

SCIENCOMM
REVISTA ONLINE



9^a
Ed.

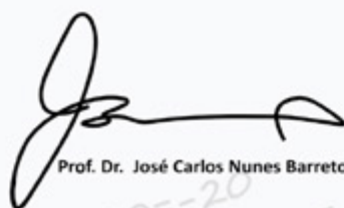
JUN. 2019 - ANO OITO
ISSN 2237-3330

**MELHORIA
CONTÍNUA**

Prezados leitoras e leitores,

Em crítico momento de contingenciamento de 30 por cento dos recursos, destinados à Universidades públicas e centros de pesquisas do Brasil, temos a honra e a responsabilidade de publicar a nona Revista Sciencomm, intitulada "Melhoria Contínua", destinada à ciência e tecnologia, na oportunidade dando espaço a artigos de estudantes e professores do LEPU- Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem, da Faculdade de Engenharia Mecânica da UFU- Universidade Federal de Uberlândia. Importante frisar que, este veículo tem sido financiado por recursos próprios, deste editor e de seus parceiros, e se baseia em um tácito pacto de integridade e conformidade, com os demais representantes do seu corpo editorial, comum no meio acadêmico, que amam o que fazem, ou seja, vivem e respiram pesquisas, as quais, fazem empresas e nações crescerem, e geram desenvolvimento e riquezas através da história. Todavia, este ciclo adverso pode, infelizmente, atrasar o País e prejudicar carreiras, face as vicissitudes ora vividas - triste quadra, o que nos impele ao apelo às autoridades recentemente empossadas, para que ajudem os pesquisadores, alunos e professores do Brasil, retomando o financiamento integral da Ciência e Tecnologias Nacionais, principalmente em Instituições Federais de Ensino, responsáveis por até 95% dessas pesquisas. E que Deus nos ajude!.

Boa leitura.


Prof. Dr. José Carlos Nunes Barreto

SCIENCOMM é um site de relacionamento da comunidade científica, que visa à formação de uma rede de integração entre pesquisadores por meio do referenciamento entre autores.

A redação de documentos dirigidos ao público não acadêmico é um objetivo secundário da comunidade, como forma de difusão de seu conhecimento.

www.sciencomm.com.br

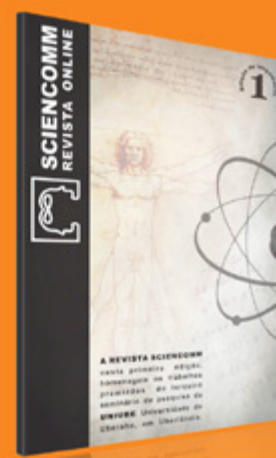
9a

JUN. 2019 - ANO OITO
ISSN 2237-3330

SCIENCOMM
REVISTA ONLINE

Conselho editorial

Dra. Hanny Angeles Gomide - UNIESA
Dr. José Carlos Nunes Barreto - IFET/SP
Dr. José Augusto Della Coleta - UFU
Dr. Leandro Aureliano Silva - FACTHUS
Dr. Alexsandro Silva Sólton - UFTM
Dr. Euclides Antônio de Lima - UNIUBE
Dra. Janaina G. Pacheco Olegário - FACTHUS
Dr. Állisson Rocha Machado - PUC/PR
Dr. Wisley Falco Sales - FEMEC/UFU
Dra. Luciana Cezarino - FAGEN/UFU



