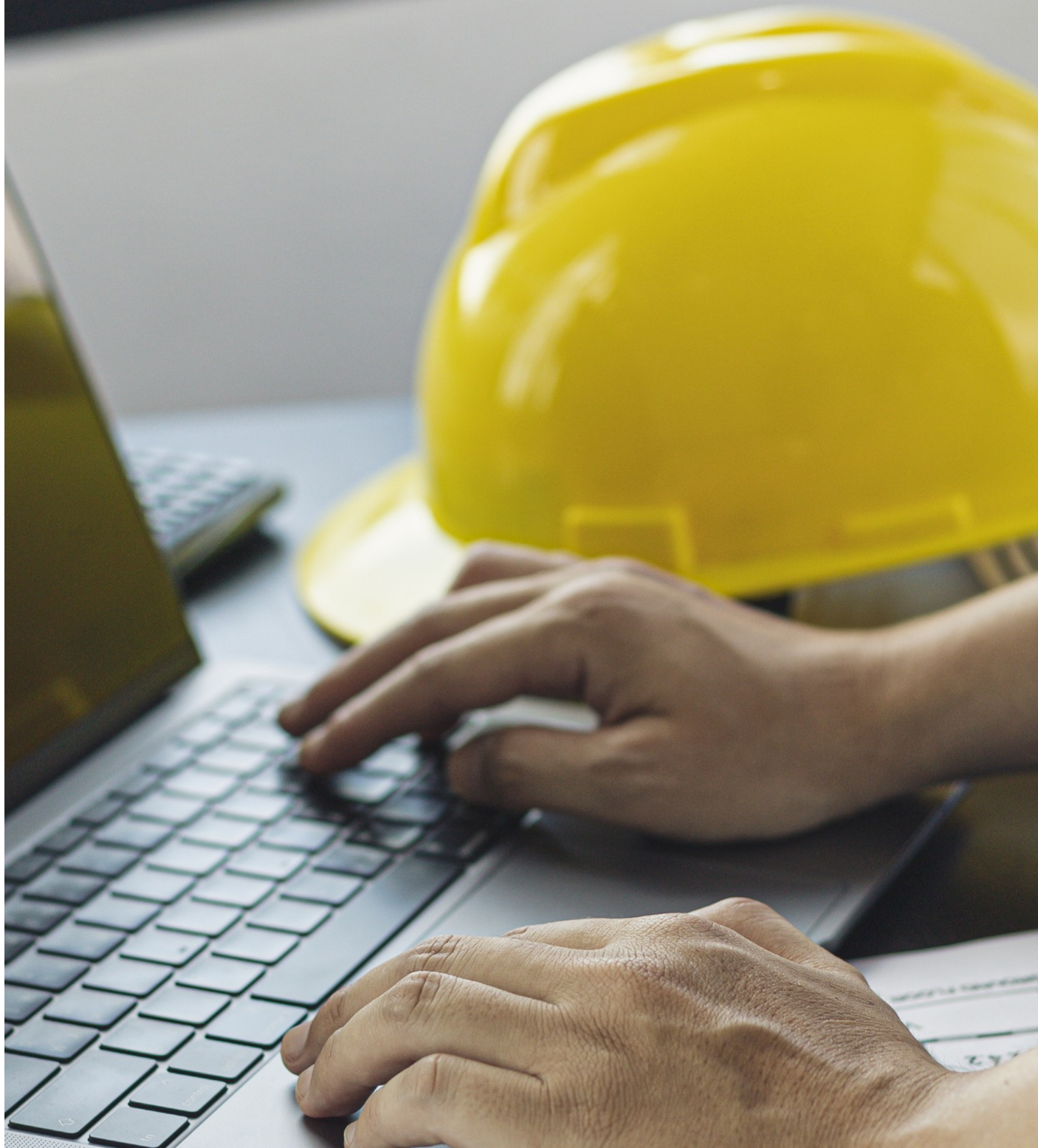




ENGENHARIA:

SOLUÇÕES E INOVAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO

VOLUME VIII

Frederico Celestino Barbosa

Engenharia: soluções e inovações para o desenvolvimento

8ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

8ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238E Engenharia: soluções e inovações para o desenvolvimento
/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2024

66 f.: il

DOI: 10.37423/2024.edcl891

ISBN: 978-65-5367-463-9

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. projeto 2. construção 3. melhorias I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 620

<https://doi.org/10.37423/2024.edcl891>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

MSc Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Wesley Pacheco Calixto

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

MSc Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli
MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior
Dra. Suely Lopes de Azevedo
MSc Francisco Odecio Sales
MSc Ezequiel Martins Ferreira
MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio
MSc Carlos Eduardo De Oliveira Gontijo
MSc Rainei Rodrigues Jadejiski
Dr. Rodrigo Couto Santos
Dra. Milena Gaion Malosso
PHD Marcos Pereira Dos Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	5
CONCEITOS GERAIS DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA E GERAL	
Caio Olindo de Miranda e Silva Júnior	
Leticia Thayane Santos Ramos	
Rafael de Melo Lopes	
DOI 10.37423/240208704	
 CAPÍTULO 2	 19
ESTUDO DO ARRANJO FÍSICO DA LINHA DE PRODUÇÃO DE PAPELÃO DA COOPERATIVA DE BADAMEIROS DE FEIRA DE SANTANA	
EDUARDO OLIVEIRA COSTA	
MARIA LENY SOUZA OLIVEIRA(In Memoriam)	
REINALDA SOUZA OLIVEIRA	
DOI 10.37423/240208713	
 CAPÍTULO 3	 36
PROJETO PILOTO A PARTIR DA METODOLOGIA SEIS SIGMA E MÉTODO DMAIC PARA REDUÇÃO DE FALHAS NO SETOR DE PINTURA DE ESTALEIRO NÁUTICO	
Gilberto Rodrigues Pinto Neto	
Janaína Renata Garcia	
Elisete Santos da Silva Zagheni	
DOI 10.37423/240208716	
 CAPÍTULO 4	 51
COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO REFORÇADOS COM NANOPARTÍCULAS DE ALUMINA E FIBRAS CURTAS DE CARBONO	
João Lucas Alexandre Nunes Galvão Ferreira	
Marisa Cristina Guimarães Rocha	
DOI 10.37423/240308747	

Capítulo 1



10.37423/240208704

CONCEITOS GERAIS DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA E GERAL

Caio Olindo de Miranda e Silva Júnior

*Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri*

Leticia Thayane Santos Ramos

*Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri*

Rafael de Melo Lopes

*Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri*



Resumo: Este trabalho aborda a Teoria da Relatividade Especial (ou Restrita) e Geral, onde através de conceitos gerais é possível ter um entendimento básico sobre o assunto em questão. Nestes conceitos são apresentados brevemente a Mecânica Newtoniana, Eletromagnetismo de Maxwell e não menos importante, as Transformações de Lorentz, que é essencial para se compreender a Relatividade Especial. Seguindo para a Relatividade Geral, que é vista como uma generalização da Relatividade Restrita para referenciais não inerciais, a Lei de Newton é base para o postulado. Vale ressaltar também a sua importância para as áreas da Astrofísica e Cosmologia.

Palavras-chave: Relatividade Especial; Postulados da Relatividade; Referenciais Inerciais.

INTRODUÇÃO

As Transformações de Galileu são um conjunto de equações que permitem relacionar as coordenadas espaciais e temporais de um objeto visto de dois referenciais inerciais quando há movimento relativo entre eles. A Teoria da Relatividade de Einstein trata os fenômenos ocorridos nos objetos que se deslocam em velocidades muito altas. A Teoria Restrita, proposta em 1905, aborda a comparação entre os movimentos observados em diferentes referenciais que se movem com velocidade constante uns em relação aos outros. Em 1687, Newton (1643-1727) foi o primeiro a generalizar as observações de Galileu e outras leis de movimento que são abordadas nos cursos de mecânica clássica. As leis de Newton se aplicam apenas em referenciais inerciais (onde a lei da inércia é válida). Essas leis têm a mesma forma em qualquer referencial que se move com velocidade constante em relação a um referencial inercial, de modo que todos os referenciais inerciais são equivalentes. Por volta de 1860, Maxwell (1831-1879) descobriu que as leis obtidas empiricamente da eletricidade e do magnetismo podem ser descritas por quatro equações matemáticas, as Equações de Maxwell. Essas equações não são invariantes em relação a uma Transformação de Galileu entre referenciais inerciais. Uma das características das Equações de Maxwell é a existência de ondas eletromagnéticas, em que a velocidade possui um valor bem determinado, $c = 3 \times 10^8$ m/s. A concordância entre este número e o valor experimental da velocidade da luz além das propriedades de polarização previstas para as ondas eletromagnéticas e as observadas da luz sugere um forte indício de que a luz é uma onda eletromagnética. Por comparação com as outras ondas conhecidas, foi enunciado que as ondas eletromagnéticas se propagam em meio material. Este meio de propagação recebeu o nome de éter, a sua nomenclatura foi sugerida por Aristóteles há mais de 2000 anos. Já a Relatividade Geral é uma generalização da Relatividade Restrita para referenciais não inerciais, essa teoria descreve a interação gravitacional. Trata-se de uma teoria mais complexa, do ponto de vista matemático, do que a Teoria da Relatividade Restrita. A Relatividade Geral tem grande importância nas áreas da astrofísica e cosmologia e é bastante útil na criação de sistemas como GPS, relógios atômicos e comunicações de sondas espaciais e sistemas precisos que podem vir a ser criados. O que levou Einstein (1879-1955) a formular uma Teoria da Relatividade Geral não foi um resultado experimental que precisasse de explicação na Relatividade Restrita, mas sim o desejo de incluir na Teoria da Relatividade a descrição de todos os fenômenos naturais (TIPLER, 2014). De acordo com a teoria da Relatividade Geral, se a gravidade se torna tão suficientemente grande, a sua atração se torna tão intensa que nada pode escapar, nem mesmo a luz e outras formas de radiação eletromagnética, é como se o espaço estivesse encolhendo mais rápido do que a luz consegue se propagar. Uma curiosidade notável de um corpo

desse tipo, conhecido como buraco negro, é que nada do que acontece no interior pode ser comunicado com o resto do universo.

MATERIAL E MÉTODOS

Para entendermos melhor sobre o que é a Relatividade Especial precisamos ter um breve conhecimento da Mecânica Newtoniana e alguns conceitos sobre Eletromagnetismo de Maxwell, além de tentarmos compreender um pouco as Equações de Lorentz. E para a Relatividade Geral, estudaremos o Princípio da Equivalência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Mecânica Newtoniana é baseada nas três leis de Newton, são elas: 1ª- lei da inércia, 2ª- lei da força, 3ª- lei da ação e reação, essas leis são válidas para os referenciais inerciais. Esses referenciais inerciais são definidos pela primeira lei (lei da inércia), o que nos garante que todo corpo permanece em seu estado de repouso ou em movimento retilíneo e uniforme caso as forças que atuem sobre ele se anulem. Desse modo, na Mecânica Newtoniana, todos os referenciais inerciais são equivalentes (SEARS, 2008). A segunda lei nos diz que para todo corpo submetido a uma ou mais forças em que a soma seja diferente de zero, este vai estar sujeito a uma aceleração proporcional à força resultante e inversamente proporcional à sua massa.

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = m\vec{a} \quad (1)$$

Uma importante observação é que esta lei só é válida para um referencial inercial. A terceira lei nos diz que se um corpo aplicar uma força sobre um segundo corpo, o segundo exercerá uma força contrária ao primeiro corpo de mesmo módulo e direção.

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA} \quad (2)$$

O Eletromagnetismo de Maxwell deu início com o estudo da comparação do fluxo de fluidos incompressíveis com os campos observados por Faraday (Millar, 1996). Ele então desenvolveu um modelo de fenômenos eletromagnéticos usando o conceito de campos e vórtices, análogos aos observados em líquidos, representando intensidade magnética e corrente elétrica. Depois disso, ele introduziu elasticidade ao fenômeno e mostrou que as ondas transversais se propagam com as conhecidas constantes fundamentais do eletromagnetismo. Maxwell calculou que as ondas se

propagariam com uma velocidade muito próxima à velocidade da luz. A partir disso, ele concluiu que a luz pode ser entendida como ondas eletromagnéticas transversais em um meio hipotético ("éter"). Para aprofundar o estudo das ondas eletromagnéticas, formalizou-se uma analogia com uma descrição puramente matemática de campos eletromagnéticos com escoamento de fluidos. Em 1864 ele desenvolveu as equações fundamentais do eletromagnetismo, agora conhecidas como Equações de Maxwell, e foi então capaz de mostrar como as ondas eletromagnéticas se comportavam em relação aos campos elétricos e magnéticos, oscilando em ângulos retos entre si e com a direção de propagação. Além disso, Maxwell argumentou que a luz corresponde a uma pequena parte do espectro das ondas eletromagnéticas existentes.

As Transformações de Lorentz (1853-1928) permitiram que as Equações de Maxwell fossem inalteradas, contanto que se alterem as componentes dos campos. Lorentz não descobriu as fortes consequências da relatividade, pois ainda acreditava na existência do éter, tentando ajustar sua transformação. Vamos considerar o seguinte caso entre as coordenadas do espaço-tempo x, y, z e t de um evento em um referencial S e as coordenadas x', y', z' e t' do mesmo evento em um referencial S' que esteja se movendo com velocidade uniforme em relação a S (H. A. Lorentz, 2014). Para simplificar os cálculos vamos considerar que a origem dos dois sistemas de coordenadas coincidem no instante $t = t' = 0$ e S' está se movendo em relação a S com velocidade v ao longo do eixo x (ou x') e os eixos y' e z' paralelos aos eixos y e z . As transformações corretas para um referencial inercial movendo-se com velocidade v ao longo do eixo x em relação a outro referencial inercial são:

$$x' = \gamma(x - vt) \quad (3)$$

$$y' = y, z' = z \quad (4)$$

$$t' = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right) \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (6)$$

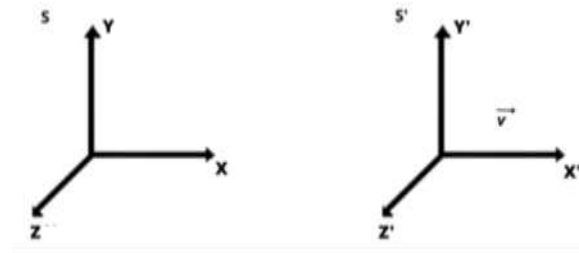


Figura 1 - Referenciais inerciais movendo-se um em relação ao outro.

As transformações nas direções y e z são as mesmas, visto que o movimento só se dá na direção x . Além do fator de Lorentz (*gamma*), a diferença desta transformação é que o tempo depende da posição e da velocidade, deixando a ideia de módulo absoluto. Se a velocidade dos corpos for muito menor que a velocidade da luz, $v \ll c$, a Relatividade de Galileu se torna um caso particular da Relatividade Especial. O fator γ , que depende basicamente da razão v/c , desaparecerá.

A Teoria da Relatividade Restrita pretende consolidar uma modificação da Mecânica Newtoniana para coincidir com o Eletromagnetismo de Maxwell. A Relatividade Especial pode ser entendida como uma reformulação da mecânica clássica. A Relatividade Especial tem como base dois postulados:

- Todas as leis da natureza são as mesmas em todos os sistemas de referenciais inerciais;
- A velocidade de propagação da luz no vácuo é a mesma em todos os sistemas de referenciais inerciais (299792458 m/s).

Vale ressaltar que a Relatividade Especial também possui uma restrição, que se dá pelo fato de apenas se estender para referenciais inerciais. Ao aplicar estes postulados a mecânica resultante tem várias propriedades interessantes:

- Quando a velocidade dos objetos considerados são muito menores que a velocidade da luz, as leis são as descritas por Newton;
- O tempo e o espaço deixam de ser invariantes ao mudar de sistema de referência, passando a ser dependentes do estado de movimento dos observadores;
- O eletromagnetismo não é um conjunto de leis que necessite de uma transformação diferente da aplicada em mecânica;
- Os intervalos temporais entre acontecimentos dependem do sistema de referência em que estes são medidos. As distâncias entre ocorrências também.

A discordância principal da Relatividade Especial em relação à Relatividade de Galileu é o postulado da constância da velocidade da luz. Dentro da Mecânica Newtoniana, o tempo é concebido como absoluto, que flui uniformemente e não depende de observadores em diferentes referenciais. Já na Relatividade de Einstein, como a luz é tida como uma constante e possui um alto valor, a questão de

simultaneidade passa a ser relativo, ou seja, dois ou mais eventos simultâneos em um determinado quadro inercial não são simultâneos em outro quadro inercial. É até possível que a ordem temporal dos eventos seja diferente para observadores colocados em diferentes referenciais inerciais.

Como foi anunciado nos postulados da Relatividade Especial, a velocidade da luz é a única grandeza absoluta em qualquer referencial inercial. E, segundo Einstein, o tempo pode ser distinto entre passado, presente e futuro, dizendo que o tempo é relativo e vinculado à velocidade. Para entendermos melhor as consequências dos postulados vamos imaginar um experimento: um trem move-se com velocidade constante e de intensidade v , em relação a um observador em repouso localizado na plataforma, ou seja, do lado de fora do trem. Para simplificar adotaremos os referenciais da plataforma de S e o do passageiro no trem de S' . No interior do trem o passageiro possui um objeto composto por uma fonte de luz que se mantém fixo no chão, que pode emitir pulsos luminosos de curta duração. Esses pulsos luminosos fazem um trajeto em linha reta na vertical que atinge um espelho fixo no teto e acima da fonte luminosa, e por sua vez o pulso luminoso é refletido de volta para sua fonte, onde existe um detector.

