao, R.V., “**Design optimization of shell-and-tube heat exchanger using particle swarm optimization technique**”. Applied Thermal Engineering. Editorial Elsevier. 30 (2010) 1417 e1425. ISSN 1369-4311.
- [5] <http://www.htri.net/>. Consultado el 28 de Marzo de 2012.
- [6] <http://htfs.aspentech.com/> <http://www.aspentech.com/products/aspent-tascplus.aspx>. Consultado el 28 de Marzo de 2012.
- [7] Markovska, Liljana; Mesko, Vera; Kiprijanova, Radmila y Grizo, Alexander; **Bulletin of the Chemists and Technologists of Macedonia**. Vol 15. N° 1. pags. 39 – 44 (1996). ISSN 350 – 0136
- [8] Goldberg, D.E. “**Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning**”. Addison-Wesley, (1998). Reading, Massachusetts.
- [9] Bäck, T.; Hammel U.; Schwefel H.P., “**Evolutionary computation: comments on the history and current state**”, IEEE Transactions on Evolutionary Computation 1 (1997) 3–17.
- [11] Deb K.; Pratap A.; Agarwal S.; Meyarivan T., “**A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II**”, IEEE Transactions on Evolutionary Computation 6 (2) (2002) 182–197.
- [12] Guo, Zeng-Yuan; Zhu, Hong-Ye; Liang, Xin-Gang., “**Entransy—A physical quantity describing heat transfer ability**”. International Journal of Heat and Mass Transfer, Editorial Elsevier, 50 (2007) 2545–2556. , ISSN 0017-9310.
- [13] Wang Wen Hua, Cheng Xue Tao and Liang Xin Gang; “**Entransy dissipation and irreversibility of some thermodynamic processes**”; Chinese Science Bulletin; Engineering Thermophysics; November 2012 Vol.57 No.31: 4091-4099.
- [14] Guo, Z.Y.; Liu, X.B.; Tao, W.Q.; Shah, R.K.; “**Effectiveness–thermal resistance method for heat exchanger design and analysis**”; International Journal of Heat and Mass Transfer 53 (2010) 2877–2884.
- [15] Guo, Jiangfeng; Li, Mengxun; Xu, Mingtian; Cheng, Lin., “**The application of Entransy Dissipation Theory in optimization design of heat exchanger**”. Proceedings of the 14th International Heat Transfer Conference IHTC14 August 8-13, 2010, Washington D. C., USA
- [16] Guo, Z.Y.; Liu, X.B.; Tao, W.Q.; Shah, R.K.; “**Effectiveness–thermal resistance method for heat exchanger design and analysis**”; International Journal of Heat and Mass Transfer 53 (2010) 2877–2884.
- [17] Afza, Arshad; Kim, Kwang-Yong; “**Three-objective optimization of a staggered herringbone micromixer**”; Sensors and Actuators B 192 (2014) 350–360
- [18] Pettigrew, M. J.; Gorman, D. J., “**Vibration of tube bundles in liquid, and two phase crossflow**”, in Flow Induced Vibration Guidelines (P. Y. Chen, ed.), PVP vol. 52 (ASME), New York, 1981.
- [19] Pettigrew, M.J.; Taylor, C.E., “**Vibration analysis of shell-and-tube heat exchangers: an overview—Part 1: flow damping, fluidelastic instability**”. Journal of Fluids and Structures. Volume 18, Issue 5, November 2003, Pages 469–483. ELSEVIER.
- [20] TEMA Ninth Edition. (2007). **Tubular Exchanger Manufacturers**. Association Inc. 25 North Broadway Tarrytown, New York 10591 Richard C. Byrne, Secretary www.tema.org.
- [21] American Society of Mechanical Engineers. **Boilers and Pressure Vessel Code. Section VIII. Div 1**, 2007. New York.
- [22] Fedosiev, V.I., “**Resistencia de los Materiales**”. Moscú. (1985) Editorial MIR. –583 p.
- [23] Jusmatulin, E. R. (1990), “**Manual de recipientes y tuberías a alta presión**”. Moscú: Editorial Mashinostroenie. --346 p.
- [24] Sinnott Rk. **Coulson and Richardson’s chemical engineering, chemical engineering design**. vol. 6. Butterworth-Heinemann; 2005.

Proposed monitoring system of logistics banking control

Cloves Wanderlande Torres Ferreira¹, Francis Taynã Silva Araújo¹, Marcio César Abreu dos Santos¹

¹ Centro Universitário do Norte (UNINORTE). Av. Joaquim Nabuco, 1469, Centro. Manaus-Amazonas-Brasil. CEP: 69005-290.
Fone: +55 (92) 3212 5000. cloves_torres11@hotmail.com, francistayna@gmail.com, Abreu_c_1@hotmail.com

ABSTRACT

An electronic control system that allows monitoring more after which the inputs and outputs of documentation and pouches are located copyrighted identified those responsible for issuing and dispatch. The purpose of the article is implement an electronic document control system in the pouches sector of CFM Bank. The methodological tools used documentary Bank's research, direct observation of the internal working environment checklist of the physical structure of the building, interview and questionnaires to officials directly involved in the control system of the parent bank documents and agencies of the capitals and cities of four states the northern region namely: Amazonas, Rondônia, Roraima and Acre, which perform transmission and reception of documents.. The implantation results is reducing the risk of lost and misplacement; demand reduction of delivery; improvement and practicality in control of bank documents.

Keywords: pouches, risk of lost; electronic system; bank documents; demand reduction of delivery.

Propuesta de sistema de monitoreo de la logística de control bancario

RESUMEN

Un sistema de control electrónico permite un seguimiento más seguro, cuyas entradas y salidas se registran y situado documentos de identificación de los responsables de la expedición y expedición. El objetivo del documento es poner en práctica un sistema de control de documentos electrónicos en el sector bancario bolsas de Banco CFM. Las herramientas metodológicas utilizadas en la industria de la mensajería de datos para el análisis de un problema son: Banco de la investigación documental, la observación directa de la lista de verificación entorno de trabajo interno de la estructura física del edificio, la entrevista y los cuestionarios a los funcionarios directamente involucrados con el sistema de control de los documentos del banco matriz y las agencias de las capitales y ciudades de cuatro estados de la región norte a saber: Amazonas, Rondônia, Roraima y Acre, que realizan la transmisión y recepción de documentos. Después de la aplicación, los resultados fueron: reducir el riesgo de pérdida y extravío; la reducción de costes; reducción en la demora de la entrega; la eficiencia y la fiabilidad de los datos contenidos en el sistema, y mejorar la flexibilidad en el control de los documentos del Banco.

Palabras clave: bolsos, Riesgo de Pérdida, Sistema Electrónico, documentación bancaria, Reducción de retraso en la entrega.

1. INTRODUCCIÓN

La logística es una forma de gestión, donde las actividades se centran en la planificación del almacenamiento, movimiento y distribución de productos. Siendo que la logística se trata de la gerencia ligada al funcionamiento de los negocios de gestión empresarial enfocada a transportar la materia del emisor al receptor basada en un tiempo eficaz para que el sistema de transporte obtenga buenos resultados. Los documentos describen lo que debe hacerse y por lo general se prepara antes de un evento, por ejemplo, contratos, normas, manuales de calidad, procedimientos, instrucciones de trabajo y especificaciones [1].

Información Logística es una tecnología que tiene como objetivo recoger de manera eficiente, organizar y proporcionar información heterogénea en la demanda de encargos. La logística de documento es un caso especial de la logística de la información, cuyo objetivo es mejorar la cooperación y la eficacia de los grupos de investigación [2].

El tema abarca la creación de un sistema de control electrónico de documentos porque el sistema actual del sector se reduce a un simple control manual de los documentos que se limitan apenas a la información contenida en la hoja de cálculo, por ejemplo, si el documento dirigido indebidamente se refleja en la hoja de control, así cuando la agencia destinada a recibir el

documento cuestiona la demora el banco no será consciente de que durante el traslado se extravió y como resultado tendrá un grave problema que genera costos para la organización.

La propuesta sería un sitio web, cuyas agencias del interior de los municipios de la Amazonia a través de Internet tendría acceso a la información de la casa matriz acerca de la situación de las emisiones y el reenvío de documentos.

Los objetivos específicos de la investigación son identificar los problemas de la logística y el control de la supervisión; señalar los riesgos, costos y errores en el control operacional; regular el conocimiento de la implementación del sistema para los funcionarios (capacitación) y proponer en su caso, la aplicación del sistema de control electrónico para el sector de bolsas del banco donde existen dificultades en el tiempo y de transporte intermodal que generan altos costos a los clientes por causa de extravíos involuntarios que suceden con la falta de un control efectivo

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Logística

La logística es una forma de gestión, donde las actividades se centran en la planificación del almacenamiento, movimiento y distribución de productos. Por lo tanto, la logística se refiere a la gestión de las actividades empresariales relacionadas entre sí, cuyo objetivo es mover objetos entre orígenes (por ejemplo, la producción) y destinos (consumo) en el momento oportuno [3], [4].