Criação e Edição
Bruno Gomes

Revisão Final
Gustavo Andrade



- 04 ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE DE UM PROCESSO OPERACIONAL DE MONTAGEM EM UMA FÁBRICA DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS
- 15 ELABORAÇÃO E PROPOSTA DE INDICADOR DE EFICIÊNCIA GLOBAL DE EQUIPAMENTOS (OEE) PARA TERMINAL
- 25 REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS E OTIMIZAÇÃO DA LINHA DE PRODUÇÃO POR MEIO DE UM PROJETO LEAN SIX SIGMA
- 34 ESTUDO DA LINEARIDADE DAS ENTREGAS E DO VOLUME DE UMA EMPRESA DO RAMO DE BEBIDAS VISANDO UM EQUILÍBRIO SEMANAL E OTIMIZAÇÃO DOS RECURSOS DA LOGÍSTICA
- 44 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE: ESTUDO DE CASO DA EFICÁCIA DOS EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS
- 53 MELHORIA CONTÍNUA DA GESTÃO DE PROCESSOS DO SISTEMA SAP ECC® POR MEIO DE PROGRAMAÇÃO VBA® E SAP SCRIPT
- 62 SIMULAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE USINAGEM NO FRESAMENTO DE TOPO DO INCONEL 718 E VALIDAÇÃO COM RESULTADOS EXPERIMENTAIS
- 73 USO DE MOTORES STIRLING PARA RECUPERAÇÃO DE ENERGIA EM PROPULSORES NAVAIS: AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE
- 83 ESTUDO DAS ONDAS DE PRESSÃO FORMADAS NA ADMISSÃO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA COM A PRESENÇA DE UM RESSONADOR

ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE DE UM PROCESSO OPERACIONAL DE MONTAGEM EM UMA FÁBRICA DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Lucas Junqueira Solé, UFU, lucas.solehotmail.com

Felipe Chagas Rodrigues de Souza, UFU, felipechagaslepu@gmail.com

Gustavo Henrique Nazareno, UFU, ghnfernandes@gmail.com

Pedro Henrique Pires França, UFU, pedrohenriquepiresf96@gmail.com

RESUMO

A industrialização e o próprio desenvolvimento da produção industrial ao longo do tempo geraram demandas constantes aos empresários para tornar cada vez mais eficiente seu método produtivo. Diante desta necessidade, diversas práticas e técnicas foram desenvolvidas, com o intuito de detectar, medir, interpretar e melhorar métodos produtivos, buscando sempre um aumento do lucro. Este trabalho buscou abordar e aplicar algumas destas técnicas em um processo que compõe a linha de produção de uma máquina agrícola, colhendo e interpretando dados, discutindo e propondo soluções de melhoria. Para tal, foram apresentadas as teorias e ferramentas principais, selecionadas as mais adequadas para o estudo e aplicadas ao problema em análise. O problema em questão estava relacionado à baixa produtividade de um posto na linha de montagem de uma colhedora de cana. Foram feitas medições de produtividade do setor de montagem da fábrica em dois períodos diferentes e, a partir delas, comparações com a meta da empresa. Assim, foi possível identificar quedas de produtividade, tanto no setor como um todo quanto no posto em específico, e os fatores que influenciaram negativamente. Foi identificado um erro no tempo padrão do processo desse posto e, após feita a correção do mesmo, notou-se que o mesmo estava performando de acordo com o esperado. Além disso, o trabalho mostrou a influência da produtividade do setor no bônus de pagamento aos operadores. Por fim, foi possível concluir que os indicadores de produtividade são de extrema importância para a gestão de uma linha de produção e que se deve ter atenção ao aplicá-los e analisá-los.

Palavras-chave: Indicadores de Produtividade, racionalização do trabalho, sistemas de produção, melhoria contínua, produção de máquinas agrícolas, produtividade.

INTRODUÇÃO

Observando a história e a sequência do desenvolvimento da indústria, vemos que a produção, que inicialmente era através de um sistema estritamente artesanal, passou para um método completamente baseado em máquinas, criado com a Revolução Industrial na segunda metade do século XVIII, que surgiu devido à situação econômica favorável da época, (Hobsbawm, 1969).

Além disso, com o passar do tempo foram surgindo mudanças relevantes na história produtiva como o desenvolvimento dos direitos dos trabalhadores, o desenvolvimento de acordos comerciais e a integração geográfica do comércio internacional.

Tudo isso gerou um entendimento amplo sobre a melhoria de processos produtivos, da produtividade de fábricas, e do aumento do lucro. Isso se traduziu em experiências comprovadas, técnicas e ferramentas de aferição e controle da produção que podem ser aplicadas beneficiando um setor produtivo qualquer. O objetivo geral desse trabalho é realizar uma análise de produtividade de uma estação de trabalho fabril, utilizando ferramentas e conceitos, como balanceamento de linha e tempos padrões. A estação de trabalho em questão faz parte do processo de montagem de uma máquina agrícola, mais especificamente uma colhedora de cana.