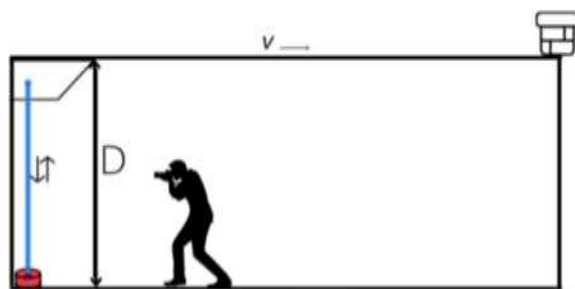


Figura 2 - Luz emitida e recebida de volta na perspectiva do passageiro.

Para calcular o tempo no movimento vertical em relação ao passageiro temos que:

$$t' = \frac{2D}{c} \quad (7)$$

D : altura do trem; $2D$ é a distância percorrida pelo raio de luz.

c : velocidade da luz.

Vamos introduzir a notação Δt_p ao invés de simplesmente t' , que chamamos de tempo próprio do observador. É o intervalo de tempo medido por quem encontra-se no referencial do trem. Tempo próprio é o intervalo de tempo entre dois eventos que ocorrem na mesma coordenada.

O que nos basta agora é qual o caminho observado para o pulso de luz quando visto de um referencial na plataforma. Este caminho não é o mesmo observado pelo passageiro dentro do trem, pois, para o

observador na plataforma existe o movimento do trem, este movimento precisa ser levado em consideração. Para o passageiro é observado uma trajetória retilínea, já para o observador na plataforma é uma trajetória diagonal. Pelo mesmo raciocínio, podemos calcular o intervalo de tempo necessário para que a luz possa percorrer a trajetória vista do observador na plataforma.

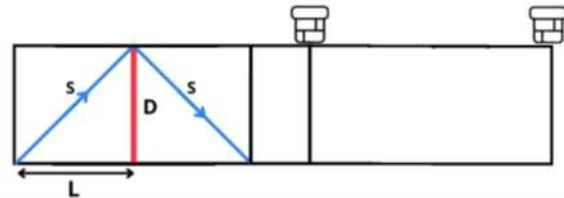


Figura 3 - Luz emitida e recebida de volta na perspectiva de um observador na plataforma.

$$L = \frac{v\Delta t}{2} \quad (8)$$

$$S = \frac{c\Delta t}{2} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} S^2 \\ = D^2 + L^2 \end{aligned} \quad (10)$$

L: metade da distância horizontal percorrida pelo trem;

S: caminho do pulso observado da Terra.

Com essas duas substituições podemos calcular o tempo medido pelo observador em repouso na Terra:

$$\begin{aligned} \left(\frac{c\Delta t}{2}\right)^2 \\ = D^2 + \left(\frac{v\Delta t}{2}\right)^2 \end{aligned} \quad (11)$$

Como resultado das manipulações algébricas, obtivemos:

$$\Delta t = \frac{2D}{c\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (12)$$

$$\Delta t = \frac{\Delta tp}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma \Delta tp \quad (13)$$

O intervalo de tempo medido no referencial S' é diferente do intervalo de tempo medido no referencial S. Em que a diferença é dada pelo fator de Lorentz, ou seja, o tempo próprio é o menor intervalo de tempo entre dois eventos. Isso gera uma consequência direta a respeito das percepções

de cada observador. Embora os dois possam admitir os mesmos eventos, que são a emissão e a recepção do pulso luminoso, ambos discordam sobre qual é o intervalo de tempo entre os dois eventos. Podemos dizer que o tempo passa pela mesma razão para dois observadores se os dois experimentam a simultaneidade de eventos, e para ocorrer isso, os dois observadores devem estar em repouso com relação a eles mesmos.

Assim como acontece na dilatação do tempo, a medição de distâncias em diferentes referenciais também é afetada. Com o mesmo princípio, chamaremos de comprimento próprio a distância entre dois pontos medida de um referencial em repouso. Por outro lado, precisamos de um outro referencial inercial que possa medir tal comprimento e que esteja se movimentando em relação ao primeiro.

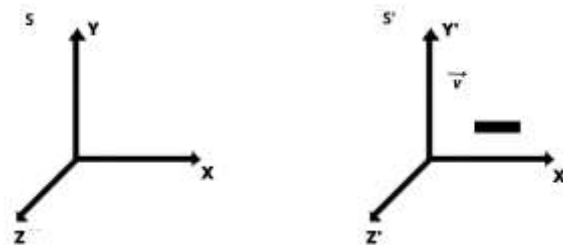


Figura 4: Barra em repouso no referencial S'.

Vamos imaginar um referencial S parado e outro referencial S' com velocidade constante. Observa-se uma barra em repouso no referencial S'. Para que o referencial S possa medir x_1 e x_2 , será necessário que essas medidas ocorram no mesmo tempo, $t_1=t_2$. Para a distância no referencial S' devemos recordar a equação (3): $x' = \gamma(x - vt)$:

$$Lp = x'_2 - x'_1 \quad (14)$$

$$Lp = \gamma[x_2 - x_1 - v(t_2 - t_1)] \quad (15)$$

$$x_2 - x_1 = L \quad (16)$$

$$L = \frac{Lp}{\gamma} \quad (17)$$

Lp: comprimento medido no referencial S';

L: comprimento medido pelo referencial S.

O que podemos perceber é que a distância encontrada pelo referencial S é menor que a medida pelo referencial S' . Como γ é maior que 1, L é menor que L_p , portanto L_p é o maior comprimento que um objeto pode ter. Isso é o que chamamos de contração do espaço.

Para a Teoria da Relatividade Geral, Einstein desejava incluir a descrição de todos os fenômenos naturais. Em 1907, o físico notou que estava em condições de conseguir este objetivo, mas com uma única e notável exceção: os fenômenos que envolviam a ação da força da gravidade. Com isso ele gostaria de entender por que ela existe. Einstein conseguiu essa explicação alguns anos mais tarde. Em suas palavras, ele disse: "Foi então que me ocorreu a ideia mais fantástica de minha vida. Da mesma forma que o campo elétrico gerado pela indução magnética, o campo gravitacional possui uma existência apenas relativa. Porque para um observador que está caindo do telhado de uma casa, não existe (pelo menos em sua vizinhança imediata) um campo gravitacional... O observador tem todo direito de imaginar que se encontra em repouso." A partir dessa ideia que Einstein chegou ao Princípio da Equivalência, que veio a se tornar o postulado básico da Teoria da Relatividade Geral.

Considerando um referencial K_0 acelerado uniformemente em relação a um referencial inercial K com aceleração a . Tendo em vista que inicialmente os relógios estão sincronizados, onde os eixos das coordenadas coincidem e havendo aceleração apenas em um destes eixos coincidentes x . A segunda lei de Newton no referencial inercial K , levando em conta que uma partícula se movimenta neste eixo x sob a ação de uma força F , é:

$$F = m\ddot{x} \quad (18)$$

Na segunda lei de Newton, o referencial acelerado K_0 para a mesma partícula é:

$$F = m\ddot{x} + ma = m\ddot{x} + F_{inercial} \quad (19)$$

Voltando à equação Newtoniana, possuímos dois conceitos de massa:

- Massa inercial: massa que leva em consideração a resistência ao movimento da partícula.
- Massa gravitacional: massa em que o campo gravitacional se acopla.

Um fato empírico importante é que as duas massas são iguais. Galileu e Newton e vários outros mais tarde provaram isso com muita precisão. A igualdade entre massas inerciais e gravitacionais sugere uma estreita relação entre gravidade e inércia. Na equação (19), o termo adicional representa a força inercial devido à escolha de um referencial não inercial para descrever o movimento. A figura 5 possui quatro situações e em seguida será explicado cada situação.

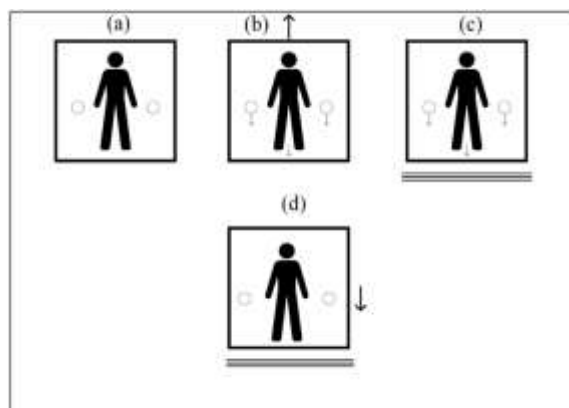


Figura 5: Representação do Princípio da Equivalência.

- Uma pessoa em uma caixa no espaço, afastada de qualquer matéria, livre de qualquer ação de força. Esta pessoa flutua, ao soltar duas massas, ambas permanecerão flutuando junto com ela.
- Vamos assumir que a tal caixa é acelerada para cima constantemente. Então a pessoa é pressionada pelo chão da caixa com uma força constante e o mesmo acontecerá com as duas massas, que agora irão cair no chão.
- Agora vamos considerar a mesma caixa, mas agora em estado estacionário em um campo gravitacional, logo, a mesma pessoa será pressionada pelo chão com uma força constante, as massas irão cair também. Nenhum experimento pode ser feito dentro da caixa com o objetivo de diferenciar se os efeitos estão acontecendo devido a um campo gravitacional ou por conta de uma aceleração para cima.
- Agora considere que tal caixa é colocada em queda livre em um campo gravitacional homogêneo e constante. A pessoa irá flutuar junto com as massas, ela não sente força alguma.

Devemos enfatizar o fato de que as acelerações são constantes e que a caixa é pequena suficiente, do contrário as duas massas irão se aproximar. O Princípio da Equivalência de Einstein nos diz que as massas inerciais e gravitacionais são iguais, e o resultado de qualquer experimento local gravitacional em um referencial em queda livre é independente da velocidade do referencial (Invariância de Lorentz).

A primeira predição testada da relatividade geral “A deflexão da luz perto de corpos com grandes massas”, que na verdade não era totalmente nova, pois em 1804 o astrônomo Johann Georg von Soldner (1776-1833) já especulava sobre um raio de luz possivelmente ser desviado devido à atração gravitacional, nesse caso descrita pela Lei da Gravitação Universal de Newton. Duas questões

importantes são abordadas, uma teórica no sentido de que a teoria diz que esses números ficam cada vez menores conforme consideramos os raios de luz passando cada vez mais longe do corpo celeste, mas ao mesmo tempo eles vão ficando cada vez maiores considerando corpos celestes de massa crescente. Para tornar o efeito o mais visível possível, você precisa de um corpo com a maior massa possível e que os raios de luz passem o mais próximo possível desse corpo. É por isso que falamos sobre o Sol e os raios de luz que passam perto da superfície do Sol. É uma configuração ideal e mesmo assim o número previsto é minúsculo. Outra questão relevante é como observar a luz que passa perto da superfície do Sol, o que parece impossível, já que às vezes é impossível ver qualquer coisa além do Sol e da Lua no céu durante o dia. Uma situação que esclarece o problema de ver essas estrelas durante o dia perto do Sol, que foi resolvido em 1919 por um eclipse total visível em algumas áreas da Terra, inclusive no norte do Brasil. Astrônomos liderados por Arthur Stanley Eddington (1882-1944) em Sobral, Ceará, conseguiram observar o fundo estelar próximo ao Sol durante um eclipse total e constataram que as estrelas neste fundo estão em posições diferentes do normal, é como se o Sol atuasse como uma lente, o que confirma a curvatura do espaço causada pela matéria.

O periélio de um planeta é o ponto em sua órbita mais próximo do sol. O fato é que este ponto existe, ou seja, que as órbitas dos planetas não são círculos, mas elipses. A órbita de Mercúrio, o planeta mais próximo do Sol, o precede em 5.600 segundos de arco a cada século (TIPLER, 2014), ou seja, cerca de um grau e meio a cada cem anos, esse fenômeno é teoricamente previsível por cálculo teórico, é complicado, baseado na Lei da Gravitação Universal de Newton, e leva em conta a atração gravitacional dos outros planetas (principalmente Vênus, Terra e Júpiter). A problemática era só poder explicar uma parte dos 5600 segundos de arco por século. Einstein e a Relatividade Geral explicaram os 43 segundos de arco por século que faltavam. No século XIX, o astrônomo Le Verrier (1811-1877) descobriu anomalias na órbita do planeta Urano. Urano, por assim dizer, não "se comportou" bem com a conjectura de Newton. Le Verrier levantou a hipótese de que essas anomalias se davam à presença de outro planeta descoberto posteriormente, Neptuno. As anomalias na órbita de Mercúrio levaram ele então a postular a existência de outro planeta, numa órbita entre o Sol e Mercúrio, e que foi chamado Vulcano. Este planeta nunca foi detectado e a explicação da precessão do periélio de Mercúrio foi talvez a primeira sólida confirmação da Relatividade Geral.

O último dos testes da Relatividade realizado em 1959, foi o desvio para o vermelho, que é sofrido por uma onda eletromagnética que "foge" de um campo gravitacional, que foi executado e concluído com sucesso. Em aspectos físicos, a luz perde energia ao fugir do campo gravitacional, semelhante a uma

pedra lançada para cima. Por outro lado, se a luz "cair" em um campo gravitacional, ela ganhará energia da mesma forma que uma bateria em queda ganha energia (energia cinética). Esse fenômeno foi comprovado em 1959 em um experimento de Robert Vivian Pound (1919-2010) e o seu aluno Glen Anderson Rebka, Jr. (1931-2015). Nesse experimento eles conseguiram determinar, no porão dos laboratórios, na Universidade de Harvard, um desvio para o azul de raios gama, que eram emitidos por uma fonte que se localizava no sótão, 22,5 metros acima. Sendo assim, eles conseguiram mostrar que o princípio de equivalência estava de acordo com a experiência.

CONCLUSÃO

O trabalho realizado proporciona, com base nos conceitos gerais da Relatividade Especial e Geral, um conhecimento básico sobre o assunto em questão, através de postulados, testes e várias situações que podemos observar no cotidiano. A Teoria da Relatividade Geral é uma generalização da Teoria da Relatividade Especial, de Albert Einstein (1879-1955), levando em conta a aceleração dos corpos, ou seja, é válida para referenciais não inerciais. Já na Relatividade Especial, Einstein mostrou como os fenômenos físicos ocorrem de forma diferente para observadores que se movimentam com velocidades relativas constantes e que a velocidade da luz é igual para todos esses observadores. Além disso, mostrou uma similaridade entre tempo e espaço. De forma geral, essa teoria diz que eventos que ocorrem de forma conjunta para um observador podem ser assíncronos para outro. Dando como exemplo o tempo de um evento, como a queda de um corpo, quando vista por uma pessoa no planeta Terra, pode ser diferente se vista por um observador externo que se movimenta com uma velocidade alta.

REFERÊNCIAS

H. A. Lorentz, A. Einstein e H. Minkowski. Textos Fundamentais da Física Moderna, I volume - O Princípio da Relatividade, 6ªed, Editora da Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa (2014).

Millar, D. et al. Maxwell, James Clark (1831-1879). Disponível em:

<[https://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/person/maxwell.htm#:~:text=Maxwell%20calculou%20que%20as%20ondas,hipot%C3%A9tico%20\(%22ether%22\).](https://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/person/maxwell.htm#:~:text=Maxwell%20calculou%20que%20as%20ondas,hipot%C3%A9tico%20(%22ether%22).>)>. Acesso em 20 de Janeiro de 2023.

TIPLER, P; LLEWELLYN, R. Física Moderna. 6ª ed. Rio de Janeiro: Copyright, 2014. p. 3-67.

SEARS, F; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A., Física I: Mecânica. 12a. Ed. Pearson Addison Wesley, vol. I, 2008.

Capítulo 2



10.37423/240208713

ESTUDO DO ARRANJO FÍSICO DA LINHA DE PRODUÇÃO DE PAPELÃO DA COOPERATIVA DE BADAMEIROS DE FEIRA DE SANTANA

EDUARDO OLIVEIRA COSTA

Universidade Salvador

MARIA LENY SOUZA OLIVEIRA(In Memoriam)

Universidade Estadual de Feira de Santana

REINALDA SOUZA OLIVEIRA

Universidade Estadual de Feira de Santana



Resumo: *A competitividade do mercado atual e as mudanças em busca da eficiência produtiva são inevitáveis para qualquer tipo de organização. Este artigo traz uma abordagem sobre a importância do arranjo físico adequado para melhorar o desempenho da Cooperativa de Badameiros de Feira de Santana (COOBAFS). Para realizar este estudo, foi realizada uma entrevista com os cooperados a fim de resgatar o histórico e o estado atual da produção levando em consideração as etapas de coleta, recebimento, triagem, processamento, estocagem e vendas. Como resultado deste estudo foi proposto um modelo de arranjo físico (layout) que levou em consideração o tipo de produto, os maquinários envolvidos, a eficiência da produtividade e os cuidados com a saúde e segurança dos cooperados. A mensuração dos resultados da implementação da proposta poderão ser insumos de outros estudos.*

Palavras-chave: *arranjo físico, produtividade, cooperativa.*

1. INTRODUÇÃO

As organizações de maneira geral apresentam crescente preocupação com produtividade, saúde e bem estar do trabalhador. E um dos principais aspectos que deve ser considerado dentro do processo produtivo, que pode influenciar nos resultados dos trabalhadores, refere-se ao arranjo físico (*layout*) adotado pela organização.

A organização analisada neste estudo foi a Cooperativa dos Badameiros de Feira de Santana-BA (COOBAFS), que é uma cooperativa de catadores de resíduos sólidos recicláveis (papel, plástico, metal, etc) que recebe e/ou coleta doações, realiza a triagem, processamento, armazenagem e venda desses materiais. Está situada em uma região com intenso desenvolvimento econômico marcada pela perspectiva de chegada de muitas indústrias que são seus potenciais fornecedores. Há pouco mais de dez anos a COOBAFS foi criada e desde então recebeu o apoio de algumas organizações, a saber, Núcleo de Educação Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana, Prefeitura Municipal de Feira de Santana-BA, ONG PANGAEA e recentemente, a UNIFACS Campus Feira. Toda a matéria-prima da cooperativa é doada e confere grande vantagem, pois o custo é somente do transporte e da mão de obra dos cooperados envolvidos na coleta.