Se podría decir que la logística es una mezcla de cuatro actividades básicas: la adquisición, manipulación, almacenamiento y entrega de productos. El objetivo de la logística es crear mecanismos para facilitar las entregas de materiales a su destino en el tiempo más corto posible, reduciendo los costos.

Actualmente el concepto de logística integral tiene un alcance mucho más global y dinámico que abarca no sólo todo lo pertinente a las tareas de gestión de materiales, así como la coordinación de los procesos de fabricación, embalaje, manejos, procesamiento y monitoreo de aplicaciones, distribución física y gestión de la información [5].

2.2 Estructura logística de control de documentos

La logística es una forma de gestión, que centra sus actividades en base la información recopilada necesaria para la aplicación del control de los traslados y la entrega de documentos donde en el procesamiento del sistema de monitoreo se visualizará la ubicación y la fecha de emisión, la expedición, el responsable del envío y la recepción, descripción y situación de la documentación (como es, donde es y por qué es).

El control es el proceso de lidiar con estas variaciones. Puede significar que los planes necesiten ser reelaborados a corto plazo. También puede significar que tanto será necesario hacer una "intervención" en la operación para traer de vuelta a la "senda correcta" [6]. En una empresa, sus documentos deben ser registrados para un mejor funcionamiento y también para evitar la manipulación, que cumplan con las políticas y la ética. Establecimiento, implementación y mantenimiento del procedimiento (s) documentado (s) para controlar situaciones en las que su ausencia podría llevar a desviaciones de la política los objetivos y metas [7].

2.3 Tecnología bancaria

Las tecnologías utilizadas en los bancos vienen acompañadas de los servicios que se realizan a través de internet. Actualmente, los bancos prefieren que los clientes paren de hacer filas para usar las cajas y utilicen los cajeros automáticos y en especial la *internet banking*. Este nuevo método ha hecho que muchos clientes, que tienen acceso a internet, pueden obtener servicios sin tener que ir al banco que causó gran satisfacción. El desarrollo tecnológico trae varios beneficios para el sistema financiero y ejerce cada vez más, un papel fundamental para la inclusión social del ciudadano brasileño por permitirle el acceso a los servicios bancarios con el confort, la agilidad, la seguridad, menor costo. Los teléfonos y computadoras se han transformado en canales de importancia creciente para los bancos y sus clientes [8].

2.4 Tecnologías de sistemas de información logística

Las tecnologías de la información (TI) es una herramienta para el apoyo regular de una empresa hoy en día, las principales preocupaciones de los directivos de estas organizaciones es el miedo de cómo utilizar estas tecnologías muy avanzadas y esto complica la aplicación para la mejora de los problemas de funcionamiento y de organización que con la aplicación ya manipularía la recopilación de datos, el seguimiento de las entradas y salidas, el almacenamiento y la distribución de la información.

Hay varias tendencias tecnológicas y de mercado que impregnan el mundo de las TIC: la movilidad, la preocupación con la energía, la Internet, la creciente importancia del software en las cadenas de valor, seguridad de la información [9].

Sistema de Información Logística (SIL) es un subsistema del sistema de información de gestión (SIG), que proporciona información específica requerida para la gestión de la logística. Las necesidades logísticas pueden separarse en cuatro niveles, que son: la alta dirección (SIG para la planificación, las políticas y las decisiones estratégicas), mandos intermedios (gestión de la información para la planificación y toma de decisiones tácticas), supervisión (información de gestión para la planificación, decisión y control operativo) y operacional (procesamiento de transacciones, las respuestas de consultas) [10].

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Fueron realizados los procedimientos de la visita técnica el 13 de marzo de 2014, recibida por el Gerente del grupo de la Unidad administrativa junto con la Asistente B, donde no tuvo participación directa el Gerente general por motivos mayores, se tuvo la participación del Administrador General de la Secretaría del sector de bolsas del Banco, el cuestionario se aplicó a 135, con la participación de las tres personas antes mencionadas mas los gerentes de 132 agencias de envío y recepción de los cuestionarios y respuestas por e-mail.

Trazar el camino y definir el sistema de investigación que será llevado a efecto son las tareas que deben ser expuestas el ítem n estudio [11].

La investigación documental es la herramienta de recolección de datos que selecciona cualquier tipo de información, visual, escrita y oral para una identificación de lo

que se busca a través de técnicas que faciliten la investigación que no es siempre fácil, dependiendo del área de investigación. No siempre es fácil determinar lo que desea investigar, tornándose la investigación aún más difícil, ya que exige del investigador, dedicación, la perseverancia, la paciencia y el esfuerzo sostenido [12].

Para acometer un proyecto de investigación son usados instrumentos bibliográficos para fundamentar las teorías utilizadas en el tema abordado.

La entrevista es un encuentro entre dos personas, de manera que se obtiene información sobre un determinado tema, a través de una conversación de carácter profesional. Es un procedimiento utilizado en la investigación social, para la recopilación de datos o para ayudar en el diagnóstico o el tratamiento de un problema social [13].

El cuestionario es una herramienta para la recopilación de datos, que consiste en una lista ordenada de preguntas que deben ser contestadas por escrito y sin la presencia del entrevistador. El cuestionario debe ser usado cuando hay necesidad de recoger gran cantidad de datos precisos que serán investigados, que implican un alto grado de detalle [14].

La base de investigación para los cuestionarios del estudio de caso contempla cuatro estados de la región norte, que son: Amazonas, Rondônia, Acre y Roraima.

4. PRESENTACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

4.1 Características de las Actividades.

El Banco utiliza un sistema de control manual titulado "HOJA DE CONTROL DNR" (devolución de nuestra remesa), que se realiza mediante el control de entradas y salidas de documentos sector. Se aplicaron 135 cuestionarios a directivos de 134 sucursales de la Amazonía, incluyendo la matriz. A Figura 1 muestra las opiniones de los entrevistados con respecto a la eficiencia del sistema manual DNR.

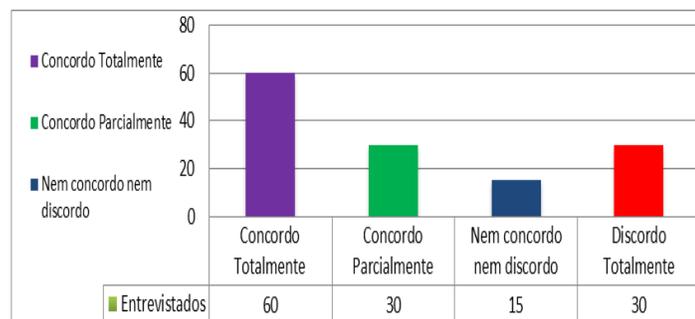


Figura 1. Esse control (DNR) es eficiente?

La Figura 2A muestra la opinión de los encuestados sobre la facilidad de acceso a la información en el sector. Estos sistemas de información hacen referencia a los sistemas *on-line en tiempo real*. Sistemas on-line en tiempo real representan la forma más sofisticada para manipular la información y deben utilizarse con moderación [10].

La Figura 2B muestra la opinión de los encuestados acerca de la eficiencia de los responsables de la detección (distribución) de los documentos.

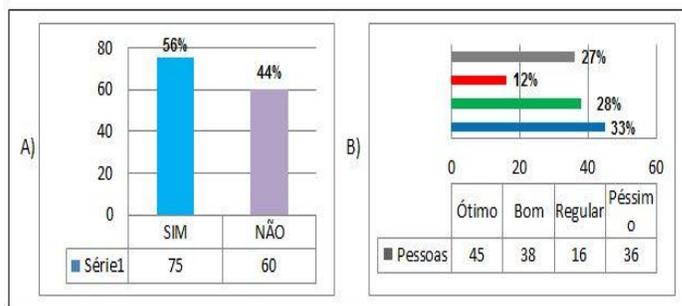


Figura 2A. El sistema manual facilita el trabajo y el acceso a la información? Figura 2B. Los responsables de la labor de clasificación de documentos son eficientes?.

La Figura 3A muestra que existe algún tipo de formación en la admisión de los empleados que se renuevan cada dos años (para los no efectivos) en el sector de bolsas del banco. La Figura 3B muestra la información de la satisfacción de los encuestados en el trabajo con el sistema manual.