Mas antes de aprofundar nas explicações, é necessário distinguir produtividade de aumento de produção:

- Aumento de produção: gerado a partir do aumento no número de funcionários, aumento das horas trabalhadas por horas extras ou por turnos extras, além do investimento em uma nova máquina, por exemplo.
- Aumento de produtividade: é decorrente de melhorias nos processos, por treinamentos ou pela implantação de controles.

O aumento da produtividade é alcançado através da utilização otimizada e integrada dos recursos da produção e comercialização do produto. Indicadores têm o seu papel na gerência da informação sobre o desempenho (PINTO, 2015).

Caso seja necessário melhorar a produtividade, a eficiência pode ser buscada em certos fatores que influenciam a produção. Segundo Deponti (2002) os cinco principais fatores são:

- Capacidade de inovação: trata-se da capacidade da empresa em gerar evoluções que irão melhorar os processos.
- Investimento em qualificação: a capacitação e preparação dos colaboradores é fundamental para garantir que os produtos sejam entregues em conformidade e influenciam diretamente os resultados de produtividade.
- Controle de qualidade: consiste em acompanhar de perto e de forma constante os processos. Parâmetros claros no que tange os itens avaliados e pontos de referência são essenciais para atingir os objetivos desejados.
- Produção sustentável: significa reduzir os custos de produção dos produtos e serviços, e também diminuir a quantidade de resíduos descartados no meio ambiente.
- Índice de flexibilidade: ter atenção ao mercado e conseguir se adaptar o mais rápido às suas mudanças e exigências para garantir o nível de produtividade competitivo.

METODOLOGIA

A fábrica onde a análise de produtividade será desenvolvida produz colhedoras de cana-de-açúcar e pulverizadores de soluções. Dentro desse seguimento de maquinário agrícola, existem algumas variações de modelos e configurações, que podem ser personalizados de acordo com as necessidades do cliente.

A Figura 1 mostra os componentes básicos de uma colhedora de cana, equipamento similar ao estudado nesse projeto.

Componentes



Figura 1 – Componentes da Colhedora de Cana.

Fonte: John Deere (2018).

Os componentes mostrados na figura são os responsáveis pelo processo de colheita de cana-de-açúcar realizado por uma colhedora. Para um melhor entendimento, será descrita brevemente a função de cada um deles a seguir.

- Cortador de Pontas: corta as pontas da cana na altura determinada pelo operador.
- Divisores de Linhas: afasta as linhas adjacentes da plantação e direciona a linha a ser colhida para a colhedora.
- Rolos Tombadores: promovem a curvatura adequada do fluxo de cana pra facilitar o posterior corte feito pelo cortador de base.
- Cortador de Base: realiza o corte da cana na base da mesma, com distância do solo regulada automaticamente.
- Rolos Levantadores: recebem a cana do corte de base e direcionam para os rolos alimentadores;
- Rolos Alimentadores: transportam o fluxo de cana para os facões picadores.

- Picador: tem a função de cortar a cana em tamanhos uniformes, mediante regulagem.
- Extrator Primário: realiza a primeira limpeza da cana após o corte, é constituído por um exaustor que remove as impurezas e restos.
- Elevador: eleva a cana picada e limpa para ser depositada no veículo de carga que acompanha a colheiteira.
- Extrator Secundário: realiza a segunda e última limpeza antes da cana ser transferida para o veículo de carga.

A média anual de produção diária é de 3 colhedoras/dia, mas a produção varia ao longo do ano entre 1 e 4 colhedoras/dia. O tempo total de fabricação de uma colhedora, considerando os processos primários, solda, pintura, montagem e logística, é de, aproximadamente, 318 horas.