O objetivo deste trabalho é propor melhorias no arranjo físico da COOBAFS a fim de se aproximar do sistema de produção ideal, onde mão de obra, máquinas e materiais operem dentro de um processo eficiente em um ambiente mais seguro e produtivo, aumentando a capacidade produtiva, a receita da cooperativa, as possibilidades de investimentos em treinamentos, equipamentos, e estabelecimento de parcerias com novos fornecedores. A pesquisa parte do pressuposto que um arranjo físico adequado ao processo produtivo dos materiais coletados pode apresentar benefícios para os cooperados. Com uma metodologia baseada em pesquisa exploratória e descritiva, o estudo teve início no segundo semestre de 2014. Foram realizadas análises e diagnósticos da cadeia produtiva para a construção de uma proposta experimental de arranjo físico. Observações semanais do processo produtivo e entrevistas aos cooperados foram realizadas a fim de resgatar o histórico e o estado atual da produção levando em consideração as etapas de coleta, recebimento, triagem, processamento, estocagem e vendas. Foram realizados e analisados registros escritos, fotográficos e de documentos de controles relacionados à produção. Este artigo está dividido em: introdução, referencial teórico com uma abordagem em sistemas de produção, metodologia e resultados, incluindo uma proposta de intervenção.

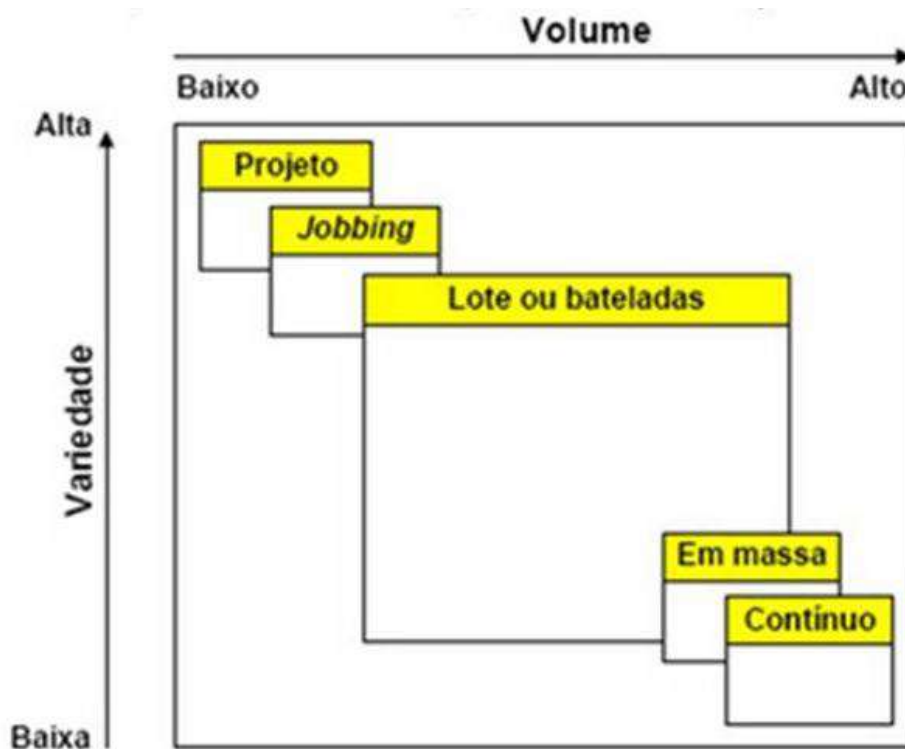
2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMA DE PRODUÇÃO

Um Sistema de Produção pode ser definido “como o conjunto de atividades e operações inter-relacionadas envolvidas na produção de bens (caso de indústrias) ou de serviços.” (MOREIRA, 2013).

De acordo com Slack (1997) os tipos de processo de produção são classificados em: processo por projeto, por jobbing, lote ou batelada, em massa e contínuo. A Figura 1 apresenta a relação entre volume e variedade (em ordem de volume crescente e variedade decrescente) de cada tipo de processo.

Figura 1 – Tipos de Processo: relação volume – variedade



Fonte: Slack (1997)

O tipo de processos por projeto “são os que lidam com produtos discretos, usualmente bastante customizados. Baixo volume e alta variedade são características de processo de projeto” (SLACK, 1997). Segundo Moreira (2013), uma característica marcante dos processos por projetos é o seu alto custo e a dificuldade gerencial no planejamento e no controle. Os processos por *jobbing* envolvem produção de pequenos lotes, de uma grande variedade de produtos, com variados roteiros de fabricação (CORRÊA E CORRÊA, 2005). Processos em lotes ou bateladas estão relacionados com uma

produção em lotes, frequentemente podem parecer-se com os de *jobbing*, mas os processos em lotes não têm o mesmo grau de variedade do que os de *jobbing*. Ainda segundo Slack (1997), o tamanho do lote pode ser apenas de dois ou três produtos; neste caso o processo em lotes diferiria do *jobbing*, especialmente se cada lote for um produto totalmente novo. Inversamente, se os lotes forem grandes, e especialmente se os produtos forem familiares à operação, os processos em lotes podem ser relativamente repetitivos. Por esse motivo, o processo em lotes pode ser baseado em uma gama mais ampla de níveis de volume e variedade do que outros tipos de processos. Na produção em massa a produção acontece em alto volume e variedade relativamente estreita, isto é, em termos dos aspectos fundamentais do projeto do produto (SLACK, 1997). Como exemplos de produção em massa Slack (1997) cita a fábrica de automóveis, a maior parte de fabricantes de bens duráveis como aparelhos de televisão, a maior parte de dos processos de alimentos como o fabricante de pizza congelada, uma fábrica de engarrafamento de cerveja e uma de produção de CDs. Os processos contínuos situam-se um passo além dos processos de produção em massa, pelo fato de operarem em volumes ainda maiores e em geral terem variedade ainda mais baixa. Normalmente operam por períodos de tempo muito mais longos (SLACK, 1997). Segundo Slack (1997), exemplos de processos contínuos são as refinarias petroquímicas, instalações de eletricidade, siderúrgicas e algumas fábricas de papel.

2.2 ARRANJO FÍSICO

As decisões relativas à localização das máquinas, dos equipamentos, das instalações e das pessoas relativamente uns aos outros, usualmente é denominada arranjo físico da operação (SLACK, 1997). Ainda segundo Slack (1997), colocando de forma simples, definir o arranjo físico é decidir onde colocar todas as instalações, máquinas, equipamentos e pessoal da produção.

Pode-se dizer que, dentro dos limites estabelecidos pela estratégia competitiva da operação, um bom projeto de arranjo físico pode visar tanto eliminar atividades que não agreguem valor, como enfatizar atividades que agreguem (CORRÊA E CORRÊA, 2005).

De acordo com Moreira (2013) existem três motivos que tornam importantes as decisões sobre arranjo físico: afetam a capacidade da operação e a produtividade das operações, uma mudança adequada no arranjo físico pode muitas vezes aumentar a produção que se processa dentro da instalação, usando os mesmos recursos que antes, exatamente pela racionalização no fluxo de pessoas e/ou materiais; mudanças no arranjo físico podem implicar no dispêndio de consideráveis somas de dinheiro, dependendo da área afetada e das alterações físicas necessárias nas instalações, entre

outros fatores; e as mudanças podem representar elevados custos e/ou dificuldades técnicas para futuras reversões e podem ainda causar interrupções indesejáveis no trabalho.

Então o arranjo físico de uma organização busca não só aperfeiçoar as condições de trabalho, mas também, racionalizar os fluxos de fabricação, a disposição física dos postos de trabalho e tornar a movimentação das pessoas ainda mais fácil, minimizando filas e aglomerados de clientes insatisfeitos.

Para Slack (1997) o arranjo físico é uma das características mais evidentes de uma operação produtiva porque determina sua „forma“ e aparência. A aparência da organização e o bem estar de todos que a compõem, inclusive os clientes que são peças fundamentais para a sua existência, é uma grande aliada para que se possa cada vez mais ganhar mercado e se manter viva diante de tanta complexidade, competitividade e exigências.

De acordo com Maximiano (2006), a correlação entre stress e trabalho é evidente. Atividades que requerem exaustivo esforço físico, ou que são alienantes, ou realizadas em ambiente de tensão, produzem efeitos psicológicos negativos, mesmo que a pessoa esteja fisicamente bem.

Por todos esses motivos, poderia à primeira vista parecer que um arranjo físico, uma vez estabelecido, é quase imutável e se aplica prioritariamente a novas instalações. Isso não é verdade, entretanto, pois diversos fatores podem conduzir a algumas mudanças em instalações já existentes: a ineficiência de operações, taxas altas de acidentes, mudanças no produto ou serviço, necessidade de expor mais convenientemente produtos ou serviços aos clientes (no comércio, em supermercados, bancos, etc.), mudanças no volume de produção ou fluxo de clientes, e assim por diante.

Projetar o arranjo físico de uma operação produtiva, assim como qualquer atividade de projeto, deve iniciar com uma análise sobre o que se pretende que o arranjo físico propicie. Neste caso, são os objetivos estratégicos da produção que devem ser muito bem compreendidos (SLACK, 1997).

Os arranjos físicos podem ser por produto, por processo, posicional e celular. O arranjo físico por produto (ou em linha) é adequado para operações que processam grandes volumes com alto grau de padronização, pouca ou nenhuma diversificação e que segue um roteiro contínuo. É um arranjo relativamente fácil de controlar. O arranjo físico por processo (ou funcional) é correspondente ao sistema de produção de fluxo não contínuo e com alto grau de variabilidade, é bastante flexível e muito utilizado nas atividades de prestação de serviços. O arranjo físico posicional (ou de posição fixa) é caracterizado por manter o produto em processamento fixo ou quase fixo enquanto pessoas, máquinas, instalações e equipamentos se movimentam em torno de si. Principalmente utilizado em

estaleiros, fabricação de aviões, construção civil, entre outros onde a movimentação do produto é impossível ou quase impossível. O arranjo físico celular é caracterizado pelo agrupamento de todas as máquinas usadas na fabricação de um determinado grupo ou família de produtos, funcionando como mini-fábricas.

A Figura 2 apresenta a relação entre os tipos de processos de manufatura e tipos básicos de arranjo físico.

Figura 2 – Relação entre tipos de processos e tipos básicos de arranjo físico

Tipos de Processo de Manufatura	Tipos Básicos de Arranjo Físico
Processo por Projeto	Arranjo Físico Posicional
Processo Tipo <i>Jobbing</i>	
Processo Tipo <i>Batch</i>	Arranjo Físico por Processo
Processo em Massa	Arranjo Físico Celular
Processo Contínuo	Arranjo Físico por Produto

Fonte: Adaptado Slack (1997)

Slack (1997) cita ainda os arranjos físicos mistos, afirmando que muitas operações ou serviços projetam arranjos físicos mistos, que combinam elementos de alguns ou todos os tipos básicos de arranjo físico, ou usam tipos básicos de arranjo físico de forma „pura“ em diferentes partes da operação.

Para estudar um arranjo físico de uma organização é preciso fazer um levantamento da situação atual, para que se possa chegar aos objetivos desejados. Oliveira (1998) afirma que para o desenvolvimento do estudo de arranjo físico, se faz necessário as seguintes etapas: estudo do local; estudo das divisões, móveis e equipamentos; levantamento do fluxo de trabalho e das atividades relacionadas; e análise do ambiente. Toda a infraestrutura do espaço deve ser analisada no estudo do local, assim como sua localização, planta baixa e divisões.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa assume caráter exploratório e descritivo, visto que pretende inicialmente conhecer o processo produtivo da COOBAFS, identificar suas limitações e posteriormente propor melhorias através da montagem de um arranjo físico adequado. No primeiro momento foram feitas pesquisas documentais em arquivos da cooperativa, livros, revistas, artigos, sites da internet e outros veículos de comunicação. Além desta, também foi realizada uma pesquisa de campo com um questionário aplicado em agosto de 2014 (roteiro do diagnóstico organizacional: aspectos de produção) junto aos integrantes da alta administração e responsáveis pelo processo de produção (grupo com cinco representantes) com perguntas estruturadas de tal forma que ampliasse o entendimento do pesquisador e de sua orientadora no que diz respeito ao processo produtivo da cooperativa em questão. É importante mencionar que este questionário direcionado ao desenvolvimento do diagnóstico organizacional, foi na sua forma literal ou parcial, adaptado de autores reconhecidos nas distintas áreas do conhecimento ora proposto. Destacam-se entre eles: Fitzsimmons e Fitzsimmons (2000); Slack, Chambers e Johnston (2002), e Lacombe e Heilborn (2003). A aplicação deste questionário se deu no formato de mesa redonda e, após discussões sobre cada questão, o pesquisador tomava nota de modo que todos consentissem com o que estava sendo anotado. Utilizou-se o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE) que após assinado pelos entrevistados, compõem os arquivos desta pesquisa.

As questões foram analisadas a partir de seu conteúdo, confrontando com o referencial teórico construído por meio de pesquisa bibliográfica. A análise dos dados foi realizada através do método comparativo, avaliando a situação real e a ideal de acordo com a literatura. Uma visita realizada a outra cooperativa com a mesma natureza de atividade também auxiliou no processo de análise dos dados e elaboração da proposta do arranjo físico da COOBAFS.

4. ANÁLISE DOS DADOS DA PESQUISA

A COOBAFS está situada numa rua de grande movimento na cidade de Feira de Santana, e suas instalações incluem um prédio com cerca de 1.600m² de área construída, e os seguintes maquinários e/ou equipamentos: 3 prensas, 1 empilhadeira, 2 caminhões (1 sem carroceria), 1 esteira de aproximadamente 20 metros (desmontada), 2 balanças analógicas, 1 elevador, 1 transpaleta hidráulico manual e aproximadamente 50 carrinhos utilizados para fazer coleta porta a porta.

De acordo com as informações obtidas durante a pesquisa na COOBAFS, não foi constatado nenhum tipo de controle dos processos produtivos, desde a entrada do material até o final de seu tratamento. Isso implica em gargalos tanto na produção, quanto no financeiro. Na produção, os setores revezam seu volume de trabalho, não há um arranjo físico estruturado para atender as demandas dos materiais, os processos de separação e compactação dos materiais são realizados aleatoriamente no galpão da cooperativa. Há momentos de sobrecarga em áreas específicas do galpão (prensa, balança e estoque) e também de ociosidade. Ou seja, em determinados momentos o setor responsável por prensar os materiais, por exemplo, fica abarrotado de serviço enquanto o setor da catação está, nesse mesmo momento, desocupado por falta de material, podendo acontecer uma situação inversa.

O material era coletado sem conhecimento do tipo e quantidade do mesmo. A maioria do material era vendida a um atravessador que, através de um acordo tácito, compra aquilo que está disponível no momento. Com isto, não há uma preocupação ou preferência por material a produzir. O controle do que se tem disponível em estoque não é feito atualmente pela cooperativa. O que acontece na hora da comercialização é que, no caso de muito material, o caminhão é carregado e depois paga-se uma taxa para ser pesado numa balança externa, no caso de pouca quantidade ou de diversidade de produtos, pesa-se antes do carregamento. Existe também a venda avulsa, para aqueles clientes sem frequência, neste caso, têm pré-estabelecido um cooperado para atender este tipo de venda. O controle existente é realizado através de planilhas feitas no Excel que contêm dados como: data, o material, quantidade, preço, comprador, forma de pagamento e total da venda. Não há informações na planilha sobre a unidade de medida e uma descrição do produto. Essa falta prejudica que uma terceira pessoa entenda os dados que estão expostos, além de ser impossível fazer qualquer tipo de cálculo.

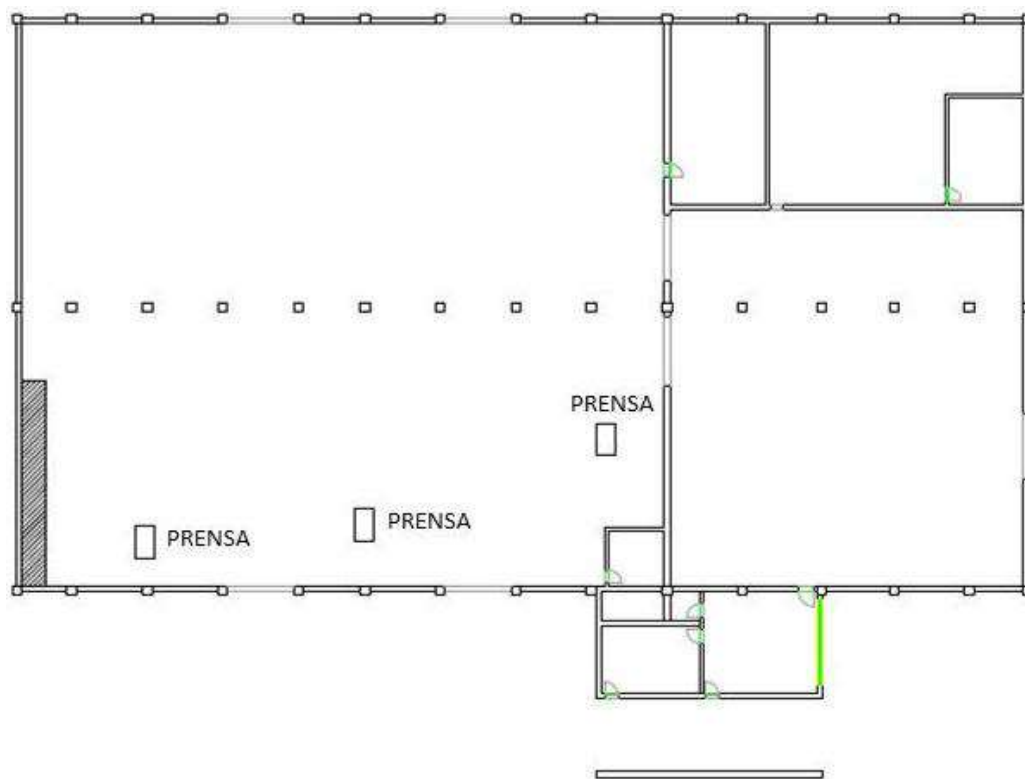
Outro ponto importante que foi observado é que os cuidados com a saúde e segurança dos cooperados são muito precários e poucos deles fazem uso de equipamento de proteção individual. De acordo com o Ministério do Trabalho e Emprego, considera-se Equipamento de Proteção Individual – EPI, todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho (MTE, 2001).

7. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO

As informações obtidas refletem a falta de preparo da cooperativa e o quanto a mesma necessita de um apoio técnico para o melhor desempenho de seus processos. Foram inúmeras as oportunidades

de melhoria encontradas. Após analisar o histórico de vendas da COOBAFS, em algumas planilhas que foram cedidas pelos mesmos, foi verificado que o papelão era o “produto principal” da cooperativa. Dessa forma, a proposta deste estudo está relacionada a uma intervenção no arranjo físico com implementação de uma linha de produção exclusiva para o papelão, conforme as figuras abaixo.

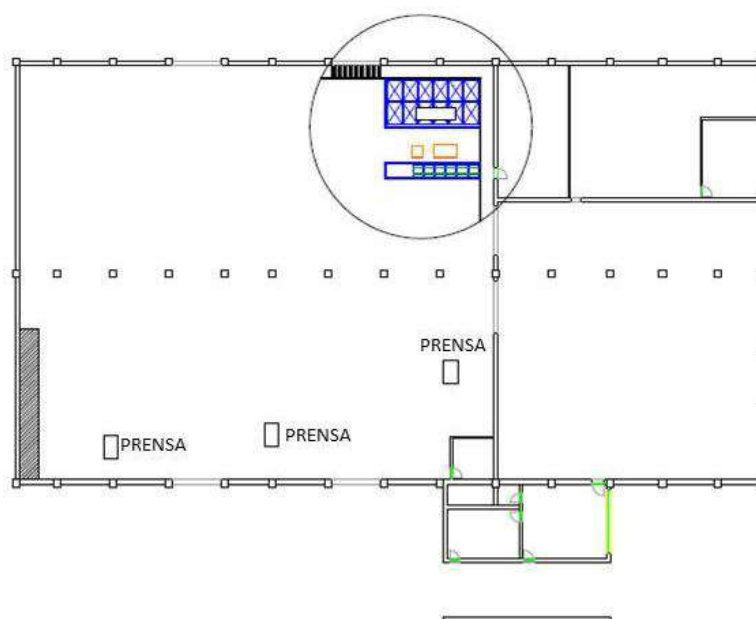
Figura 3: Planta baixa do galpão da COOBAFS



Fonte: Pesquisa de campo, 2015

A figura 3 apresenta a planta baixa do galpão da COOBAFS antes da proposta de intervenção. E como pode ser verificado não há nenhuma definição de linha de produção, apenas a disposição das prensas na área destinada para a triagem de materiais.

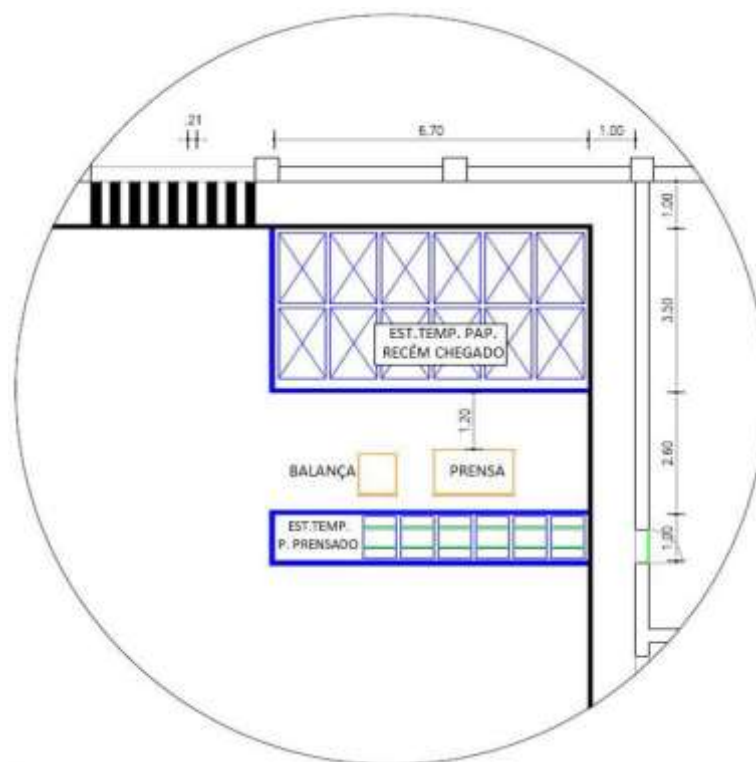
Figura 4: Planta baixa do galpão da COOBAFS com a indicação do local da intervenção



Fonte: Pesquisa de campo, 2015

A Figura 4 apresenta a planta baixa da cooperativa com a indicação do local onde foi realizada a proposta de intervenção.

Figura 5: Planta baixa do galpão da COOBAFS com o local da intervenção ampliado



Fonte: Pesquisa de campo, 2015

Figura 5 o local onde a intervenção foi proposta está ampliado e é possível verificar que as linhas pretas largas e paralelas, representam a faixa de pedestres – local onde o caminhão encosta para descarregar; os retângulos azuis, cruzados no meio, representam os papelões assim que chegam à cooperativa (retirados numa triagem bruta); os retângulos laranjas representam a balança e a prensa; os retângulos azuis, com traços paralelos verdes, representam os papelões já prensados à espera do empilhador para levá-los ao estoque; as linhas pretas delimitam a área de circulação de pessoas; as linhas azuis delimitam o local de armazenamento do papelão triado e do papelão prensado.

Para tal proposta, foi necessário definir qual o tipo de sistema de produção o setor produtivo da cooperativa se aproximava, já que na mesma não havia um sistema definido. Então, foi comparada a situação atual do setor de produção da COOBAFS com os tipos de processos classificados anteriormente, e de acordo com o que foi estudado sobre os tipos de processos de manufatura e sua relação volume-variedade (Figura 1), o tipo de processo que mais se assemelhou do processo em estudo, foi o do tipo processos contínuos. Levando em consideração que para essa proposta (inicialmente, apenas o processo do produto “papelão”), entende-se que sempre será processado o mesmo produto, em grandes volumes e por longos períodos de tempo.

O estudo para definir de qual tipo de processo produtivo a COOBAFS mais se aproximava, foi fundamental para ratificar que a ideia de sugerir um arranjo físico por produto para a cooperativa, era uma ideia acertada. Também é possível verificar essa condição na relação entre tipos de processos e tipos básicos de arranjo físico (Figura 2).

Estruturada com esse *layout*, a cooperativa pode ter um melhor aproveitamento do espaço físico, uma redução na movimentação do produto e no deslocamento dos cooperados, um aumento no volume da produção de seu “produto principal” e consequentemente maior lucratividade, entre outras vantagens.

Corrêa e Corrêa (2005), dizem que várias decisões na gestão das operações dependerão da existência de padrões para o trabalho a ser realizado, ou seja, conhecer o quanto de trabalho uma equipe ou indivíduo tem capacidade de realizar.

Por esse motivo, outra ação complementar, mas não menos importante, é a sugestão do uso de planilhas onde seja possível o registro de dados extraídos dessa linha de produção. São planilhas de fácil compreensão e simples preenchimento que servirão para medir a eficiência da máquina, a capacidade produtiva de cada operador, o número e o motivo de paradas da máquina, entre outros. Fazendo com que os gestores da organização conheçam melhor suas limitações e potencialidades,

além de orientá-los quanto a perspectiva de produção de determinado produto e o monitoramento do seu estoque. Lembrando que as mesmas são passíveis de melhoria para uma melhor adequação às necessidades da cooperativa. Para tanto, é necessário colocá-las em prática.

Figura 6 – Planilha de controle diário – Setor prensa

SETOR PRENSA Nº 01 exemplo					
DATA	COOPERADO	TIPO DE MATERIAL	PESO / Kg	INÍCIO	FINAL
10/10/10	Eduardo Costa	papelão	95,000	07:30	
II	II	II	102,000		
II	II	II	97,200		08:10
10/10/10	Mecân. Emerson	Parada – Manutenção preventiva	---	08:10	12:00
10/10/10	Douglas Magalhães	Parada – Almoço	---	12:00	13:00
10/10/10	II	II	110,000	13:00	13:20

Fonte: Pesquisa de campo, 2015

A Figura 6 é uma planilha de controle diário onde são preenchidas informações do tipo: data da produção, nome do cooperado que operou a máquina (no caso de parada que exija manutenção, o nome do manutentor), tipo de material produzido (no caso de parada, o motivo da parada), quantidade produzida e o período em que aconteceu a produção (no caso de parada, o período em que aconteceu a parada).

Figura 7 – Planilha de controle diário – Setor estoque de papelão

ESTOQUE DE <u>PAPELÃO</u> exemplo				
DATA	COOPERADO	ENTRA OU SAI	PESO / Kg QTD MOV	PESO / Kg ATUAL
10/10/10	Eduardo Costa	entra	95,000	95,000
II	II	II	102,000	197,000
II	II	II	97,200	294,200
II	II	II	110,000	404,200
II	II	II	108,900	513,100
II	II	sai	110,000	13,100

Fonte: Pesquisa de campo, 2015

A Figura 7 é uma planilha de controle de estoque onde são preenchidas as seguintes informações: data da movimentação do material, nome do cooperado que fez a movimentação, o tipo de movimentação, a quantidade movimentada (em unidade de medida pré-estabelecida) e a quantidade de material em estoque após a movimentação.

Figura 8 – Comparativo com e sem arranjo físico definido

Antes	Depois
Não há definição sobre os locais que são destinados a movimentação de equipamentos móveis ou de pedestres	Segregação de pedestres e equipamentos móveis
Não há roteiros pré-definidos para o tráfego dos produtos acabados, semiacabados e matéria-prima	Padronização de rotas de tráfego para produtos acabados, semiacabados e matéria-prima
Há muito material espalhado pelo galpão, impedindo a passagem de pessoas, máquinas e equipamentos	Redução na movimentação do produto e no deslocamento dos cooperados
Não há um posicionamento lógico para a realização das atividades	Melhor aproveitamento do espaço físico
Não há como mensurar o que é produzido	Aumento no volume da produção
Não há definição de arranjo físico	Arranjo Físico por Produto

Fonte: Pesquisa de campo, 2015

A Figura 8 mostra uma tabela comparativa entre a situação antes e depois da elaboração da proposta de intervenção na COOBAFS, sabe-se que é uma expectativa pois a implementação e mensuração de resultados ainda não foram realizadas.

8. CONCLUSÃO

O envolvimento das pessoas, na maioria das situações, é fortemente refletido na aplicação e desempenho da operação. É evidente que métodos de trabalho pré-estabelecidos, uma boa instalação, o uso de tecnologias e outros recursos são favoráveis para um bom funcionamento do processo produtivo, mas, nada disso é possível se as pessoas não tiverem envolvidas com o mesmo propósito. São suas habilidades, sua capacidade de resolver problemas, sua capacidade de aprender e melhorar técnicas de trabalho, sua motivação, sua atitude, juntamente com um arranjo físico eficiente que propicie um bom rendimento, é que de fato farão a diferença para se obter bons resultados.

Levando em consideração o contexto em que a COOBAFS está inserida, foram realizados estudos para identificar meios que fizessem com que a cooperativa não necessitasse efetuar investimentos financeiros. Buscando melhorar o processo produtivo do produto com maior giro e faturamento, seguindo os preceitos básicos da engenharia de produção – produzir mais e melhor, gastando menos recursos. Foi feita uma proposta e apresentada para os dirigentes, que estão analisando as possibilidades de implementação dessa linha de produção exclusiva para o papelão.

A limitação da pesquisa se deu pelo fato de a proposta não ter sido colocada em prática em tempo de mensurar os benefícios alcançados para apresentar neste estudo. Embora, é totalmente aceitável a precaução por parte da cooperativa de analisar calmamente a situação que lhe foi sugerida, tendo em vista que, de algum modo, irá necessitar de investimentos em treinamentos.

REFERÊNCIAS

- CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. Administração de Produção e de Operações. São Paulo: Atlas, 2005.
- FITZSIMMONS, James A.; FITZSIMMONS, Mona J. Administração de serviços: operações, estratégia e tecnologia de informação. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.
- LACOMBE, Francisco; HEILBORN, Gilberto. Administração: princípios e tendências. São Paulo: Saraiva, 2003.
- MAXIMIANO, Antonio Cesar Amaru. Introdução a administração. São Paulo: atlas, 2006.
- MOREIRA, Daniel Augusto. Administração da Produção e Operações. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- MTE – Ministério do Trabalho e Emprego. Disponível em:
<<http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812DC56F8F012DCDAD35721F50/NR-06%20%28atualizada%29%202010.pdf>> Acesso em: 12 jan. 2015.
- OLIVEIRA, Djalma de Pinho Rebouças de. Sistemas, Organização e Métodos: uma abordagem gerencial. 10 ed. São Paulo: atlas, 1998.
- SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; HARLAND, Christine; HARRISON, Alan; JOHNSTON, Robert. Administração da produção. 1. ed. São Paulo: Atlas, 1997.
- SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. Administração da produção. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

ANEXO

TCLE- TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Nós, abaixo relacionados, depois de conhecermos e entendermos os objetivos, procedimentos metodológicos, riscos e benefícios da pesquisa, bem como de estar ciente da necessidade do uso de nossa imagem e depoimento, especificados no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), AUTORIZAMOS, através do presente termo, os pesquisadores, responsáveis pela pesquisa intitulada: ESTUDO DO ARRANJO FÍSICO DA LINHA DE PRODUÇÃO DE PAPELÃO DA COOPERATIVA DE BADAMEIROS DE FEIRA DE SANTANA, a realizar as fotos que se façam necessárias e/ou a colher nossos depoimentos sem quaisquer ônus financeiros a nenhuma das partes. Ao mesmo tempo, liberamos a utilização destas fotos e depoimentos para fins científicos e de estudos (artigos, monografia), em favor dos pesquisadores da pesquisa, acima especificada, obedecendo ao que está previsto nas Leis que resguardam os direitos das crianças e adolescentes (Estatuto da Criança e do Adolescente – ECA, Lei N.º 8.069/ 1990), dos idosos (Estatuto do Idoso, Lei N.º 10.741/2003) e das pessoas com deficiência (Decreto Nº 3.298/1999, alterado pelo Decreto Nº 5.296/2004). Atendendo a Resolução 466/12 CNS/MS os objetivos desta pesquisa são: Observações semanais do processo produtivo e entrevistas aos cooperados serão realizadas a fim de resgatar o histórico e o estado atual de produção levando em consideração as etapas de coleta, recebimento, triagem, processamento, estocagem e vendas. Serão realizados e analisados registros escritos, fotográficos e de documentos de controles relacionados à produção. Esperamos com este estudo construir um diagnóstico preciso da cadeia produtiva e recomendar modificações que aumentem a capacidade produtiva, a receita da cooperativa, as possibilidades de investimentos em treinamentos, equipamentos, e estabelecimento de parcerias com novos fornecedores.

Capítulo 3



10.37423/240208716

PROJETO PILOTO A PARTIR DA METODOLOGIA SEIS SIGMA E MÉTODO DMAIC PARA REDUÇÃO DE FALHAS NO SETOR DE PINTURA DE ESTALEIRO NÁUTICO

Gilberto Rodrigues Pinto Neto

Universidade Federal de Santa Catarina

Janaína Renata Garcia

Universidade Federal de Santa Catarina

Elisete Santos da Silva Zagheni

Universidade Federal de Santa Catarina



Resumo: Com o aumento da competitividade dos estaleiros náuticos, há consequentemente a necessidade dos mesmos se destacarem em relação aos concorrentes, buscando maneiras de minimizar custos e oferecer um produto de qualidade ao cliente. Verificou-se um aumento da procura por vagas nas marinas desde o último trimestre de 2017 na região de Itajaí e Balneário Camboriú, localizadas no estado de Santa Catarina. Esse fato é um sinal de retomada do mercado náutico, após passar pela crise nacional que afetou uma série de outras áreas da indústria. Assim, propôs-se desenvolver um projeto piloto baseado na aplicação da metodologia seis sigma com o auxílio do método DMAIC no setor de pintura de um estaleiro de embarcações de recreio da região de Itajaí/SC, afim de reduzir as falhas que geram retrabalho nas lanchas. Assim, o método DMAIC foi aplicado no setor de pintura do estaleiro e envolveu o encadeamento de ações planejadas e a utilização de ferramentas próprias para cada fase. Identificou-se as falhas mais recorrentes nas lanchas, além da realização de medições e análise dos dados. Por fim, implementou-se melhorias para a redução do número de falhas nas peças identificadas. A contribuição desse trabalho auxiliou o uso das ferramentas e da estrutura geral do DMAIC, introduziu novos conceitos e gerou oportunidades para novos projetos de melhoria em diferentes setores do estaleiro.

Palavras-chaves: Seis Sigma; DMAIC; melhoria contínua; retrabalho

INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, várias adaptações foram implementadas nos estaleiros náuticos brasileiros afim de favorecer o crescimento do setor e o aumento da competitividade frente aos produtos importados (MOURA; BOTTER, 2013). Considerado de grande potencial, o mercado de embarcações de recreio de Santa Catarina, Brasil, tem conseguido alcançar cada vez mais relevância no cenário nacional.

Segundo Spautz (2018), o aumento da procura por vagas nas marinas desde o último trimestre de 2017 até abril de 2018, foi de 15% na cidade de Itajaí e de 30% em Balneário Camboriú. Esse fato é um sinal de retomada do mercado náutico, após passar pela crise nacional que afetou uma série de outras áreas da indústria.