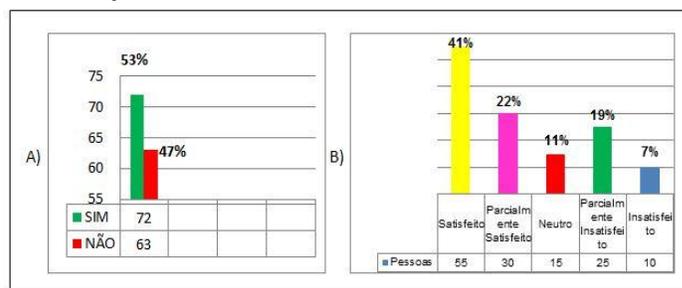


Figura 3^a. En la admisión de los empleados en la proyección existe un entrenamiento adecuado para el servicio? Figura 3B. ¿Se siente cómo do trabajando con el sistema manual?

La figura 4A muestra los datos que se recogieron en la entrevista a través de la técnica de Likert de registrar un resultado negativo en el cumplimiento de los procedimientos necesarios para la rendición de cuentas de las agencias para el buen seguimiento de los documentos.

La figura 4B muestra el número de personas que informaron de que la aplicación del sistema sería efectiva o no.

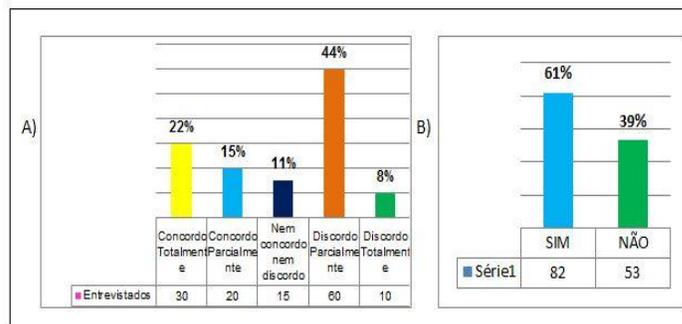


Figura 4^a. Las agencias emisoras de documentos realizan todos los procedimientos necesarios para un transito eficaz de los mismos? FIGURA 4B - En su opinión, la aplicación del sistema de control electrónico que registra y localiza la documentación sería más efectivo que el sistema manual?

ANÁLISIS Y APLICACIÓN

En este sistema los perfiles de tráfico serán diferentes de acuerdo a la importancia del documento a través de su clave de acceso al sistema que ya se dirigen al sitio donde se mostrará la información para la investigación del documento, local donde está el documento, cuál es su condición y el tiempo que deben tomar para llegar al destino. Las consultas de los documentos reflejan los intereses personales del emisor para la entrega rápida del documento, no pudiendo interferir cambiando la ruta o destinatario. Se abordará el modelo de la creación de perfiles de almacenamiento y sistema de control. El sistema recolecto automáticamente los documentos relacionados con sus intereses específicos con antelación y a continuación, recomienda diferentes conjuntos de documentos en periodos diferentes. En tiempo de compilación, la propuesta describe sus diferentes intereses en diferentes etapas, y el motor de la logística forma los perfiles de los candidatos propuestos como $\langle P(\Delta t_1), P(\Delta t_2), \dots, P(\Delta t_n) \rangle$ donde P indica el perfil relacionado con el tiempo y Δt_i indica la duración del trabajo de perfil. En tiempo de ejecución, el motor de la logística verifica la restricción de tiempo de todos los perfiles de candidatos y selecciona el P (Δt_i) como el perfil de trabajo, si $t \in \Delta t_i$

Exara [2], después de lo cual se identifican los conceptos, se realiza el análisis de co-ocurrencia, ajustando el enfoque del espacio concepto [15],[16] y [17]. Normalmente los conceptos que se presentan en diferentes lugares tienen diferentes habilidades descriptivas, por ejemplo, los conceptos señalados en el título de un documento es más descriptivo que conceptos identificados en el resumen de un documento.

Dejar $T = \{\text{Titulo, Palabras-clave, Resumen, Cuerpo, Conclusión, Referencias}\}$ por ser un conjunto de fragmentos de documentos identificados, W_x ser el peso de X ($X \in T$) en un documento. Los usuarios pueden determinar la orden del peso W, por ejemplo: $1 > T_{\text{titulo}} > P_{\text{alabras-clave}} > R_{\text{resumen}} > C_{\text{cuerpo}} > C_{\text{conclusión}} > R_{\text{referencia}} > 0$. Fue usada la siguiente ecuación (1) para calcular el peso de un concepto j, en el documento i denotado como d_{ij} basado en el producto de "frecuencia de expresión" e "frecuencia de documento inverso" [2]:

$$d_{ij} = \frac{\sum_{x \in T} (W_x \times tf_j^x) \times \log(|D|/df_j \times n_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (\sum_{x \in T} (W_x \times tf_k^x) \times \log(|D|/df_k \times n_k))^2}} \quad (1)$$

Donde tf_j^x denota el número de ocurrencias del concepto j en X ubicación del documento i, | D | representa el número total de documentos en un conjunto de entrenamiento, n_j representa el número de palabras en el concepto j (excluir el nombre del autor), df_j es el número documentos que contienen el concepto de j, t representa el número total de conceptos i, el primer documento. Sobre la base de la ecuación (1), el peso asociado entre dos conceptos j y k (AW_{jk}) se puede calcular según la ecuación (2) [2]:

$$AW_{jk} = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^{|D|} d_{ijk}}{\sum_{i=1}^{|D|} d_{ijk}} \times \frac{\log(|D|/df_k)}{\log|D|}, & \text{Peso asociado del concepto } j \text{ al concepto } k \\ & \text{(concepto de espacio)} \\ \frac{\sum_{i=1}^{|D|} (tf_{ijk} \times d_{ij})}{\sum_{i=1}^{|D|} tf_{ijk}}, & \text{Peso asociado entre el concepto } j \text{ y el} \\ & \text{nombre del autor } k \end{cases} \quad (2)$$

Donde $d_{ijk} = tf_{ijk} \times \log(|D|/df_{jk} \times n_j)$ representa el peso combinado de ambos conceptos j y el concepto k en el enésimo i de documentos, tf_{ijk} representa el número de ocurrencias de ambos conceptos j y el concepto k en el documento i (el menor número de ocurrencias entre los conceptos y el escogido) y df_{jk} representa el número de documentos (en una colección de | D | documentos) en que el concepto j y k ocurren en conjunto. El peso asociado entre dos conceptos es asimétrico. Usando el enfoque de análisis de co-ocurrencia, el sistema calcula los pesos asociados de asociaciones conceptuales entre un perfil y documentos, y el peso de cada concepto extraído de acuerdo con las dos siguientes estrategias alternativas: (1) estrategia de valor máximo: $W_j = \text{Max}(W_i^k \times AW_{ij})$; (2) estrategia de valor medio: $W_j = (\sum_{i=1}^m w_i^k \times AW_{ij})/m$, donde W_j indica el peso de j en el concepto expandido, W_i^k indica el peso del concepto i en el enésimo K perfil, e m indica el numero de conceptos en el enésimo K perfil.

Después de esto, el sistema selecciona los conceptos cuyos pesos son mayores que el limite, y finalmente incrementa los conceptos seleccionados para el perfil. El sistema fija el umbral inicial y lo ajusta más tarde durante la ejecución. A medida que aumenta el número de documentos en un conjunto de entrenamiento D, y es aumentado, los perfiles construidos en tiempos diferentes son diferentes. Utiliza la ecuación $\delta = \sum_{i=1}^m (w_i^k(t+1) - w_i^k(t))^2 / m$ para calcular la diferencia entre el perfil construido en el tiempo tj y el perfil construido en el tiempo t donde $w_i^k(t)$, indica el peso del concepto i perteneciente al k perfil construido en el tiempo t m indica el mayor número de conceptos en los perfiles construidos en tiempo t y t + 1, respectivamente. Los pesos de los conceptos que no pertenecen al perfil se le asignan 0 Si δ es menor que un umbral predefinido, entonces se termina el proceso de construcción de perfil. Por lo tanto, basado en el método estadístico, utilizamos la ecuación (3) para calcular la credibilidad de la enésima i miembro número i indicado por CRi, en el seguimiento de su comportamiento de navegación [2]:

$$CR_i = \frac{E_i}{T_i} \times W_E + \frac{P_i}{E_i} \times W_P - \frac{N_i}{E_i} \times W_N, \quad (3)$$

Donde E_i denota el número de documentos que se evalúan por el i-ésimo miembro, T_i denota el número total de documentos retenidos por el i-ésimo miembro, P_i denota el número de documentos donde la primera evaluación del miembro es confirmada por otros, N_i denota el número de documentos en los que la evaluación preliminar del miembro se ha negado por otros. W_E, W_P, W_N son, respectivamente, la puntuación para cada caso.

De la ecuación (3), utilizando las ecuaciones (4) y (5) respectivamente, para calcular la puntuación de la evaluación correspondiente al enésimo k, primer criterio de evaluación (S_k) y la puntuación global de la evaluación del j-ésimo documento (E_j) [2]:

$$S_k = \frac{\sum_{i=1}^n CR_i \times V_{jk}^i}{n}, \quad (4)$$

$$E_j = \frac{\sum_{k=1}^m ew_k \times S_k}{m}, \quad (5)$$

Supongamos que n es el número de miembros que dan la evaluación al mismo documento, V_{jk}^i es el resultado del criterio de orden k para evaluar el documento j -ésimo de conformidad con la opción i del enésimo miembro m y es el número total de criterios de evaluación, ew_k es el peso de la importancia que se concede al criterio de evaluación de orden k y el valor por defecto es 1.

Después de localizar los documentos pertinentes, el sistema muestra la historia de la situación actual de la documentación. Como complemento, los gerentes pueden utilizar medios directos para determinar el grado de relevancia de un documento con los intereses de los remitentes en algunos casos (por ejemplo, el seguimiento de la última dirección de investigación del autor se específica). La ecuación (6) calcula la puntuación de similitud (S_{ik}) entre el perfil de documento i y k y la ecuación (7) calcula la puntuación (R_i) del documento de orden i [2].

$$S_{ik} = \frac{X_i P_k}{|X_i| |P_k|} \quad (6)$$

$$R_i = T \times S_{ik} \times \frac{\sum_{u \in B_1} (R_u / N_u) + \epsilon}{(t - t_i) + 1}, \quad (7)$$

$X_i = \langle x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i \rangle$ es un vector de característico del documento i -ésimo, donde cada componente indica el grado de importancia de un concepto en el documento. P_k y el seleccionado k por el perfil que se puede plantear como un un vector característico del enésimo documento i donde cada componente indica el grado de importancia de un concepto en el documento.

P_k es el k seleccionado por el perfil que se puede visualizar como un vector de $P_k = \langle W_1^k, W_2^k, \dots, W_t^k \rangle$, t , y designan respectivamente el número de conceptos y el peso del concepto j en el perfil enésimo k , B_i y el conjunto de documentos que citan los enésimos documentos i , N_u el número de citas de u del documento, ϵ es un factor de ajuste para evitar que el numerador sea cero cuando i documento no sea citado, y aquí ϵ es inicialmente asignado 0,01, t y t_i son respectivamente, el año en

curso y el año de publicación del enésimo documento i , y τ es un factor utilizado para la normalización [2].

4.2 Propuesta de modelo del sistema electrónico para el Banco CFM

La Figura 5 muestra la secuencia de comandos que los transportistas hacen cuando se recogen y entregan las bolsas con los documentos. Pueden ser observado que en la región amazónica las vías de las agencias del interior conectadas directamente a la capital en Rondônia los bultos del interior tiene paradas en ciudades sedes siendo después de esta parada que los bultos se dirigen a la capital de Rondônia y de allá son enviados a Manaus, donde se realiza la clasificación de los documentos. En los estados de Acre y Roraima las agencias del interior también direccionan los bultos para sus respectivas capitales, Boa Vista (RR) y Río Branco (AC) y de estos puntos los transportistas llevan los bultos a la capital de Amazonas para la distribución de documentos, debido a que las ciudades del Estado de Amazonas están bañadas por ríos, y no haber muchos caminos de acceso de la capital al interior, las agencias se tornan en un gran obstáculo para los bancos. Este sector pasa por esta dificultad en 135 agencias en los municipios del interior del Amazonas teniendo como matriz la Ciudad de Manaus.

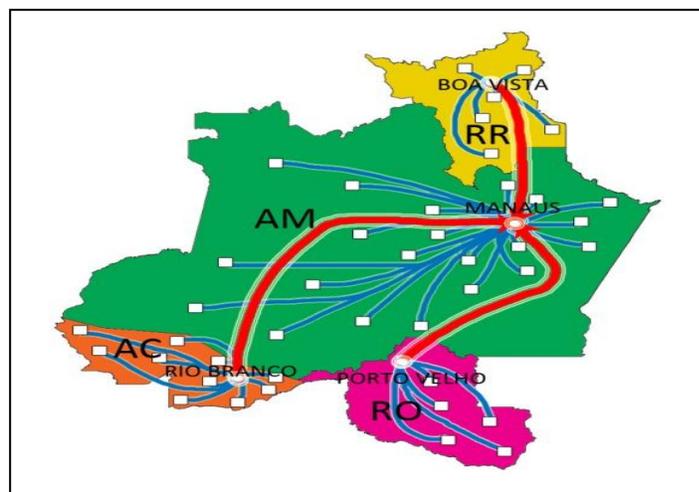


Figura 5. Mapa de rutas de entrega y recogida de bultos de documentos.

La figura 6 muestra el organigrama dibujado para una mejor comprensión dividiendo las agencias por estados y capitales Amazonas - Manaus, Rondônia - Porto Velho, Acre - Rio Branco e Roraima - Boa Vista donde se interligan las rutas de los bultos de documentos: en Manaus, capital del Amazonas es veintitrés (23) agencias activas en la ciudad, en Rondônia son dieciocho (18) Agencia actuantes en la capital Porto Velho y 33 municipios. En el estado de Acre, el banco cuenta con doce (12) sucursales en la capital Río Branco y agencias en 12 municipios. En Roraima son ocho (8) agencias en la capital, Boa Vista y otras agencias en 06 municipios. Así, tenemos 134 sucursales en todo la región del norte, como se muestra en la Figura 6.

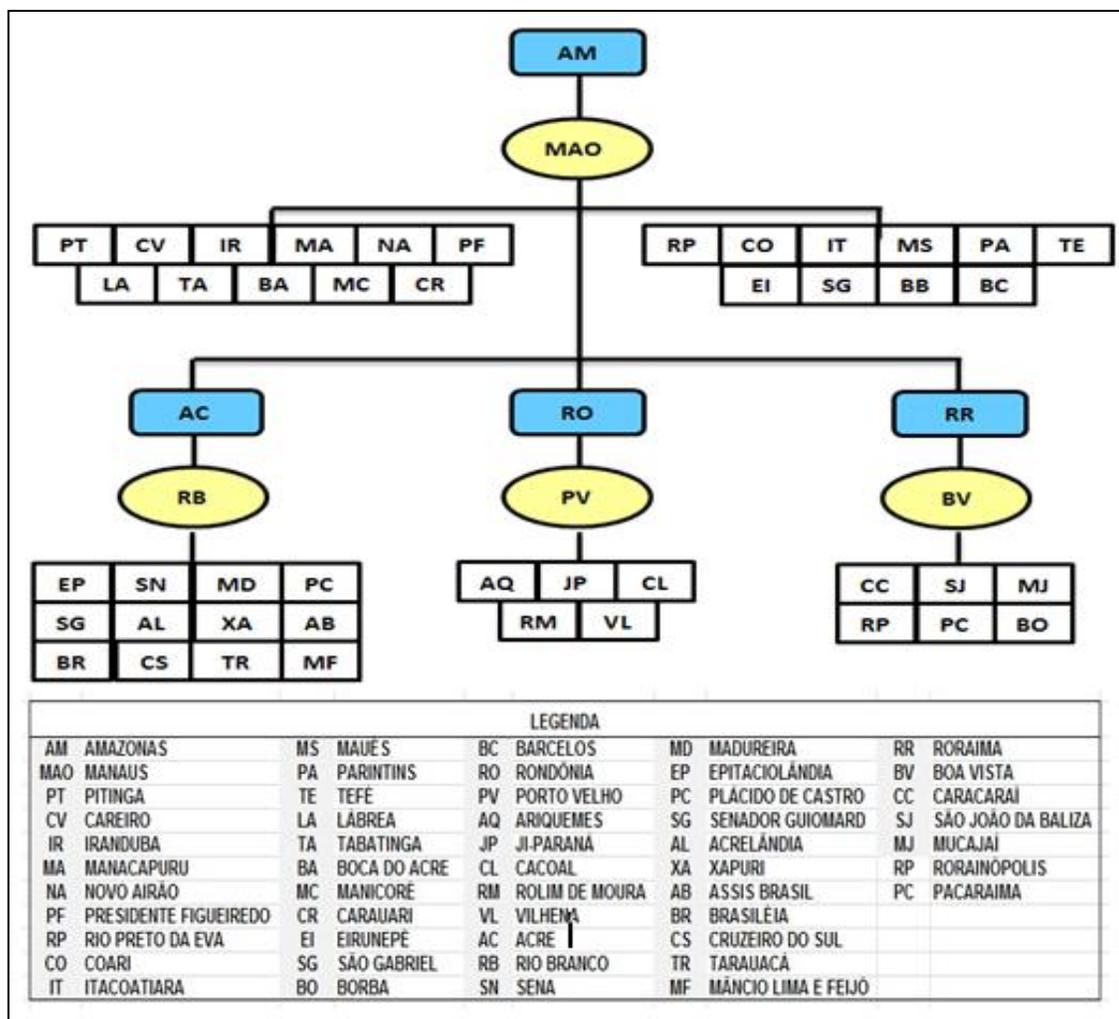


Figura 6. Organograma de las agencias de la región Norte divididas por Estado, Capital e Municipios.