Com o crescimento do setor, há consequentemente a necessidade das empresas se destacarem diferenciando-se dos concorrentes, buscando maneiras de minimizar custos e oferecer um produto de qualidade ao cliente. Otimizar os processos dentro das empresas surge como forma de obter bons resultados e manter a competitividade.

Nos estaleiros náuticos, o principal gargalo de produção (ponto que limita a fabricação final) é o setor de retoque, onde há o retrabalho da peça, sendo casco ou convés, após a identificação das falhas. Os gargalos geram atrasos para os setores seguintes e, consequentemente, mais custos para a empresa, por isso a eliminação dos mesmos é uma necessidade para as organizações.

Atualmente existem metodologias que desenvolvem de maneira estruturada técnicas para otimizações dentro das indústrias. Uma delas é o Seis Sigma, uma estratégia gerencial quantitativa que objetiva aumentar a lucratividade das empresas por meio do aperfeiçoamento da qualidade dos produtos e processos (WERKEMA, 2004). Estruturando de forma mais detalhada, o Seis Sigma segue o método DMAIC (Define, Measure, Analyse, Improve, Control), que com o auxílio de algumas ferramentas, é definido como um ciclo de desenvolvimento (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2000).

Assim, como objetivo deste estudo, propôs-se desenvolver um projeto piloto baseado na aplicação da metodologia Seis Sigma com o auxílio do método DMAIC no setor de pintura de um estaleiro de embarcações de recreio da região de Itajaí/SC, afim de reduzir as falhas que geram retrabalho nas lanchas. Para tal, a seção 2 apresenta o referencial teórico; a seção 3 apresenta a metodologia do estudo; a seção 4 apresenta o estudo de caso e, no fechamento, a seção 5 apresentada as considerações finais.

2. METODOLOGIA SEIS SIGMA E LEAN SEIS SIGMA

O Seis Sigma é uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar drasticamente a lucratividade das empresas, por meio da melhoria da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação de clientes e consumidores (WERKEMA, 2004).

Com o objetivo de competir com os produtos estrangeiros, mais baratos e com qualidade superior, o Seis Sigma surge na empresa Motorola no ano de 1987 e posteriormente na GE (General Eletric), que também implementou o Seis Sigma nos anos 90, alcançando no ano de 2002 o patamar de 4 bilhões de dólares de economia por ano (WERKEMA, 2004; TAGHUZADEGAN, 2006). Assim, após a divulgação dos grandes lucros obtidos por essas empresas a partir da estratégia Seis Sigma, outras organizações implementaram a metodologia.

Essa métrica do desempenho Seis Sigma é acompanhada de outras métricas essenciais a partir do pensamento estatístico, como a validação de causas raízes de problemas, identificação de fontes de variações nos processos e a geração de fontes alternativas de melhorias, fazendo com que a iniciativa Seis Sigma seja empregada com sucesso nas estratégias corporativas (ROOS, 2014).

“O Seis Sigma não opera por si só, o sistema produtivo deve alcançar uma estabilidade básica através da padronização e eliminação de desperdício e de defeitos, o que envolve o estudo das operações da rotina do dia-a-dia” (RIOS, 2006, p.16).

A proposta de integração entre os conteúdos Lean e Seis Sigma foi inicialmente apresentada no livro “Lean Six Sigma: Combining Six Sigma with Lean Speed” (GEORGE, 2002). Ao mesmo tempo que o Lean Manufacturing, essencialmente, reside na redução dos desperdícios em todos os processos e no aumento da velocidade, a estratégia Seis Sigma centraliza as ações para o desenvolvimento de projetos, eliminação de defeitos, redução da variabilidade inerente ao processo e redução de custos (ANDERSON et al, 2014). Projetos que envolvem ferramentas de melhoria Lean por meio da metodologia DMAIC são reconhecidos como Projetos Lean Seis Sigma (SNEE, 2010).

2.1 A EQUIPE SEIS SIGMA

A metodologia do Seis Sigma, para funcionar corretamente, requer integração com todos os departamentos da empresa (TAGHIZADEGAN, 2006). Desse modo, é necessário o treinamento de pessoas que se transformarão em patrocinadores do programa ou em especialistas na metodologia e nas suas ferramentas (WERKEMA, 2004), apresentados no Quadro 1.

Profissional	Definição
Sponsor do Seis Sigma	É o "número um" da empresa, responsável por promover e definir as diretrizes para a implementação do Seis Sigma
Sponsor Facilitador	É um dos diretores da empresa. Esse gestor tem a responsabilidade de assessorar o <i>Sponsor</i> do Seis Sigma na implementação do programa
Champions	Gestores cuja responsabilidade é apoiar os projetos e remover possíveis barreiras para seu desenvolvimento. São diretores ou gerentes da empresa
Master Black Belts	São profissionais que assessoram os <i>Sponsors</i> e os <i>Champions</i> e atuam como mentores dos <i>Black Belts</i> e <i>Green Belts</i>
Black Belts	Lideram equipes na condução de projetos multifuncionais ou funcionais, alcançando maior visibilidade na estrutura do Seis Sigma
Green Belts	São profissionais que participam das equipes lideradas pelos <i>Black Belts</i> ou lideram equipes na condução de projetos funcionais
White Belts	São profissionais do nível operacional da empresa, treinados nos fundamentos do Seis Sigma para que possam dar suporte aos <i>Black Belts</i> e <i>Green Belts</i> na implementação dos projetos

Quadro 1 - Patrocinadores e especialistas do Seis Sigma. Fonte: Adaptado de Werkema (2004)

Segundo Roos (2014), para cada especialista é necessário um perfil próprio para a condução de projetos Seis Sigma dentro de uma empresa, seja como líder operacional ou como gerentes que atuam no nível operacional, por exemplo.

2.2 MÉTODO DMAIC

De acordo com Andrietta e Miguel (2002), um dos conceitos que se bem compreendidos e aplicados asseguram a boa performance do Seis Sigma é a utilização do método DMAIC, que significa: *Define* (Definir), *Measure* (Medir), *Analyse* (Analisar), *Improve* (Melhorar) e *Control* (Controlar). O método DMAIC seleciona um problema que foi identificado pela organização e utiliza uma série de ferramentas e técnicas de uma maneira lógica afim de entregar uma solução viável (SHANKAR, 2009). As etapas do ciclo DMAIC são mostradas no Quadro 2.

Etapas	Caracterização das etapas do ciclo DMAIC e suas principais ferramentas
Definir	Consiste em decidir os requisitos do cliente (voz do cliente). Uma ferramenta a ser utilizada nesta etapa com o intuito de registrar os passos iniciais do projeto é o Project Charter, que é um contrato consolidado entre a equipe responsável pelo projeto e os gestores da empresa (Champions e Sponsors). O principal processo envolvido no projeto é o diagrama SIPOC o qual possui um alto nível de visualização do processo. Ele não necessita mostrar nenhum ponto de decisão, apenas blocos indicando alto nível de atividades O SIPOC é composto por cinco elementos: S – <i>Suppliers</i> (Fornecedores); I – <i>Inputs</i> (Insumos); P – <i>Process</i> (Processo); O – <i>Outputs</i> (Produtos); C – <i>Customers</i> (Consumidores).
Medir	Essa etapa é caracterizada pela obtenção de informações do processo através de um sistema que produza amostras representativas e aleatórias. No entanto, antes da coleta de novos dados, é necessário identificar a forma de estratificação para o problema, que é a observação do mesmo sob diferentes aspectos. As ferramentas utilizadas na etapa “medir” incluem a árvore de amostragem (planejar a coleta de dados) e alguns indicadores como gráfico de pareto (analisar o impacto das várias partes do problema e identificar os problemas prioritários) e histogramas. Além disso, para descrição das principais atividades e tarefas, assim como as variáveis, parâmetros e especificações de cada etapa do processo, é utilizado o Mapa de Processo.
Analisar	Nessa etapa é realizada a análise de dados coletados através de ferramentas da qualidade e ferramentas estatísticas. Uma ferramenta essencial na fase “analisar” é o diagrama de Causa-Efeito (Ishikawa), também conhecido como “Espinha de Peixe”, usado para auxiliar na determinação de hipóteses da causa raiz e os possíveis agentes para um efeito específico.

Melhorar	É resumida em desenvolver ideias para remover as causas raízes, testar soluções, padronizá-las, e medir o novo desempenho junto das melhorias. A ferramenta 5W2H é empregada nessa etapa, que consiste em uma série de perguntas direcionadas ao processo produtivo e permite identificar as rotinas mais importantes, detectando seus problemas e apontando soluções como 5W2H: What? O que? Who? Quem? When? Quando? Where? Onde? Why? Por que? How? Como? How much? – Quanto custará?
Controlar	Nessa fase, deve se estabelecer e validar um sistema de medição e controle para aferir continuamente o processo de modo a garantir que a sua capacidade seja mantida. Uma série de atividades devem ser seguidas nessa fase, como padronizar as alterações realizadas no processo, implementando procedimentos padrões e Poka-Yoke (sistemas à prova de erros), se necessário, transmitir os novos padrões aos envolvidos através de manuais ou reuniões e definir, por fim, planos de monitoramento da performance do processo, com planos de coleta de dados ou relatórios periódicos.

Quadro 2 - Caracterização das etapas do ciclo DMAIC. Fonte: Roos (2014); Carvalho e Paladini (2012); Shankar (2009); Taghizadegan (2006); Werkema (2004); Pande, Neuman e Cavanagh (2000).

3. METODOLOGIA DO ESTUDO

Esse trabalho classifica-se do ponto de vista de sua natureza como uma pesquisa aplicada, com abordagem qualitativa, do tipo exploratória e descritiva. Do ponto de vista quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa se classifica como um estudo de caso.

Para a elaboração desse estudo, foi inicialmente realizada uma pesquisa bibliográfica a partir de livros e artigos sobre metodologia Seis Sigma e o Método DMAIC, tendo em vista a obtenção de conhecimento sobre essas temáticas. Paralelamente à revisão bibliográfica, houve a aplicação do chamado projeto *Lean* Seis Sigma – DMAIC no estaleiro, no qual foram realizados o estudo de caso bem como o projeto piloto. O engenheiro responsável para a condução do projeto possui a certificação *Green Belt*.

O método utilizado nesse projeto *Lean* Seis Sigma - DMAIC de melhoria segue a sequência estruturada do método DMAIC, que envolve o encadeamento de ações planejadas e a utilização de ferramentas próprias para cada fase.

O estudo não visa encontrar a solução para todos os tipos de falhas que aparecem no setor de retoque, mas conhecer as falhas mais recorrentes durante a fase “medir”, assim como quais lanchas são produzidas em maior escala, tornando-se um estudo restrito.

3.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA E O OBJETO DE ESTUDO

A empresa Alfa (nome fictício), estaleiro de embarcações de recreio, é considerada a maior fabricante da América do Sul em unidades produzidas. Localizada em Itajaí/SC, são fabricados barcos de 16 a 42 pés (1 pé equivale a 0,3048 metros), em uma área de 6700m², com mais de 15 mil barcos produzidos.

A empresa constrói embarcações em dois segmentos: a linha *Focker* (barcos de 16 a 33 pés) e a linha *Yacht* (único com 42 pés de comprimento).

Desse modo, o projeto é iniciado com análise de todos os modelos da linha *Focker*, a qual gerou um banco de dados preliminar com 12 lanchas. A partir do estudo da árvore de amostragem, observou-se que apenas o modelo FK210 apresentou um volume de amostras suficiente no período de coleta de dados. Logo, estabeleceu-se esse modelo como o objeto de estudo desse trabalho, evitando, portanto, a aleatoriedade estatística devido a carência de informações e garantindo um comportamento constante das falhas nas regiões críticas.

O período restrito de levantamento de dados no estaleiro não possibilitou o estudo de todos os tipos de defeitos identificados nas lanchas. Logo, como o enfoque está em um modelo para estudo, o diagrama de pareto auxiliou a direcionar a pesquisa para um tipo de falha: o gel com espessura fina (gel fino), com 23,35% de todas as falhas analisadas.

Foi observado que as falhas do setor de pintura surgem em regiões de geometria complexa e com descontinuidade, como curvas e quinas. Tais geometrias são mais evidentes no convés que no casco, gerando conseqüentemente mais propensão de surgimento de falhas nessas peças. Portanto, como forma de evidenciar inicialmente regiões mais predispostas às falhas, o atual estudo se baseia apenas na região do convés do modelo FK210.

O intuito do projeto piloto é mostrar a metodologia aplicada em um objeto de estudo específico, no caso o gel com espessura fina no convés da FK210.

4. ESTUDO DE CASO

Nessa seção são apresentadas as etapas do método DMAIC aplicadas no setor de pintura do estaleiro. Os objetivos partem da identificação das falhas mais recorrentes nas lanchas, seguido das medições e análise dos dados, implementando por fim melhorias para a redução do número de falhas nas peças. Assim, o estudo de caso trata de todas as lanchas nas fases iniciais, restringindo-se na sequência do projeto à redução exclusiva da falha do gel com espessura fina no convés do modelo FK210.

4.1 ETAPA “DEFINIR”

A etapa “definir” é a primeira fase do projeto e é de grande importância na definição do seu escopo. Dessa forma, apresenta-se o Project Charter, com a finalidade de mostrar os objetivos, assim como os

indicadores, restrições e responsáveis do projeto, além do diagrama SIPOC, conforme mostra a Figura 1.

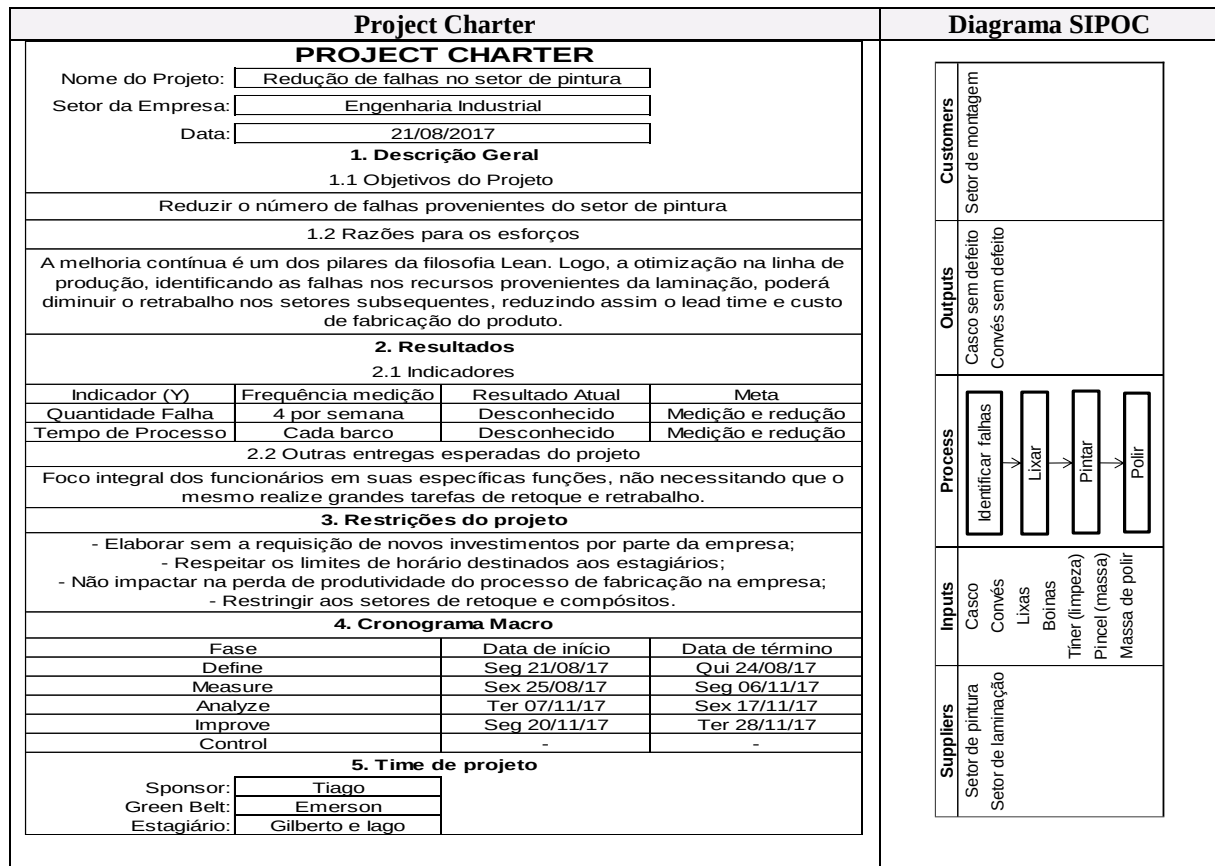


Figura 1 - Project Charter e diagrama SIPOC Fonte: Os autores (2018)

O propósito básico do SIPOC é certificar que o processo seja esclarecido para todos os envolvidos no projeto, por isso não há um detalhamento maior como no mapa de processos da etapa “medir”, que traz outras finalidades.

4.2 ETAPA “MEDIR”

Nessa fase ocorre a coleta de dados de maneira passiva, apenas com o intuito de reunir informações. As ferramentas apresentadas nessa seção constituem-se no mapa de processo, a árvore de amostragem e o plano de coleta de dados, seguidas da exposição dos dados obtidos.

O mapa de processos é baseado inicialmente no diagrama SIPOC, com detalhamento sobre o processo, identificando processos padrões, parâmetros controláveis, ruídos e outras características aprofundadas do processo. Com base nesse processo (mapa de processo), é possível elaborar uma árvore de amostragem coerente com o objeto de estudo. A definição do tamanho de amostras foi realizada por meio de questionamentos com os envolvidos no setor do retoque sobre a frequência

média com que as falhas se repetem, afim de definir uma quantidade de lanchas que contenha um comportamento constante das falhas em regiões específicas, evitando a aleatoriedade estatística das mesmas com barcos do mesmo modelo. Assim, definiu-se como 10 lanchas o número mínimo da amostra que irá caracterizar o estudo com a variação mínima de efeitos aleatórios.