5. Conclusiones

Basado en el tema abordado y la metodología propuesta, podemos concluir que: La implementación de un sistema logístico eficaz hace que el CFM controle mejor sus bultos y documentos. La empresa debe dar gran importancia a su concepto de logística compleja, que cubre la mayor parte de las tareas que marcan la diferencia en el mercado. El Banco incurre en altos costos cada mes, debido a extravíos de documentos (cheques, facturas, etc) los que simplemente desaparecen durante el proceso debido a la falta de vigilancia efectiva en el sector resultando en X millones de dólares debido a las demandas contra el Banco.

La aceptación de la innovación comienza con la producción de un nuevo producto, servicio o sistema en una organización que consolida su difusión a los usuarios.

Un sistema de monitoreo electrónico es esencial para controlar las entradas y salidas de documentos, que registran las ubicaciones, fechas y responsables de la prevención de una posible pérdida o extravío. Con esto, el Banco logró varios

beneficios asociados con la implementación del sistema en la reducción de costes y mejora de la imagen y confianza de los clientes.

Agradecimientos: Agradecemos al Centro Universitário del Norte (UNINORTE) por el apoyo a la investigación.

5. Referencias Bibliográficas

[1] O'HANLON, Tim. **Auditoria da qualidade:** com base na ISO 9001:2000: conformidade agregando valor, tradução Gilberto Ferreira de Sampaio. – 2.ed. – São Paulo : Saraiva, 2009.

[2] ZHUGE, Hai. LI, Yanyan, **Semantic Profile-Based Document.** Logistics For Cooperative Research - ELSEVIER, Volume 20, Issue 1, 15 January 2004.

[3] DAGANZO C.F., **Logistic Systems Analysis**, Springer, Berlin, 1999.

[4] GUELZO, C.M. **Introduction to Logistics Management**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1986.

[5] RODRIGUES, Paulo Roberto Ambrósio. **Introdução aos sistemas de transportes e a logística internacional**. 4. ed. rev. e Ampliada. - São Paulo: Aduaneiras, 2007.

[6] SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. tradução Henrique Luiz Corrêa. - 3.ed. - São Paulo: Atlas, 2009.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistemas de gestão ambiental – requisitos com orientações para uso (ABNT NBR ISO 14001:2004)**. 2^a ed. 2010.

[8] FONSECA, Carlos Eduardo Correa da. **Tecnologia Bancária no Brasil: uma história de conquistas, uma visão de futuro**. Coordenação editorial Sônia Penteadó. - São Paulo: FGVRAE, 2010.

[9] KUBOTA, Luís Cláudio. **Tecnologia da informação e comunicação: competência, políticas e tendências**. [et. Al] - Brasília: Ipea, 2012.

[10] BALLOU, Ronald H. **Logística empresarial: Transportes, administração de materiais e distribuição física**, tradução Hugo T. Y. Yoshizaki - 1.ed. - 27. reimpr. - São Paulo: Atlas, 2012.

[11] VELOSO, Waldir de Pimho. **Metodologia do trabalho científico: normas técnicas para a redação de trabalho científico**. 2^a ed. Curitiba: Juruá, 2011.

[12] MARCONI, Marina de A.; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projetos e relatório, publicações e trabalhos científicos**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

[13] LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de Pesquisas: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados**. 7.ed. - 4.reimpr. - São Paulo: Atlas, 2011.

[14] CARREIRA, Dorival. **Organizações, sistemas e métodos ferramentas para racionalizar as rotinas de trabalho e a estrutura organizacional da empresa**. 2^a ed. - São Paulo: Saraiva, 2009.

[15] CHEN H. et ai., **A concept space approach to addressing the vocabulary problem in scientific information retrieval: an experiment on the worm community system**, J. Am. Soc. Inform. Sci. 48 (1) (1997).

[16] HOUSTON, L. et al., **Exploring the use of concept spaces to improve medical information retrieval**. Decision Support

System., Special Issue on Decision Support for Health Care in a New Information Age 30 (2) (2000).

[17] ROSLIN V. et al. **Concept-based searching and browsing: a geoscience experiment**, J. Inform. Sci. 27 (4) (2001).



Analysis of production capacity in a line of zinc through process simulation as a support tool for decision making

*Jandecy Cabral Leite Junior¹; Cristiano Magalhães da Silva²; Leandro Harraquian²

1 - Graduando em Engenharia de Produção pelo Instituto de Ensino Superior FUCAPI.

2 – Professores do curso de graduação em Engenharia de Produção pelo Instituto de Ensino Superior FUCAPI.

*juniorcabral929@hotmail.com; cristianomagalhaessilva@yahoo.com.br; llharraquian@gmail.com

ABSTRACT

This article aims to conduct a study of the productive capacity of a galvanizing line in a electroplating factory of the industrial pole of Manaus (PIM). The production capacity was measured by a computer simulation performed in a virtual environment using a specific software (plant simulation) to generate a report on system performance. The materials and methods were used by computer simulation in which it was possible to identify bottlenecks, process efficiency and the daily production capacity of the Zinc bath service. The search results are open to discussions on the influence of knowledge of the installed production capacity in relation to the decision-making process of the company on the maximum achievable demand and become increasingly competitive in the global market.

Keywords: Process, production capacity, computer simulation and bottlenecks.

Análise da capacidade produtiva em uma linha de zincagem através de simulação de processos como ferramenta de apoio para tomada de decisão

RESUMO

Este artigo tem como objetivo realizar um estudo da capacidade produtiva de uma linha de zincagem em uma fábrica de galvanoplastia do polo industrial de Manaus (PIM). A capacidade produtiva foi medida através de uma simulação computacional realizada em um ambiente virtual utilizando um software específico (*plant simulation*) para gerar um relatório sobre o desempenho do sistema. Os materiais e métodos foram utilizados por meio da simulação computacional no qual foi possível identificar os gargalos, a eficiência do processo e a capacidade produtiva diária do serviço de banho de zinco. Os resultados da pesquisa estão abertos a discussões sobre a influência do conhecimento da capacidade produtiva instalada em relação ao processo de tomada de decisão da empresa sobre a demanda máxima atingível e tornar-se cada vez mais competitiva no mercado global.

Palavras chave: Processo, capacidade produtiva, simulação computacional e gargalos.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente as empresas de manufatura e serviços estão empregando novas tecnologias em seus processos objetivando um aumento na produtividade, redução de custos e melhoria de processos. A capacidade produtiva de uma empresa está relacionada aos recursos necessários para a fabricação de um bem ou serviço, dentro de um determinado intervalo de tempo estabelecido pelo cliente ou empresa através do processo produtivo.

É muito importante para um gestor conhecer os principais indicadores relacionados à produtividade e qualidade, que certamente irão ajudar em uma tomada de decisão ou na solução de um problema. O estudo da capacidade produtiva demonstra a situação atual da empresa e avalia se a demanda pode ser atendida dentro de um prazo determinado.

O uso da simulação de processos em empresas de manufatura, serve como apoio na tomada de decisão, principalmente quando há a necessidade de um aumento da capacidade produtiva instalada devido à um aumento da demanda.

O objetivo da simulação é demonstrar um evento real e avaliar seu comportamento através da capacidade de operação de um determinado sistema, buscando assim conhecer os possíveis resultados no futuro através de uma simulação computacional.

A simulação é o “processo de elaboração de um modelo de um sistema real (ou hipotético) e a condução de experimentos com a finalidade de entender o comportamento de um sistema ou avaliar sua operação” [1].

A simulação permite analisar o processo de um sistema de manufatura, conhecendo as variáveis que compõem todo sistema produtivo, bem como a eficiência de cada posto de trabalho, produtividade, recursos utilizados, e possíveis gargalos, etc.

Este trabalho tem como objetivo simular um processo produtivo de uma empresa do PIM, especificamente na linha de zincagem, objeto de estudo deste trabalho, com o intuito de obter informações sobre o desempenho do sistema, identificando gargalos, calculando a eficiência do processo e sua capacidade máxima diária de produção utilizando os recursos disponíveis para o apoio na tomada de decisão.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A teoria das restrições foi desenvolvida pelo físico israelense Eliyahu Moshe Goldratt no livro *A Meta*, a chamada Teoria das Restrições (no inglês Theory of Constraints ou TOC) é uma filosofia de negócios que se baseia na existência de *restrições* ou *gargalos*.