A Figura 2 mostra o mapa de processo bem como a árvore de amostragem de um modelo não especificado, demonstrando a subdivisão casco e convés, ramificando nas amostras. Cada amostra contém uma série de medições, abordando as características das falhas no setor e tempo da peça no centro de trabalho (CT).

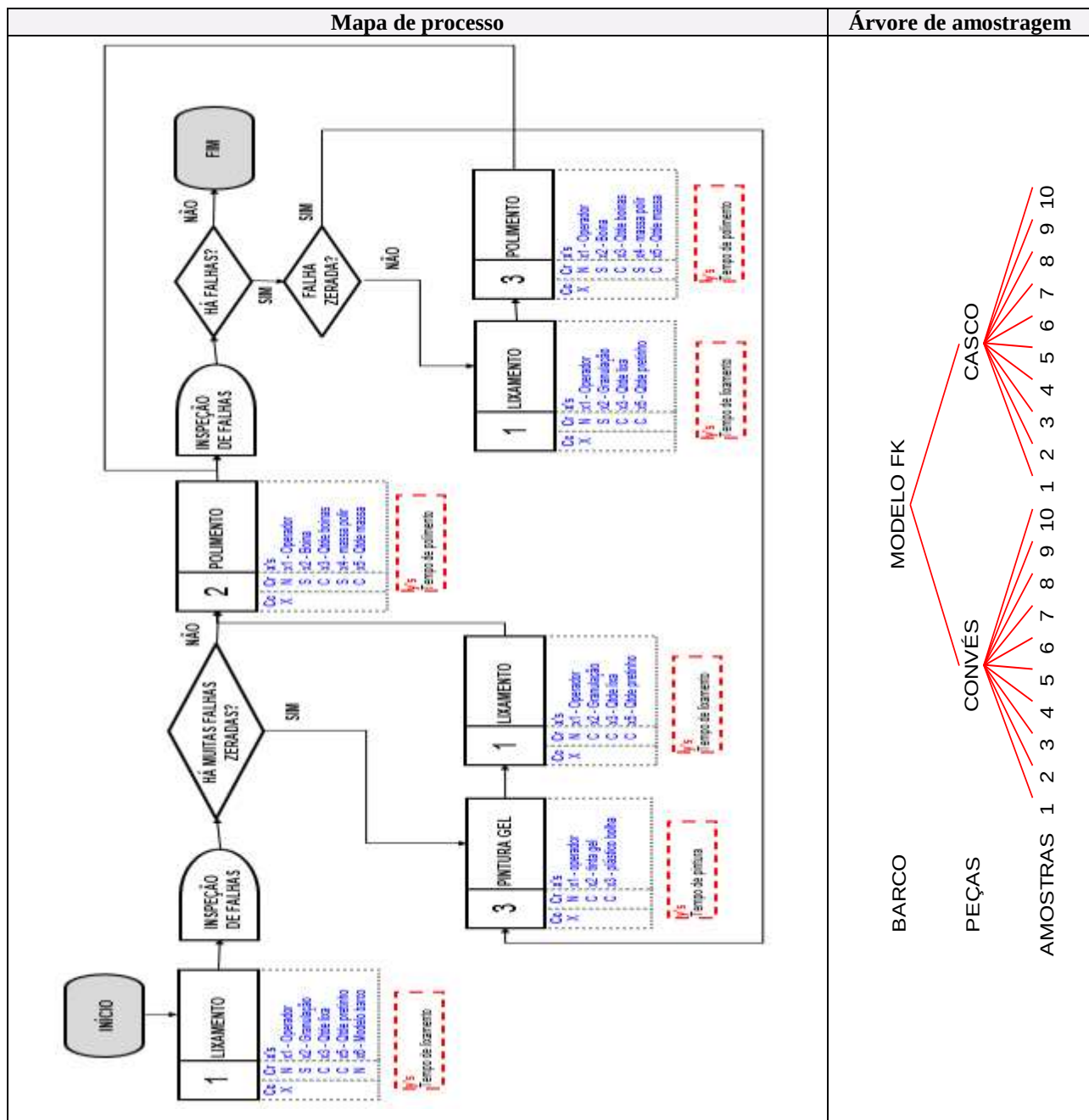


Figura 2 - Mapa de processos e árvore de amostragem. Fonte: Os autores (2018)

Com o intuito de conhecer o objeto de estudo e seu comportamento dentro do processo, é necessária a elaboração de uma planilha de coleta de dados, a qual diz respeito a obtenção das seguintes informações: modelo do barco, número de série, data e hora de início e de fim, tempo em *hora x homem* total, quantidade, tipo e local das falhas.

Para a identificar o local das falhas foi necessário criar uma subdivisão para casco e convés, usando como exemplo ilustrado a lancha FK160.

A coleta de dados foi iniciada e observou-se uma certa tendência de falhas em regiões específicas das peças sem análise de gráficos ou dados numéricos prévios. Foi possível identificar que apenas um modelo de lancha atingiu o número mínimo de amostras: o FK210, de 21 pés, com 16 amostras. Verificou-se que houve mais facilidade dos operadores em identificar falhas nos conveses que nos cascos, devido principalmente em se tratar de regiões com mais curvas e ressaltos. Por esse motivo, o presente estudo explana apenas a região do convés, possibilitando a obtenção de resultados mais fiéis. As divisões e subdivisões de casco e convés são mostradas na Figura 3.

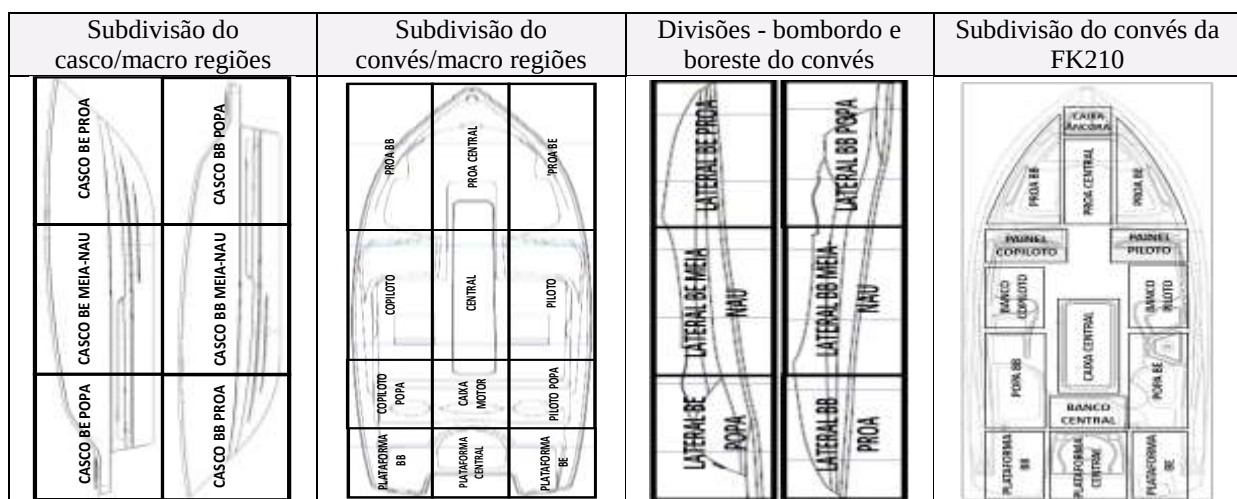


Figura 3- Divisões e subdivisões de casco e convés. Fonte: Os autores (2018)

Uma vez filtrado o barco e a região, criou-se diagrama de pareto das falhas, conforme Figura 4. Assim, gel com espessura fina aparece em primeiro lugar nas falhas mais recorrentes na FK210, com 23,35% de todas as falhas nesse mesmo modelo.



Figura 4 - Diagrama de pareto das falhas predominantes no convés da FK210. Fonte: Os autores (2018)

4.3 ETAPA “ANALISAR”

Na etapa “analisar” realizou-se o levantamento das regiões mais afetadas pela falha de gel com espessura fina do convés da FK210, além de identificar oportunidades de melhorias, com o auxílio da ferramenta diagrama de causa e efeito, conforme Figura 5. A partir da amostragem, apenas seis regiões foram consideradas: caixa central, lateral bombordo proa, lateral bombordo meia-nau, proa bombordo, banco central e caixa de âncora.

O diagrama causa e efeito foi composto pelos 6M’s para listagem das causas: mão de obra, meio-ambiente, método, medida matéria prima e máquina. Ocorreu um *brainstorming* sobre as possíveis causas do gel com espessura fina, listando-se possíveis influências.

Para cada item validado como causa do problema é proposta uma solução por meio de um Plano de Ação, apresentado na penúltima fase do DMAIC, a etapa “melhorar”.

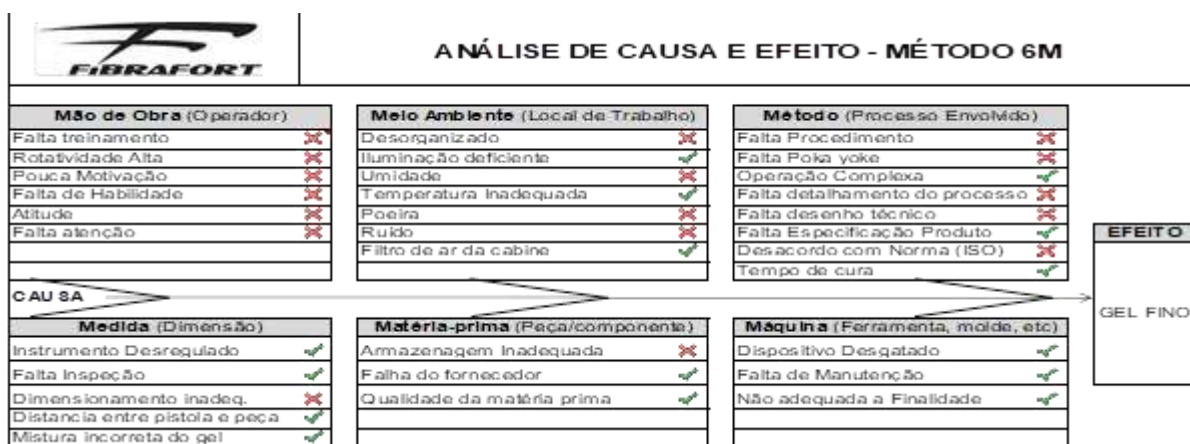


Figura 5 - Diagrama de causa-efeito (método 6M). Fonte: Os autores (2018)

4.4 ETAPA “MELHORAR”

Uma vez que o problema foi identificado, medido e analisado, encontrando suas causas raízes, possíveis soluções podem ser geradas para resolver esse problema. Nessa etapa do DMAIC, o Plano de Ação, mostrado na Figura 6, irá definir e nortear as ações a serem tomadas, tornando mais controláveis as tarefas até chegar no resultado esperado: a eliminação das causas dos problemas.

		PLANO DE AÇÃO (5W1H)			
OBJETIVO		REDUZIR A QUANTIDADE DE FALHAS DE GEL FINO CONVÉS 210			
Nº	JUSTIFICATIVA (Por que fazer) WHY?	ATIVIDADE (O que fazer) WHAT?	RECURSO (Onde / Como) WHERE / HOW?	RESPONSÁVEL (Quem) WHO?	PRAZO (Quando) WHEN?
1	Conhecer o funcionamento do processo de pintura	Acompanhar a pintura gel de um convés	Inspeção visual	Gilberto / Iago	nov/17
2	A iluminação é adequada para a realização da tarefa?	Verificar se a iluminação é deficiente nos pontos críticos	Inspeção visual	Gilberto / Iago	nov/17
3	A temperatura do gel está adequada para o ambiente atual?	Verificar se o gel de inverno/verão está adequado ao ambiente atual	Questionando os responsáveis	Gilberto / Iago	nov/17
4	O filtro de ar da cabine está regulado?	Verificar se a manutenção do filtro de ar está em dia	Questionando os responsáveis	Gilberto / Iago	nov/17
5	Todas as falhas de gel fino identificadas na linha de produção, são realmente gel fino?	Verificar no molde as regiões críticas de gel fino se há falhas de molde	Inspeção visual	Gilberto / Iago	nov/17
6	O tempo de cura do gel está sendo suficiente para garantir sua integridade, mesmo submetido aos esforços da espátula?	Aplicar o "teste do polegar" na região central	Aplicando o polegar imediatamente antes da utilização da espátula	Gilberto / Iago	nov/17
7	O tempo de cura do gel está sendo suficiente para garantir sua integridade, mesmo submetido aos esforços da espátula?	Acompanhar o procedimento de aplicar a espátula na região central e verificar se há algum esforço desnecessário	Inspeção visual	Gilberto / Iago	nov/17
8	O pente está desgastado / sujo? o mesmo é limpo corretamente após cada inspeção?	Verificar se o pente está desgastado / sujo	Inspeção visual	Gilberto / Iago	nov/17
9	Existem pontos fixos para realização da medição (inspeção com o pente)?	Definir pontos obrigatórios de inspeção na pintura gel	Após a pintura/laminação, marcar os pontos onde continuaram com gel fino	Gilberto / Iago	nov/17
10	Há regiões que mesmo com a espessura mínima especificada, ocorre gel fino?	Verificar a necessidade de aplicação de uma camada mais espessa em certas regiões	Inspeção visual	Gilberto / Iago	nov/17

Figura 6 - Plano de ação (5W1H). Fonte: O autor (2018)

Algumas ações servem exclusivamente para a obtenção de conhecimento aprofundado sobre o processo e outras são ações imediatas que foram implementadas na linha de produção.

4.5 ETAPA "CONTROLAR"

Afim de controlar o processo, uma das medidas tomadas foi a criação de uma folha de inspeção de espessura de gel, inicialmente implementado nos convéses dos modelos FK210, conforme mostra a Figura 7.

Os benefícios das melhorias foram observados desde o início de suas implementações, e a geração da folha de inspeção de gel auxiliou os operadores a encontrarem com maior facilidade as regiões críticas por meio da visualização das flechas apontadas no desenho do convés. O modelo de plano de ação segue como documento padrão para outros projetos de melhorias dentro da empresa.

INSPEÇÃO DE ESPESSURA DE GEL CONVÉS FK 210			
MODELO:		Nº DE SÉRIE:	
DATA:		INSPECTOR QUAL.:	
SAÍDA PARA LAMINAÇÃO ↑ ESPESSURA DO GEL: 800µm ESPESSURA DO GEL: 800µm ESPESSURA DO GEL: 700µm ESPESSURA DO GEL: 800µm ESPESSURA DO GEL: 800µm ESPESSURA DO GEL: 800µm ESPESSURA DO GEL: 800µm ESPESSURA DO GEL: 700µm ESPESSURA DO GEL: 800µm ENTRADA PARA PINTURA ↑ CABINE DE CONTROLE DO GEL COAT			
OBSERVAÇÃO: O DESENHO REFERE-SE AO MOLDE (NÃO HÁ NECESSIDADE DE INVERTER AS POSIÇÕES BORESTE E BOMBORDO DA PEÇA)			

Figura 7 - Inspeção de espessura de gel convés FK210. Fonte: Os autores (2018).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho baseou-se na criação de um projeto piloto através da aplicação da metodologia Seis Sigma, que tem como foco a eliminação de desperdícios e defeitos, e o método DMAIC, que é um sequenciamento estruturado de etapas que auxiliam identificação e solução de problemas.

O objetivo desse estudo foi desenvolver um projeto piloto baseado na aplicação da metodologia Seis Sigma com o auxílio do método DMAIC no setor de pintura de um estaleiro de embarcações de recreio da região de Itajaí/SC, afim de reduzir as falhas que geram retrabalho nas lanchas. Esse objeto foi restringido às falhas de gel com espessura fina do convés do modelo FK210, após analisada as situações mais críticas do setor. Dessa forma, através das etapas do DMAIC, foi possível conhecer e analisar o processo à ponto de gerar soluções de melhorias. No caso das falhas de gel fino, o problema raiz encontrado foi a falta de inspeção focalizada nas regiões críticas (e não apenas em seções longitudinais).

As melhorias foram implementadas e criou-se a folha de inspeção de espessura de gel da FK210, afim de controlar o processo e evitar que haja espessuras menores (ou maiores).

Portanto, com a diminuição das falhas no setor de pintura, haverá menos retrabalho e desperdícios de tempo no setor de retoque, diminuindo consequentemente o *leadtime* da lancha bem como seu custo, aumentando a competitividade sobre os concorrentes.

Diante do projeto piloto, as recomendações para trabalho futuro dentro da empresa é voltar a aplicação do DMAIC, mensurando e analisando os dados atuais afim de identificar novas causas de problemas ou regiões nas quais não foram definidas como críticas em uma primeira análise. A sequência do projeto de melhoria no setor de retoque é a expansão para outros modelos de lanchas, assim como a identificação das causas para diferentes tipos de falhas como trinca, falha de molde e bolha, que junto com o gel fino abrangem, segundo o presente trabalho, 69% de todas as falhas (baseado no convés do modelo de 21 pés).

REFERÊNCIAS

- ANDERSSON, R. et al. Lean six sigma strategy in telecom manufacturing. *Industrial Management & Data Systems*. v. 114, n. 6, p. 904-921, 2014
- ANDRIETTA, J. M.; MIGUEL, P. A. C. A importância do Método Seis Sigma na Gestão da Qualidade Analisada sob uma Abordagem Teórica. *Revista de Ciência & Tecnologia*, v. 11, n. 20, p. 91-98. 2002.
- CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. *Gestão da Qualidade: teoria e casos*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- GEORGE, M. L. *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed*. NY: McGraw-Hill, 2002.
- MOURA, D. A.; BOTTER, R. C. Uma visão geral do segmento da construção náutica, turismo e lazer no Brasil. In: XXII CONGRESSO PAN. DE INGENIERÍA NAVAL, TRANSPORTE MARÍTIMO E INGENIERÍA PORTUÁRIA. 20 p. Anais. Buenos Aires, IPIN, sep. 27-30, 2011.
- PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. *The six sigma way: how GE, Motorola, and other top companies are honing their performance*. New York: McGraw- Hill, 2000.
- RIOS, L. V. Um modelo de referência para melhoria de processos industriais usando conceitos seis sigma. Dissertação Mestrado em Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Florianópolis, SC, UFSC, 2006.
- ROOS, C. Modelo para seleção de projetos Seis Sigma. Tese Doutorado em Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de produção. Florianópolis, SC, UFSC, 2014.
- SHANKAR, R. *Process Improvement Using Six Sigma: A DMAIC Guide*. Milwaukee: Asq Quality Press, 2009.
- SNEE, R. D. Lean six sigma: getting better all the time. *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 1, n.1, p.9-29, 2010.
- SPAUTZ, D. Economia aquece setor náutico e aumenta procura por vagas em marinas. Disponível em: <<https://www.nsctotal.com.br/colunistas/>>. Acesso em: 17/05/2018.
- TAGHIZADEGAN, S. *Essentials of Lean Six Sigma*. Burlington: Elsevier, 2006.
- WERKEMA, C. *Criando a cultura Seis Sigma*. Nova Lima: Werkema, 2004.

Capítulo 4



10.37423/240308747

COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO REFORÇADOS COM NANOPARTÍCULAS DE ALUMINA E FIBRAS CURTAS DE CARBONO

João Lucas Alexandre Nunes Galvão Ferreira

*Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Instituto Politécnico*

Marisa Cristina Guimarães Rocha

*Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Instituto Politécnico*



Resumo: *Nesse trabalho, materiais compósitos à base de polipropileno (PP) carregados com nanopartículas de alumina (Al_2O_3) e reforçados com fibras de carbono curtas (FC), foram desenvolvidos, visando a obtenção de materiais leves, com alta rigidez, resistência mecânica e estabilidade térmica, passíveis de serem processados em equipamentos comumente usados nas indústrias de polímeros e automotiva. Com essa finalidade, polipropileno foi processado com alumina, em teores definidos através de metodologia de superfície de resposta inserida no software Minitab, de forma a se avaliar o efeito da incorporação de alumina e do polipropileno graftizado com anidrido maleico (PP-g-AM) usado como compatibilizante em algumas amostras. Os compósitos que apresentaram as melhores propriedades mecânicas, no caso, compósitos híbridos PP/PP-g-AM/ Al_2O_3 foram usados como matriz e preparados utilizando teor de alumina de 6% m/m e teores de fibras de carbono variáveis, entre 10% m/m e 15% m/m. As propriedades dos materiais obtidos foram avaliadas através de diversas técnicas de caracterização como: ensaios mecânicos em tração, termogravimetria (TGA), calorimetria diferencial exploratória (DSC) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). No presente artigo serão apresentados os resultados do ensaio mecânico em tração. Foi obtido nesse trabalho materiais à base de polipropileno com rigidez e resistência mecânica superiores as apresentadas pelo polipropileno.*

Palavras-chaves: *Polipropileno, Compósitos híbridos, Fibras de carbono, Superfície de resposta, Alumina.*

1. INTRODUÇÃO

Compósitos são materiais que possuem dois ou mais constituintes quimicamente diferentes e que em escala macroscópica possuem uma interface bem definida. Em geral, esses materiais possuem propriedades melhores que seus elementos constituintes (Marinucci, 2011). As propriedades desses materiais são função das propriedades das fases constituintes, suas concentrações relativas e forma, tamanho, distribuição e orientação das partículas na fase dispersa (Callister, 2002).

Recentemente, tem havido um crescente uso de compósitos termoplásticos poliméricos na indústria automotiva, pois tornam os carros mais leves e promovem maior eficiência energética no uso do combustível (Arao et al., 2013). O custo, bem como a resistência desses materiais dependem do processo de fabricação. Apesar de seu alto desempenho mecânico, as fibras contínuas não podem ser processadas através de moldagem por injeção, o que dificulta a produção em massa desses compósitos (Arao et al., 2013). Em consequência, há uma tendência crescente de utilização de fibras curtas como elementos de reforço em matrizes termoplásticas, devido à alta produtividade obtida através do processo de moldagem por injeção e à reciclabilidade. No entanto, esses materiais apresentam baixa rigidez e resistência, mesmo quando são utilizadas fibras de alta resistência, como as fibras de carbono. A resistência desses materiais é função do comprimento e teor das fibras, bem como da resistência ao cisalhamento interfacial, que é muito baixa entre as fibras de polipropileno e carbono. O uso de baixos níveis de compatibilizantes, como o polipropileno graftizado com anidrido maleico, pode melhorar a adesão interfacial entre o polímero e as fibras (Arao et al., 2013).

Os nanocompósitos apresentam propriedades térmicas e mecânicas superiores às apresentadas pelos compósitos tradicionais com baixo teor de nanopartículas, geralmente inferior a 5%. A adição de nanopartículas a compósitos preenchidos com matrizes termoplásticas reforçadas com fibras é uma alternativa interessante para obter propriedades superiores sem alterar as condições de processamento, desde que haja uma boa distribuição e dispersão das nanopartículas entre as fibras. Além de melhorar as propriedades da matriz, as nanopartículas também afetam a adesão interfacial entre a carga e a matriz. Há relatos na literatura indicando que a incorporação de nanocargas melhora algumas propriedades de compósitos termoplásticos reforçados com fibras curtas (Arao et al., 2013). A incorporação de nanopartículas de alumina ao termoplástico é uma estratégia utilizada para melhorar suas propriedades.

A alumina é uma cerâmica estrutural amplamente utilizada na indústria de materiais, devido ao seu baixo custo e propriedades, tais como: alta dureza e inércia química, excelentes propriedades

dielétricas, resistência ao ataque de ácidos e bases em altas temperaturas, propriedades de isolamento elétrico e térmico, alta rigidez e resistência à fratura. É amplamente utilizado em aplicações que incluem implantes, peças com resistência à abrasão e em diversos tipos de revestimentos (Zhang et al., 2012; Agrawal et al., 2015).

A técnica de desing de experimentos de mistura (do inglês – Design of Experiments - DOE) fornece um meio eficiente de determinar a formulação ideal de uma mistura específica. A resposta medida depende apenas das proporções relativas dos componentes na mistura (Burlein, 2010; Barros et al., 2007; Coscione et al., 2005; Macedo, 2007). O objetivo deste trabalho é desenvolver compósitos híbridos de polipropileno reforçado por nanopartículas de alumina e fibras curtas de carbono.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Polipropileno (PP, H503), MFI = 3,5 g/10 min – ASTM D1238 foi fornecido pela Braskem SA.

O polipropileno graftizado com anidrido maleico (PP-g-MA, Polybond 3200), MFI = 115 g/10 min– ASTM D 1238, a 190°C foi obtido da Chemtura Industria Química do Brasil.

A alumina calcinada (Al₂O₃) em escala nanométrica (13 nm) foi fornecida pela Sigma- Aldrich.

As fibras curtas de carbono oriundas da Toho Tenax America sob o nome de Tenax®-A/J HT C804, com comprimento médio de 6 mm, diâmetro (D) de 7 µm, massa específica de 1,8 g/cm³ foram gentilmente doadas pela Parabor.

O antioxidante Irganox 1010 FF foi fornecido pela BASF.

O composto de estearato de cálcio, Atmer SA 1753, fornecido pela empresa Ciba Especialidades Químicas Ltda, foi utilizado como lubrificante no processamento em extrusora monorosca.

2.2 METODOLOGIA

Planejamento experimental de misturas. O modelamento de misturas consiste em ajustar um modelo matemático polinomial a uma superfície de resposta que foi obtida segundo um planejamento experimental específico, conhecido como planejamento estatístico de misturas. O teor de cada componente da mistura pode variar entre zero (0) e um (1), e a soma de todos os componentes é igual a um. A região experimental de uma mistura constituída por três componentes é um triângulo definido pelas coordenadas (0, 0, 1), (0, 1, 0) e (1, 0, 0). Os vértices do triângulo correspondem a cada um dos

três constituintes da mistura. Os lados do triângulo correspondem às misturas binárias. Os pontos situados no interior do triângulo representam as misturas ternárias (Burlein, 2010; Barros et al., 2007; Coscione et al., 2005; Macedo, 2007). Neste trabalho, o software Minitab 19 foi utilizado para o planejamento experimental das misturas. Este software também foi usado para descrever o comportamento mecânico de tração das amostras. Polipropileno, alumina e PP-g-AM foram representados pelas variáveis de entrada designadas como PP, alumina e PP-g-AM, respectivamente. Os componentes da mistura foram submetidos às seguintes restrições: $0,88 \leq PP \leq 1,0$, $0 \leq \text{alumina} \leq 0,06$ e $0 \leq PP\text{-g-AM} \leq 0,06$. A Fig. 1 mostra a região de interesse do projeto. Os círculos representam 9 misturas PP/PP-g-AM/ Al_2O_3 , que devem ser preparadas para dar uma superfície de resposta adequada usando uma equação polinomial de grau n.

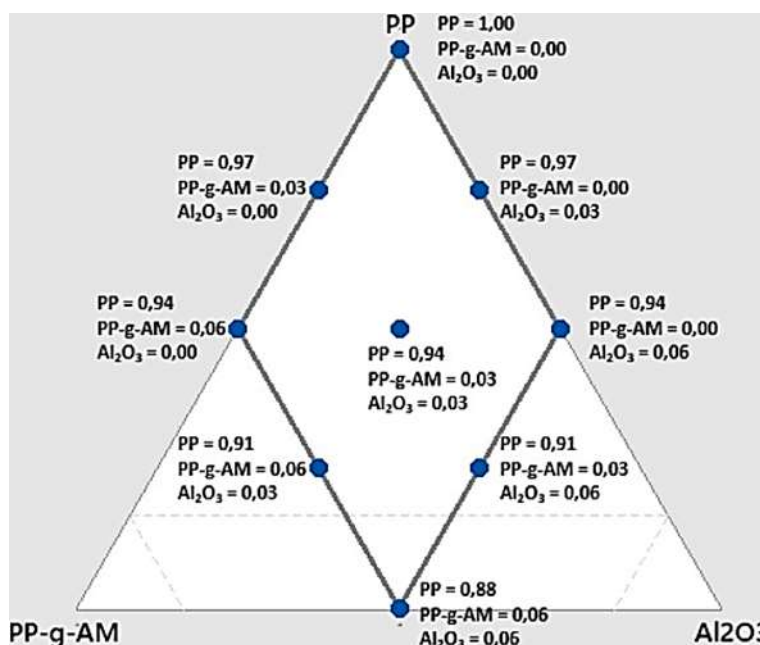


Figura 1 – Planejamento de experimentos vértices extremos.

A Tabela 1 apresenta a composição das misturas definidas pelo software Minitab.

Tabela 1 – Composição dos compósitos PP/PP-g-AM/ Al_2O_3

Código da mistura	PP (%)	PP-g-AM (%)	Al_2O_3 (%)
# 1	100	0	0
# 2	88	6	6
# 3	94	0	6
# 4	94	6	0
# 5	97	0	3
# 6	97	3	0
# 7	91	6	3
# 8	91	3	6
# 9	94	3	3

Preparação dos compósitos PP/PP-g-AM/Al₂O₃. Um concentrado de polipropileno carregado com 8% de alumina foi preparado em extrusora monorosca AX Plástico, modelo 30:32 com diâmetro de 30 mm e razão comprimento (L)/diâmetro (D) = 32. O concentrado foi aditivado com o antioxidante (1% m/m do concentrado) e com o agente lubrificante (0,5% m/m do concentrado). O perfil de temperatura adotado da alimentação da extrusora até a matriz foi de 180/200/200/200/200°C. A velocidade da extrusora foi de 35 rpm. O material extrudado na monorosca foi colocado em estufa a 60°C e posteriormente processado e diluído em extrusora de rosca dupla co-rotatória Leistritz, modelo ZSE18MAXX-40D, com velocidade de rotação de 500 rpm, taxa de alimentação de 5 kg/h e perfil de temperatura de 200/210/190/190/190/190/200/220/220/230°C. Essa diluição foi feita para atingir a proporção de componentes do planejamento de misturas (Tabela 1).

Determinação das propriedades mecânicas em tração. As propriedades de tração foram determinadas usando uma máquina de teste universal Shimadzu, modelo AG-X Plus com uma célula de carga de 5 kN. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM D 638, utilizando as dimensões do corpo de prova Tipo I. A velocidade da travessa móvel de 20 mm/min foi usada em todas as determinações. Os corpos de prova para os ensaios mecânicos foram obtidos por moldagem por injeção. A injetora utilizada foi a Arburg (IMA/UFRJ), modelo Allrounder 270 S. As seguintes condições de injeção foram usadas: perfil de temperatura – 160/175/185/195/205°C; pressão de injeção – 1200 bar; volume de comutação – 3 cm³; velocidade de injeção – 15 cm³/s; tempo de resfriamento do molde – 30 s; pressão de descarga de 600 bar e tempo de descarga de 2 s. Dez corpos de prova para cada amostra foram usados para obter os dados mecânicos. O módulo de elasticidade foi determinado através do método da secante aplicado no ponto de 2% de deformação.

3. RESULTADOS

3.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS EM TRAÇÃO DO COMPÓSITOS PP/PP-G-AM/AL₂O₃

As propriedades mecânicas em tração do polipropileno e dos compósitos de **PP/PP-g-AM/Al₂O₃** foram determinadas. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para o módulo de elasticidade, resistência à tração e tenacidade.

Tabela 2 – Propriedades em tração do polipropileno e dos compósitos PP/PP-g-AM/Al₂O₃

Código da mistura - (PP/PP-g-AM/Al ₂ O ₃) (%)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Resistência à Tração (MPa)	Tenacidade (MJ/m ³)
# 1 – (100/0/0)	881 ± 39	33,9 ± 0,3	14 ± 0,5
# 2 – (88/6/6)	961 ± 69	35,7 ± 0,3	17 ± 3,1
# 3 – (94/0/6)	867 ± 69	32,7 ± 0,7	38 ± 8,9
# 4 – (94/6/0)	870 ± 28	34,2 ± 0,4	16 ± 1,5
# 5 – (97/0/3)	830 ± 63	33,1 ± 1,2	29 ± 5,8
# 6 – (97/3/0)	972 ± 49	35,3 ± 0,4	13 ± 1,1
# 7 – (91/6/3)	983 ± 16	35,2 ± 0,2	18 ± 0,5
# 8 – (91/3/6)	1254 ± 109	35,2 ± 0,1	19 ± 1,2
# 9 – (94/3/3)	1026 ± 80	35,1 ± 0,4	17 ± 1,2

Os resultados mostram que o módulo de elasticidade aumenta somente com a incorporação conjunta de alumina e anidrido maleico, sendo esse efeito mais evidente quando o teor de PP-g-AM incorporado ao compósito PP/Al₂O₃ foi de 3% (amostras #8 (91/3/6)% e #9 (94/3/3)%). A alumina é uma carga mineral rígida que restringe a mobilidade das cadeias poliméricas e ao ser adicionada em conjunto com o compatibilizante, promoveu esse aumento. Este resultado foi encontrado em outros trabalhos (Akil et al., 2006; Li; Li; Xie, 2017; Pedrazzoli et al., 2014a, 2014b; Shuai et al., 2001; Silva et al., 2012; Streller et al., 2008; Zhao; Li, 2005).

Quando a alumina foi adicionada de forma isolada ao polipropileno, sem a presença do agente compatibilizante (amostras #3 (94/0/6)% e #5 (97/0/3)%), não houve aumento do módulo de elasticidade. Esse resultado confirma a importância da adição do anidrido maleico para se obter propriedades desejáveis dos compósitos PP/Al₂O₃.

É fato reconhecido que o módulo de elasticidade dos compósitos poliméricos carregados com carga particulada é função da área da superfície de contato entre a carga e a matriz (Eiras; Pessan, 2009). Os resultados indicam, supondo que houve a incorporação da alumina nos teores desejados, que houve aglomeração da alumina, reduzindo de forma significativa a área de contato entre o polipropileno e as partículas de alumina.

Os resultados obtidos também mostram que existe um efeito sinérgico no módulo de elasticidade, quando PP-g-AM é incorporado à matriz de polipropileno. Esse efeito se tornou mais evidente na amostra #8, PP/PP-g-AM/Al₂O₃ (91/3/6)%, que apresentou um aumento de 42% no módulo de elasticidade. Como o módulo não depende das interações interfaciais entre a carga e o polímero, se

pode presumir que o anidrido maleico promove a dispersão das partículas de alumina proporcionando um aumento da área da superfície de contato entre o polipropileno e a alumina.

A Fig. 2 mostra a superfície de resposta derivada do desenho estatístico realizado para avaliar o efeito da variação na composição dos compósitos sobre o módulo de elasticidade.

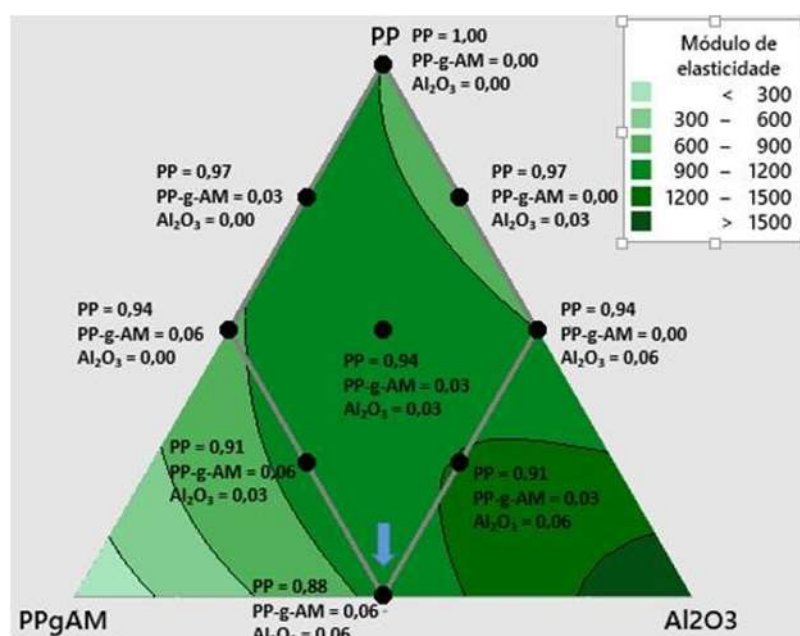


Figura 2 – Ilustração da superfície de resposta para o módulo de elasticidade (Minitab - opção proporção de componentes).