Um gargalo é um recurso dentro do sistema de produção cuja capacidade é menor ou igual à demanda alocada para esse recurso. De acordo com a bibliografia pesquisada, os conceitos desta teoria foram desenvolvidos na década de 70.

“A Teoria das Restrições é baseada no princípio de que existe uma causa comum para muitos efeitos, de que os fenômenos vistos são consequência de causas mais profundas, encara qualquer empresa como um sistema, isto é, um conjunto de elementos entre os quais há alguma relação de interdependência. Cada elemento depende de esforços conjuntos de todos os seus elementos” [2].

“... a Teoria das Restrições objetivas compor uma sistemática de auxílio na tomada de decisões relacionadas à maximização do ganho através da otimização da produção” [3].

II.1 MAPEAMENTO DE PROCESSOS

Um processo é um grupo de atividades realizadas numa sequência lógica com o objetivo de produzir um bem ou um serviço que tem valor para um grupo específico de clientes [4].

O Mapeamento de Processo é uma ferramenta gerencial e de comunicação que tem a finalidade de ajudar a melhorar os processos existentes ou de implantar uma nova estrutura voltada para processos.

O mapeamento auxilia a empresa a enxergar claramente os pontos fortes e fracos (pontos que precisam ser melhorados tais como: complexidade na operação, reduzir custos, gargalos, falhas de integração, atividades redundantes, tarefas de baixo valor agregado, retrabalhos, etc.

II.2 FLUXOGRAMA E SIMBOLOGIA

O fluxograma é um diagrama utilizado para representar a sequência dos processos, através de símbolos. Os símbolos do fluxograma proporcionam uma melhor visualização do funcionamento do processo, ajudando no seu entendimento.

No gerenciamento de processos, o fluxograma tem como objetivo garantir a qualidade e aumentar a produtividade, através da documentação do fluxo das atividades, utilizando diversos símbolos diferentes para identificar os diferentes tipos de atividades. Com o fluxograma é possível identificar restrições no sistema e propor sugestões de melhoria. As melhorias podem estar relacionadas ao tempo, custo, método, sequenciamento, qualidade, etc.

II.2 SIMBOLOGIA DO FLUXOGRAMA

Os símbolos utilizados nos fluxogramas têm por objetivo evidenciar origem, processo e destino da informação escrita e/ou verbal componente de um sistema administrativo. A figura 1 mostra a simbologia do fluxograma de processo.

	Indica o início ou fim do processo
	Indica cada atividade que precisa ser executada
	Indica um ponto de tomada de decisão
	Indica a direção do fluxo
	Indica os documentos utilizados no processo
	Indica uma espera
	Indica que o fluxograma continua a partir desse ponto em outro círculo, com a mesma letra ou número, que aparece em seu interior

Figura 1: Simbologia do fluxo do processo.

Fonte: <http://www.blogdaqualidade.com.br/fluxograma-de-processo/2015>.

II.3. INDICADORES DE QUALIDADE

Os Indicadores da Qualidade, ou Indicadores da Satisfação dos Clientes, medem como o produto ou serviço é percebido pelo cliente e a capacidade do processo em atender aos requisitos dos clientes. Podem ser divididos em dois tipos: Indicadores da Não-Qualidade e Indicadores da Qualidade. Estes indicadores são medidos de duas formas: pelo índice de defeitos ou pelo índice de qualidade conforme as fórmulas abaixo:

$$\text{Índice de Qualidade} = \text{Total produzido} \frac{\text{conforme}}{\text{Total}} \text{produzido} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Índice de defeito} = \text{Total produzido não} \frac{\text{conforme}}{\text{total}} \text{produzido} \times 10 \quad (2)$$

II.4. INDICADORES DE PRODUTIVIDADE

Os Indicadores de Produtividade estão ligados à eficiência dentro dos processos e tratam da utilização dos recursos para a geração de produtos e serviços. Medir o que se passa no interior dos processos e atividades permite identificar problemas e, conseqüentemente, preveni-los para que não tragam prejuízos aos clientes. Estes fatores obrigam as organizações a melhorar continuamente seus processos e produtos, garantindo que os mesmos atendam e superem as expectativas dos clientes [5].

$$\text{Produtividade} = \text{Total Produzido} / \text{Total de Recursos Utilizados} \quad (3)$$

II.5. TEMPOS E MÉTODOS

O estudo de tempos foi originado por Taylor no início do século vinte e é usado para estabelecer tempos-padrão para a *performance* no trabalho, sendo que estes incluem tolerâncias para pausa e descanso [6].

Logo, o tempo-padrão para cada elemento é constituído por duas partes, que são: o tempo básico (1), tempo levado por um trabalhador qualificado, que faz um trabalho qualificado com desempenho padrão; e a tolerância (2), concessões acrescentadas ao tempo básico para permitir descanso, relaxamento e necessidades pessoais [7].

II.5.1 LAYOUT, TEMPO DE CICLO E TEMPO PADRÃO

O *layout* é um estudo sobre a linha de produção, com a finalidade de facilitar as atividades operacionais, visando sempre o melhor fluxo de produção. Esta linha demanda sobre a organização de máquinas, bancadas e o fluxo dos lotes durante o processo e de todo o equipamento de produção de forma racional e econômica que se chama *layout*. Quando se estabelece um tempo-padrão para uma tarefa, o operador deverá executar a operação exatamente como especificada no registro do método padronizado ou na folha de instruções [8].

Tempo de Ciclo é o tempo máximo permitido a uma estação de trabalho de uma linha de montagem para concluir um conjunto de tarefas determinadas, ou seja, expressa a frequência que um componente do produto deverá sair da linha, ou em outras palavras, o intervalo de tempo entre dois componentes consecutivos. O tempo de ciclo é expresso como [9]:

$$TC = \text{Tempo de produção} / \text{quantidade produzida no tempo de produção} \quad (4)$$

O tempo padrão é o somatório dos tempos individuais de cada processo, ou seja, é o tempo necessário para que se produza um bem ou serviço. A fórmula do tempo padrão é expressa da seguinte forma [10]:

$$Tp = Op1 + Op2 + Op3 + \dots + Opn \quad (5)$$

Onde: Tp – Tempo Padrão

Op – Operação

II.5.2. CAPACIDADE PRODUTIVA

Chamamos de capacidade à quantidade máxima de produtos e serviços que podem ser produzidos numa unidade produtiva, num dado intervalo de tempo. O Sistema Toyota de Produção é “80% eliminação de perdas, 15% um sistema de produção e apenas 5% o Kanban” [11]. Nessa definição já é possível perceber qual o grande foco do Sistema: a eliminação das perdas. As perdas são atividades realizadas que geram custos e não agregam valor, necessitando assim serem eliminadas [12].

Para o cálculo da capacidade produtiva da linha de zinco será considerado o regime de um turno de trabalho e o resultado da equação será interpretada como a capacidade produtiva diária através das seguintes fórmulas:

$$\text{Capacidade Produtiva} = \text{Tempo disponível} / \text{Tempo de ciclo} \quad (6)$$

$$\text{Utilização} = \text{Índice de Produção Média} / \text{Capacidade Máxima} \times 100 \quad (7)$$

II.6. SIMULAÇÃO DE PROCESSOS

Existem diversas definições para a simulação, dentre elas podemos citar a de [13] que diz “a simulação é um processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”.

A simulação de processos auxilia os gestores na tomada de decisão, em relação à capacidade produtiva instalada, recursos disponíveis, estudo da viabilidade técnica e econômica, aumento ou diminuição da demanda, balanceamento de linha, entre outras inúmeras razões e justificativas para a utilização da simulação no processo decisório.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A classificação quanto à forma de abordagem da pesquisa é definida como quali-quantitativa, pois foram utilizados recursos, técnicas estatísticas, gráficos, entrevistas e coleta de dados com o objetivo de obter opiniões ou informações sobre o comportamento do sistema [14].

III.1. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS FINS E AOS MEIOS

Em relação ao objetivo desta pesquisa, a mesma é classificada da seguinte forma: Exploratória, Descritiva, Metodológica e Pesquisa Aplicada. Em relação aos meios, esta pesquisa é definida como um estudo de caso, ou seja, aplicação prática de conhecimentos científicos em busca de uma explicação para um determinado fenômeno em um ambiente específico [15].

III.2. POPULAÇÃO E AMOSTRA DA PESQUISA

Em relação à empresa estudada, a população é de 60 funcionários, 10 tipos de serviços diferentes, aproximadamente 200 tipos de peças processadas na linha de zinco e cerca de 150 clientes fixos. A amostra desta pesquisa é uma parte de todo o

Ed. 0003. VOL 001 – ISSN 2447-0228 (online)

sistema produtivo e o subconjunto selecionado para a amostra, é o processo de pré-tratamento e zincagem, incluindo todas as etapas de cada operação, funcionários envolvidos diretamente no processo e uma peça específica de um cliente da empresa [16].

III.3 ORIGEM, FORMATO E COLETA DOS DADOS

A origem dos dados para a realização deste estudo foi levantada a partir da observação no processo produtivo de pré-tratamento e zincagem, em todas as operações. Os dados são classificados de forma quantitativa e qualitativa, pois foram utilizadas técnicas estatísticas, gráficos, dados numéricos e recursos que auxiliaram na interpretação dos dados. O levantamento de dados foi realizado no período entre março de 2015 e junho de 2015. Os dados referentes ao processo são: Turno de trabalho, Tempo de Trabalho Efetivo, Demanda diária, Quantidade processada em cada operação, Capacidade dos dispositivos (gancheiras e baldes), 1 peça estudada e quantidade de operações.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

IV.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ZINCAGEM

O processo de zincagem em peças de metal passa por cerca de 20 a 25 operações desde o recebimento até a embalagem final, dependendo do tipo de zincagem. A empresa oferece 3 tipos de banho de zinco: Branco, Amarelo e Preto.

O presente estudo trata apenas do zinco branco, pois a peça estudada passou pelo processo zincagem branca trivalente com selante. As operações do processo de zincagem branca trivalente com selante podem ser visualizadas de uma maneira sistêmica através de um fluxograma do processo como mostra a figura 2.

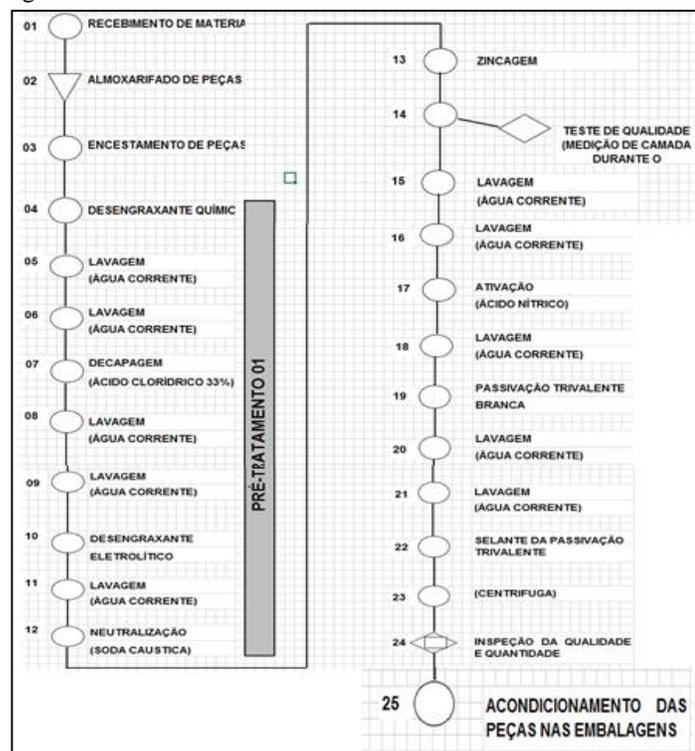


Figura 2: Fluxograma do Processo de zincagem branca trivalente. Fonte: Empresa estudada.

IV.2 FOTOS DO PROCESSO DE ZINCAGEM

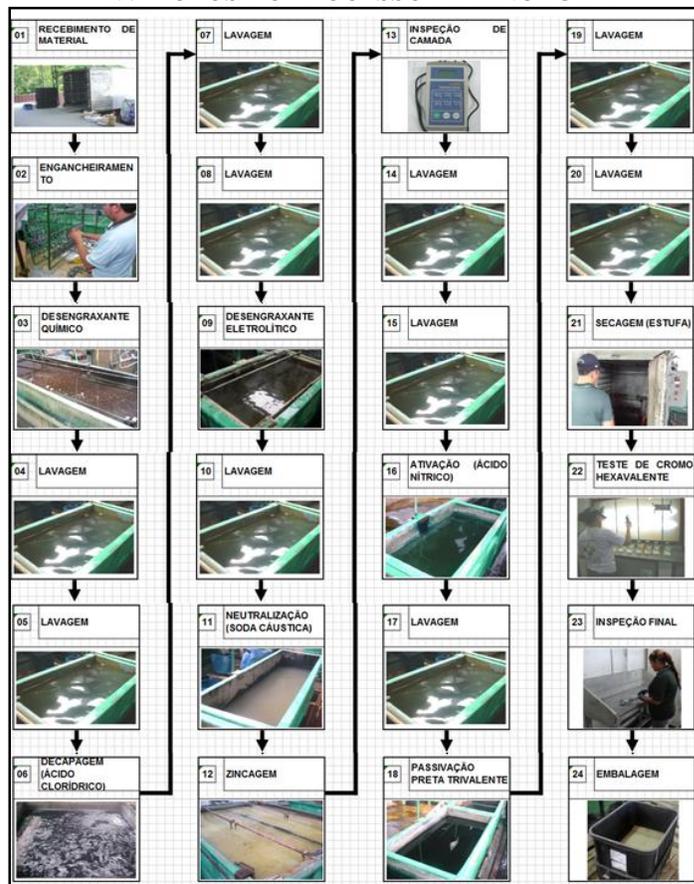


Figura 3: Foto das etapas do processo de zincagem. Fonte: Empresa estudada.

IV.3 DESCRIÇÃO DA PEÇA E DISPOSITIVO

Após a chegada das peças, são verificadas as condições físicas em que elas se encontram, como por exemplo: óleo, ferrugem, oxidação, etc. O dispositivo utilizado no processo de zincagem é a gancheira, possuindo capacidade de armazenamento de 80 unidades do modelo HCJ04. As figuras 4 e 5 abaixo mostram a peça estudada o dispositivo utilizado nas operações de Pré – tratamento e zincagem branca trivalente.



Figura 4: HCJ04
Fonte: Cliente da empresa estudada.

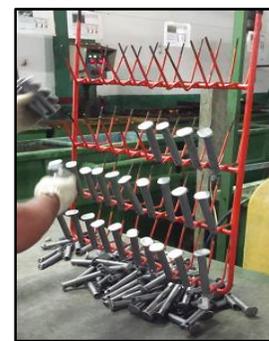


Figura 5: Gancheira
Fonte: Empresa estudada.

O preço do serviço de zincagem branca trivalente é vendido de acordo com o peso e o diâmetro das peças que irão

Ed. 0003. VOL 001 – ISSN 2447-0228 (online)

passar pelos tanques de galvanoplastia. As especificações técnicas da peça tais como: Comprimento, diâmetro, Raio, Área, Peso (massa) e Volume são fornecidas pelo cliente.

- ✓ Área externa $A = 58 \text{ cm}^2$
- ✓ Área interna $A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h = 45,2 \text{ cm}^2$
- ✓ Volume $V = \pi \cdot r^2 \cdot H = 13,56 \text{ cm}^3$
- ✓ Peso 100 gramas
- ✓ Raio $r = D/2 = 0,6 \text{ cm}$
- ✓ Diâmetro $D = 2 \times r = 1,2 \text{ cm}$
- ✓ Comprimento = 12,3 cm

IV.4 COLETA DOS TEMPOS DE CICLO DAS OPERAÇÕES DE ZINCAGEM

O tempo de ciclo foi calculado em função da demanda diária e o tempo disponível durante o turno. O tempo disponível considera um turno de 8 horas de trabalho e a demanda é de 2300 peças por dia. A unidade de medida do tempo de ciclo adotada é em segundos. A fórmula do cálculo do tempo de ciclo é:

$$Tc = \text{Tempo Disponível} / \text{Demanda} \quad (6)$$

Onde:

$$Tc = 8 \text{ horas} \times 60 \text{ minutos} \times 60 \text{ segundos} / 2300$$

$$TC = 12,5 \text{ segundos/peça}$$

A coleta dos tempos de ciclos individuais de cada operação foi realizada em um turno de trabalho. Os tempos de ciclos abaixo representam a média aritmética de 10 amostras coletadas de cada operação, com exceção do recebimento de material que foi realizada apenas uma coleta. A tabela 1 apresenta os tempos os ciclos de operações em segundos.