É possível observar que valores mais altos de módulo de elasticidade são obtidos pelas misturas ternárias (PP/PP-g-AM/ Al_2O_3), ou seja, quando o agente compatibilizante é incorporado aos compósitos PP/ Al_2O_3 . De acordo com a Fig. 2, para a mesma proporção de alumina (6%), o módulo de elasticidade é alto, tanto para a composição formulada com 3% de anidrido maleico quanto para a formulada com o teor de 6% de compatibilizante. Porém, com 3% de anidrido maleico se obtém o valor de módulo de elasticidade mais elevado. Sendo assim, optou-se por selecionar a amostra com o menor teor de anidrido maleico para a continuidade dos estudos visando uma redução de custos e a obtenção de valores mais altos de módulo.

Existe uma concentração ótima de anidrido maleico para que o módulo tenha um valor mais alto. Ao analisar a coordenada do ponto marcado com a seta azul, correspondente a composição PP/PP-g-AM/ Al_2O_3 (88/6/6)% é possível observar que o deslocamento desse ponto na base para esquerda há uma tendência de o módulo diminuir e para a direita desse ponto, há uma tendência de um aumento do módulo com o aumento do teor de alumina. Este gráfico também demonstra que a incorporação

do PP-g-AM é fundamental para a obtenção de compósitos PP/Al₂O₃ com valores de módulo mais elevados.

Analisando novamente a Tabela 2, é possível observar que a incorporação de alumina na concentração de 6% (amostra #3 – (94/0/6)%) promoveu um decréscimo da resistência à tração. Tendência ao decréscimo da resistência à tração foi também observado ao se adicionar 3% (amostra #5 – (97/0/3)%) de alumina ao PP. Resultados similares foram observados em outros trabalhos (Akil et al., 2006; Pedrazzoli et al., 2014b; Plentz et al., 2006; Shuai et al., 2001). Os autores atribuíram a redução da resistência à tração do polipropileno com a incorporação da alumina, a baixa adesão interfacial que favorece a descolagem das partículas de alumina da matriz. No entanto, a incorporação de PP-g-AM em conjunto com Al₂O₃ (amostras #2 – (88/6/6)%, #7 – (91/6/3)%, #8 – (91/3/6)% e #9 – (94/3/3)%) resultaram em aumento da resistência dos materiais. Esse resultado demonstra que o PP-g-AM atua como agente compatibilizante dos compósitos PP/Al₂O₃ melhorando a adesão interfacial entre a carga e a matriz (Pérez et al., 2013) e de acordo com os resultados de módulo de elasticidade dos materiais em estudo, promovendo a dispersão das partículas de alumina. A adição do compatibilizante no teor de 3% ao polipropileno contribui para o aumento da resistência à tração. Esse resultado deverá ser avaliado com maior profundidade. Uma das hipóteses é que a incorporação do compatibilizante promova o aumento da cristalinidade ou modifique a forma dos cristais do polipropileno.

Considerando o erro envolvido na determinação da resistência à tração, a incorporação do teor de 3 e 6% do compatibilizante à mistura de PP/Al₂O₃ são suficientes para obter o valor ótimo dessa propriedade. O aumento da resistência à tração da amostra #8 – (91/3/6)% foi de cerca de 3,8% em comparação com a do polipropileno.

A superfície de resposta derivada do planejamento estatístico efetuado pelo Minitab para avaliar o efeito da variação da composição das misturas sobre a resistência à tração do polímero puro e das misturas PP/PP-g-AM/Al₂O₃ é apresentada na Fig. 3.

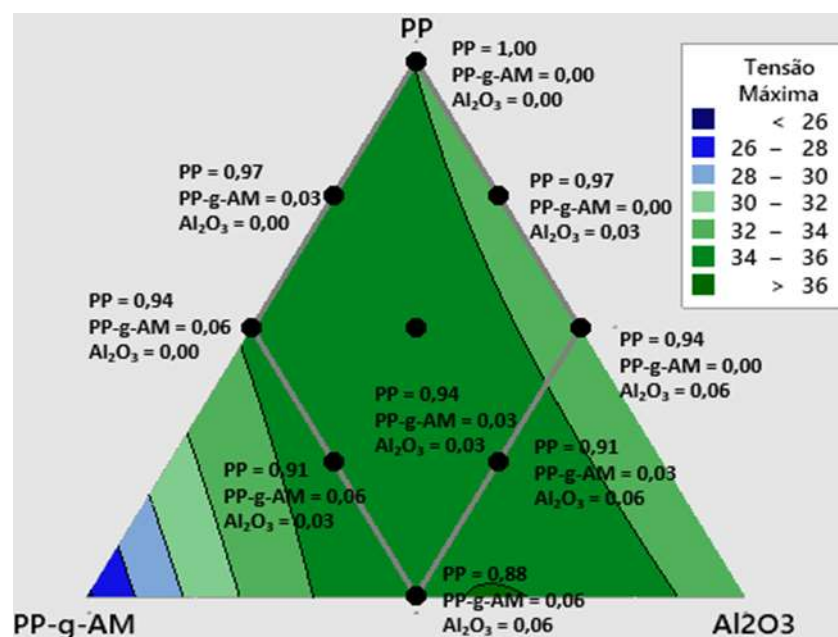


Figura 3 – Ilustração da superfície de resposta para resistência à tração (Minitab - opção proporção de componentes).

Através da superfície de resposta para a resistência à tração é possível observar que valores mais baixos são obtidos quando a alumina é incorporada ao polímero, sem a adição do agente compatibilizante, que é essencial para a obtenção de resistência. A Fig. 3 mostra que nas misturas ternárias os valores de resistência à tração são similares. A análise mostrou que os pontos escolhidos para o projeto de misturas se situam dentro da região com valores mais altos de resistência a tração. A adição do compatibilizante até um dado teor ao polipropileno não promove a redução da resistência à tração do polímero. Esse resultado deverá ser avaliado com maior profundidade.

No que diz respeito aos resultados de tenacidade apresentados na Tabela 2, foi observado um valor de desvio padrão relativamente elevado para os experimentos com carga de alumina sem a utilização do compatibilizante (#3 – (94/0/6)% e #5 – (97/0/3)%). O fato de não ter sido usado o compatibilizante nas amostras #3 e #5 pode ter gerado corpos de prova com propriedades não muito similares entre si, ou seja, pouco homogêneos. Nas demais amostras o desvio foi muito baixo, o que demonstra uma homogeneidade dos corpos de prova de cada uma das demais amostras. Os resultados obtidos mostram que a incorporação da alumina ao PP e na mistura PP/PPg-AM promove um aumento da tenacidade. Se a baixa adesão interfacial entre a alumina e o polipropileno fosse levada em consideração, a tenacidade decresceria com o aumento do teor da carga inorgânica, uma vez que a falha poderia ocorrer na interface e causar a ruptura prematura do material. Esse resultado não foi observado nesse trabalho. Uma possível explicação seria que devido as baixas concentrações de

alumina utilizadas, os vazios causados durante o processo de descolagem da carga da matriz estivessem situados longe uns dos outros. A presença de vazios altera o estado de tensão dentro do material na vizinhança das partículas, aliviando a tensão e reduzindo a tendência de propagação de trincas. Dessa forma, um mecanismo envolvendo a formação de bandas de cisalhamento ocorreria, levando o material a absorver maior quantidade de energia. De qualquer forma, esse efeito se reduziria com o aumento do teor de alumina, uma vez que a distância interpartículas média diminuiria com o aumento do teor de alumina (Lins; Rocha, 2018). Os desvios padrão elevados associados à determinação da tenacidade dificultam a interpretação dos dados. A amostra #8 – (91/3/6)%, selecionada como matriz para o desenvolvimento dos compósitos híbridos, por apresentar rigidez e resistência adequada aos objetivos desse trabalho, apresentou aumento no valor de tenacidade de 32% em relação ao PP.

A superfície de resposta derivada do planejamento estatístico efetuado pelo Minitab para avaliar o efeito da variação da composição das misturas na tenacidade do polímero e dos compósitos PP/ Al_2O_3 é apresentada na Fig.4.

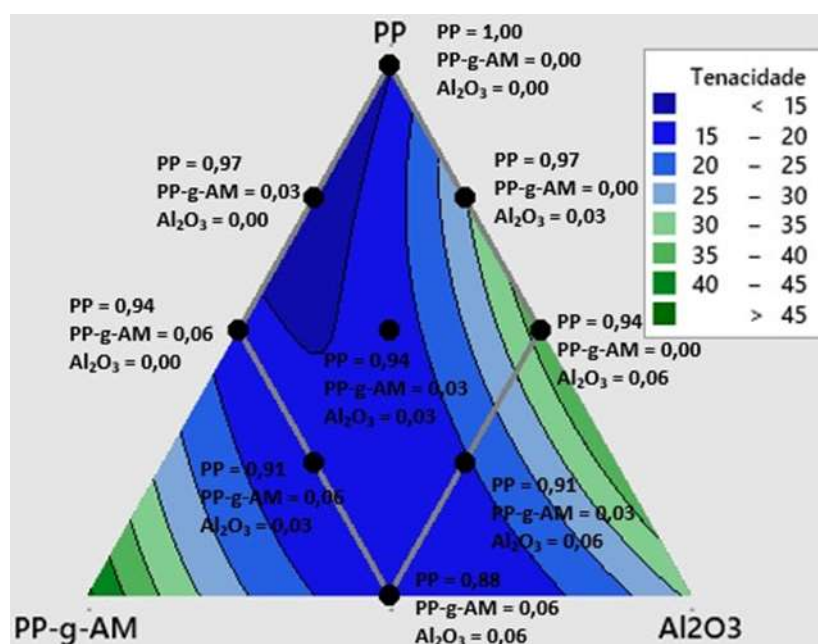


Figura 4 – Ilustração da superfície de resposta para tenacidade (Minitab - opção proporção de componentes).

É possível observar através da análise da Fig. 4 que os melhores valores de tenacidade são encontrados quando há a incorporação de alumina na mistura.

Propriedades mecânicas dos compósitos híbridos. Após a escolha de formulação do compósito de polipropileno reforçado com nanopartículas de alumina, a ser utilizado como matriz no desenvolvimento do compósito híbrido - amostra #8 (91/3/6)% - a fibra de carbono foi incorporada ao sistema nas concentrações de 10 e 15%. A incorporação do elemento de reforço (fibra de carbono) a amostra #8 (91/3/6)% em teor de 10% e de 15% proporcionou um aumento do módulo de elasticidade em tração, de cerca de 25% e de 37%, respectivamente, em relação ao da amostra #8 (91/3/6)%. Em relação ao polipropileno, o aumento foi de 78% e 95%. O aumento do módulo se deve a maior rigidez da fibra de carbono.

A incorporação do elemento de reforço (fibra de carbono) nos teores de 10% e 15% à amostra #8 (91/3/6)% proporcionou um aumento na resistência à tração de cerca de 16% e de 17%, respectivamente em relação a amostra #8. Em relação ao PP, o aumento da resistência à tração foi de 20% ao se adicionar 10% de FC e de 22% ao se adicionar 15% de FC à amostra #8. O aumento da resistência à tração pode estar relacionado a uma transferência de tensão, entre reforço e matriz polimérica, mais eficiente, causada pela adição de fibras de carbono (Lins, 2017).

A redução da tenacidade dos compósitos híbridos com a incorporação de teor de 10% e de 15% de fibra de carbono, em relação a apresentada pela amostra #8 (91/3/6)%, foi de 78% e de 85%, respectivamente. Em relação ao polipropileno, a redução foi de 71% e de 80%, respectivamente. Essa perda de tenacidade pode estar associada ao aumento da rigidez promovido pela adição de fibras de carbono resultando em um material mais rígido. Diante disso, a incorporação de um teor mais baixo de fibra de carbono à matriz pode ser uma solução para não haver um decréscimo tão significativo da tenacidade.

4. CONCLUSÃO

O compósito PP/PP-g-AM/Al₂O₃ – (91/3/6)%, foi o que apresentou a melhor combinação de propriedades mecânicas, sendo adotado como matriz para o desenvolvimento de compósitos híbridos. Esse material apresentou valores de módulo de elasticidade, resistência à tração e de tenacidade em torno de 42%, 3,8% e 32%, respectivamente, superiores às apresentadas pelo polipropileno. Esse material, reforçado com 10% e 15% de fibras curtas de carbono, gerou compósitos híbridos, cujos valores de módulo de elasticidade em tração e de resistência à tração, respectivamente, 25% e 16% com a incorporação de 10% de FC, e de 37% e 17% com a incorporação de 15% de FC, superiores aos apresentados pela matriz.

Essas propriedades mecânicas, entretanto, foram obtidas ao custo da redução da tenacidade, que decresceu cerca de 78% e de 85%, com a incorporação de 10% e 15% de fibras de carbono à matriz. Sendo assim, os materiais obtidos podem ser utilizados em aplicações que requeiram leveza, alta produtividade, rigidez e resistência e nas quais a tenacidade sob aplicação de uma carga estática não seja uma propriedade de desempenho requerida.

REFERÊNCIAS

Agrawal, A.; Satapathy, A. Thermal and dielectric behaviour of polypropylene composites reinforced with ceramic fillers. *Journal of Materials Science*, 2014.

Akil, H. M. et al. Effect of various coupling agents on properties of alumina-filled PP composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v. 25, n. 7, p. 745–759, 2006.

Arao, Y. et al. Mechanical properties of injection-molded carbon fiber/polypropylene composites hybridized with nanofillers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 55, p. 19–26, 2013.

Barros Neto, B.; scarminio, I. S.; bruns, R. E. Como Fazer Experimentos: Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria. 2. ed. 2007.

Burlein, G. A. D. Avaliação das propriedades de polietileno de baixa densidade (PEBD), poli(3-hidroxibutirato) (PHB) e de suas misturas com torta de mamona. [s.l.] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2010.

Callister, W.D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S A, 2002.

Coscione Aline Renée; Andrade, João Carlos de; May, Gyda Marie. O Modelamento Estatístico de Misturas: Experimento Tutorial Usando Voltametria de Redissolução Anódica Quim. Nova, Vol. 28, No. 6, 1116-1122, 2005.

Eiras, D.; Pessan, L. A. Mechanical properties of polypropylene/calcium carbonate nanocomposites. *Materials Research*, v. 12, n. 4, p. 517–522, 2009.

Li, B.; Li, R.; Xie, Y. Properties and effect of preparation method of thermally conductive polypropylene/aluminum oxide composite. *Journal of Materials Science*, v. 52, n. 5, p. 2524–2533, 2017.

Lins, S. A. B. Desenvolvimento de compósitos híbridos de polietileno carregados com alumina e reforçados com fibra de vidro. Nova Friburgo: UERJ, 2017.

Lins, S. A. B.; Rocha, M. C. G. Mechanical and thermal properties of high-density polyethylene / alumina / glass fiber hybrid composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, p. 16, 2018.

Macedo Rose Meire P. R.; Aplicação da metodologia de experimentos para a formulação de massas cerâmicas para telhas. Tese doutorado, Ciências dos materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Natal

– RN, 2007.

Marinucci, G. Materiais Compósitos Poliméricos. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2011.

Pedrazzoli, D. et al. Thermal, viscoelastic and mechanical behavior of polypropylene with synthetic boehmite alumina nanoparticles. *Polymer Testing*, v. 35, p. 92–100, 2014a.

Pedrazzoli, D. et al. Mechanical and rheological response of polypropylene/boehmite nanocomposites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v. 33, p. 252–265, 2014b.

Pérez, E. et al. A comparative study of the effect of different rigid fillers on the fracture and failure behavior of polypropylene based composites. *Composites Part B: Engineering*, v. 52, p. 72–83, 2013.

Plentz, R. S. et al. Effect of a macromolecular coupling agent on the properties of aluminum hydroxide/PP composites. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 101, n. 3, p. 1799–1805, 2006.

Shuai, X. et al. Mechanical properties and fracture morphology of $\text{Al}(\text{OH})_3$ /polypropylene composites modified by PP grafting with acrylic acid. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 80, n. 13, p. 2617–2623, 2001.

Silva, G. D. A. et al. Effect of alumina ceramic powder dispersion on mechanical properties of polypropylene polymers. *Materials Science Forum*, v. 727–728, p. 1729–1733, 2012.

Streller, R. C. et al. Isotactic poly(propylene) nanocomposites based upon boehmite nanofillers. *Macromolecular Materials and Engineering*, v. 293, n. 3, p. 218–227, 2008.

Zhang, S. et al. Effect of Al_2O_3 Fibers on the Thermal Conductivity and Mechanical Properties of High Density Polyethylene with the Absence and Presence of Compatibilizer. 2011.

Zhao, H.; Li, R. K. Y. Crystallization, mechanical, and fracture behaviors of spherical alumina-filled polypropylene nanocomposites. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, v. 43, n. 24, p. 3652–3664, 2005.

 conhecimentolivre.org/home
 contato@conhecimentolivre.org
 [editoraconhecimentolivre](https://www.instagram.com/editoraconhecimentolivre)

ENGENHARIA: SOLUÇÕES E INOVAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO

VOLUME VIII