Tabela 1: Tempo de ciclo das operações

Sequencia	Operação	Tempo de ciclo em seg.
1	Recebimento do Material	600
2	Engancheamento	75
3	Desengraxante Quimico	300
4	Lavagem (água suja)	4
5	Lavagem (água limpa)	5
6	Decapagem Acida	300
7	Lavagem (agua suja)	4
8	Lavagem (agua limpa)	5
9	Desengraxante eletrolitico	30
10	Lavagem	5
11	Neutralização	60
12	Zincagem (tanque 1)	900
13	Zincagem (tanque 2)	900
14	Zincagem (tanque 3)	900
15	Lavagem (agua suja)	5
16	Lavagem (agua limpa)	5
17	Ativação	60
18	Lavagem	5
19	Passivação branca trivalente	60
20	Lavagem (agua suja)	4
21	Lavagem (agua limpa)	5
22	Selante	5
23	Secagem (estufa)	180
24	Inspeção final	300
25	Embalagem	120

Fonte: O autor.

IV.5. SIMULAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE ZINCAGEM

De acordo com os tempos de ciclo coletados em cada operação, foi possível realizar uma simulação do processo produtivo da linha de zinco, através de um software computacional (*plant simulation*), avaliar o desempenho das operações, medir a eficiência dos processos e a capacidade produtiva máxima [17].

Na aplicação foi possível construir, executar e avaliar modelos de simulação baseados em eventos discretos em uma empresa do PIM. Nesta simulação foram estudados os objetos como, estações de trabalho (*SingleProc, Assembly*), posto de trabalho (*Workplace*), operadores (*Worker*), turnos de trabalho (*ShiftCalendar*), fluxo de informações (*TableFile, TimeSequence*), interface utilizada (*Display, Chart, Comment*) fluxo de materiais (*Sankey Diagramm*), estações de transferência (*TransferStation*), análise de gargalos (*Bottleneck Analyzer*).

Também foram discutidos lógicas de programação (*methods*) feitos nesta simulação. O *layout* do processo de zincagem e o gráfico de balanceamento foram desenvolvidos em ambiente virtual através da utilização de um software de simulação de processos (*plant simulation*) para atingir os objetivos da pesquisa. A figura 6 mostra o *layout* e o gráfico da linha de zincagem.

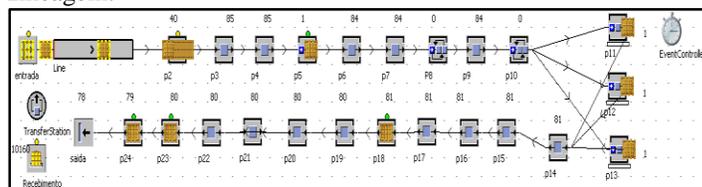


Figura 6: *Layout* do processo e gráfico de balanceamento. Fonte: PLM, SIEMENS, 2015.

IV.6. RESULTADO DA SIMULAÇÃO

A eficiência do processo foi calculada por meio da simulação computacional e foi gerado um gráfico de balanceamento de cada operação e os gargalos da linha de zincagem foram identificados. A figura 7 mostra o balanceamento de cada operação do processo zincagem branca trivalente.

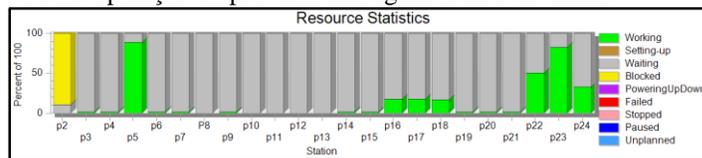


Figura 7: Gráfico de balanceamento das operações de zincagem branca trivalente. Fonte: PLM, Siemens, 2015.

A figura 8 mostra relatório do desempenho do processo produtivo de zincagem branca trivalente.

.Models.Frame								
Simulation time: 8:00:00.0000								
Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted								
Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH Production	Transport	Storage	Value added	Portion
saida	Ganchelra	53:24.5726	78	10	34.87%	18.32%	46.81%	25.81%

Figura 8 – Relatório de desempenho. Fonte: PLM, Siemens, 2015.

Por meio da simulação do processo produtivo da linha de zincagem na empresa de galvanoplastia, chegamos aos seguintes resultados:

- ✓ 78 gancheiras com capacidade de 80 peças do modelo HCJ04 em cada gancheira totalizando a capacidade produtiva instalada de 6240 peças durante um turno de trabalho de 8 horas;
- ✓ Tempo padrão – 53:24.5726 minutos;
- ✓ Gargalos – Posto 2 – Desengraxante Químico;
- ✓ Produtividade – 34,87%
- ✓ Eficiência de 46,81% do sistema.

V. CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE MELHORIAS

A simulação de processos da linha de zincagem da empresa de galvanoplastia localizada no PIM, chega-se a uma conclusão simples. A simulação auxilia no planejamento da produção, pois neste caso tornou-se possível conhecer o processo inteiro, através do mapeamento e simulação do desempenho de cada operação na linha de zinco e também foi identificado um gargalo na operação de desengraxante Químico no processo produtivo de Pré-tratamento de superfície. A simulação de processos como ferramenta de apoio à tomada de decisão foi comprovada através dos resultados obtidos. Com o conhecimento da sua real capacidade produtiva, a empresa pode planejar melhor a produção, conquistar novos clientes ou balancear a linha com objetivo de aumentar sua capacidade. Embora os objetivos da pesquisa tenham sido alcançados, não foi implantada nenhuma solução para a eliminação do gargalo encontrado devido à redução da demanda dos clientes da empresa, em específico o modelo HCJ04, que tem uma produção diária de 2300 peças por turno de trabalho, ou seja, 36,86% de sua capacidade produtiva para o modelo HCJ04, porém seguem abaixo algumas sugestões de melhoria:

- ✓ Balanceamento das operações com objetivo de aumentar a capacidade produtiva instalada;
- ✓ Caso haja um aumento da demanda, eliminar o gargalo do posto 2, através da aquisição de outro tanque para a atividade de desengraxante químico e um tanque para a operação de Decapagem ácida;
- ✓ Divisão do trabalho (Reestruturar os postos de trabalho);
- ✓ Elaborar documentos de controle estatístico da qualidade;
- ✓ Semi-automatizar a linha de zincagem.

VI. AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, Jesus Cristo e minha família pela oportunidade, ao Instituto de Ensino Superior FUCAPI, a Coordenação e aos professores do Curso de Engenharia de Produção, pelo apoio à pesquisa.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Shannon, R.E. 1975. **Systems Simulation the Art and Science**, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

[2] Corbett Neto, T. **Contabilidade de ganhos: a nova contabilidade gerencial de acordo com a teoria das restrições**. São Paulo: Nobel, 1997.

[3] Oenning, V.; Rodrigues, L.H.; Cassel, R.A. & Antunes Junior, J.A.V. **Teoria das restrições e programação linear: uma análise sobre o enfoque da otimização da produção**. In: XIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. (2004).

[4] Hammer, Michael, Champy, James. **Reengineering the corporation**. New York: HarperBusiness, 1994.

[5] Pinto, Silvia Helena Boarin. Carvalho, Marly Monteiro. HO. Linda Lee. **Implementação de um programa de qualidade: um survey em empresas de grande porte no Brasil**. Gestão e Produção, v. 13, p. 191- 203, maio-ago 2006. Disponível em: Acesso em 25 fev 2008.

[6] Turner, Wayne C. & Mize, Joe H. & Case, Kenneth E. & Nazemetz John W. (1993). **Introduction to Industrial and Systems Engineering**. 3ª ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.

[7] Gaither, N.; Frazier, G. **Administração da Produção e operações**. 8. ed. Editora Pioneira, São Paulo, 2005.

[8] Slack, N.; Chambers, S. & Johnson, R. **Administração da Produção**. 3. ed. Editora Atlas, São Paulo, 2009.

[9] Barnes, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos: Projeto e medida do trabalho**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

[9] Toledo, I.F.B. **Cronoanálise**. São Paulo 8º Ed. Assessoria Escola Editora, 2004a.

[10] **Tempos & Métodos**. São Paulo 8º Ed. Assessoria Escola Editora, 2004b.

[11] Shingo, Shigeo. **O sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia de produção**. trad. Eduardo Schaan. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Bokman, 1996.

[12] Ohno, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção: Além da produção em larga escala**. Tradução de Cristina Schumacher. Por to Alegre: Bookman, 1997.

[13] Pedgen, C.D.; Shannon, R.E.; Sadowski, R.P. **Introduction to Simulation Using SIMAN**. McGraw-Hill, NY, 2. ed., 1990.

[14] Yin, Robert K. **Estudo de caso – Planejamento e Métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

[15] Gil, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. Editora Atlas, São Paulo, 2002.

[16] Fachin, Odília. **Fundamentos de metodologia**. São Paulo: Saraiva. 2001.

[17] Plant Simulation. **Visão Geral do Produto**. Disponível em: <http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/plant_desig_n/plant_simulation.shtml>. Acesso em 2 de maio de 2015.