A seguir, a Figura 2 mostra uma representação da divisão dos setores da fábrica. O setor de Primários é onde são feitos cortes e dobras de chapas, para ambos os produtos. Já o setor de Solda é dividido em duas áreas, uma para colhedoras e uma para pulverizadores. Quando as peças saem desses dois setores, são direcionadas para o sistema de Pintura, se necessário, e posteriormente para a Montagem. Já as peças compradas de fornecedores são armazenadas no almoxarifado externo e são transferidas diretamente para a Montagem. Por fim, quando montadas, as colhedoras são colocadas no pátio e direcionadas para a expedição.

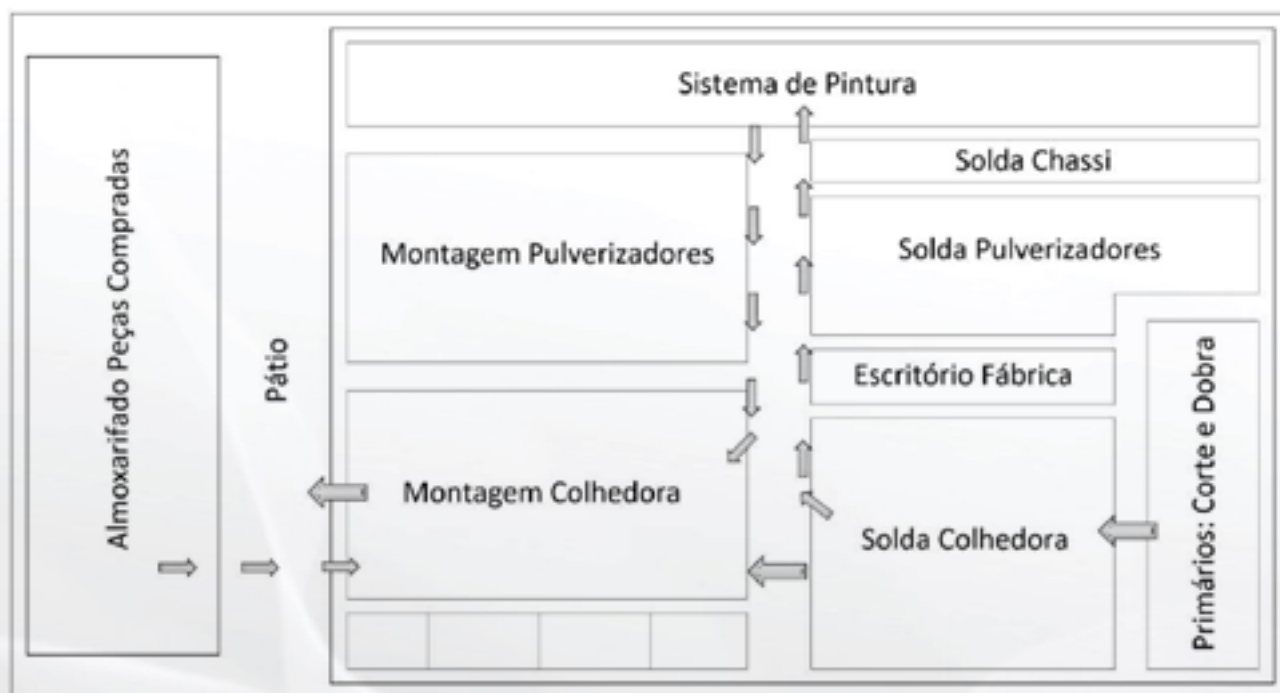


Figura 2 – Esquema da planta da fábrica.

Fonte: próprio autor.

A Figura 3 mostra o esquema do setor de montagem da colhedora-de-cana. A linha principal tem formato de “L” e é abastecida pelos postos de pré-montagem adjacentes. A linha principal é composta por 10 estações de montagem (00 a 09) e os postos de pré-montagem são divididos em 13: Rolos, Chopper, Motor Hidráulico/Válvulas, Extrator Primário, Cortador de Pontas (Topper), Cabine, Motor, Cooling Package, Divisor de Linha, Elevador e Extrator Secundário, Esteira, Cortador de Base, Plataforma e Tanque.

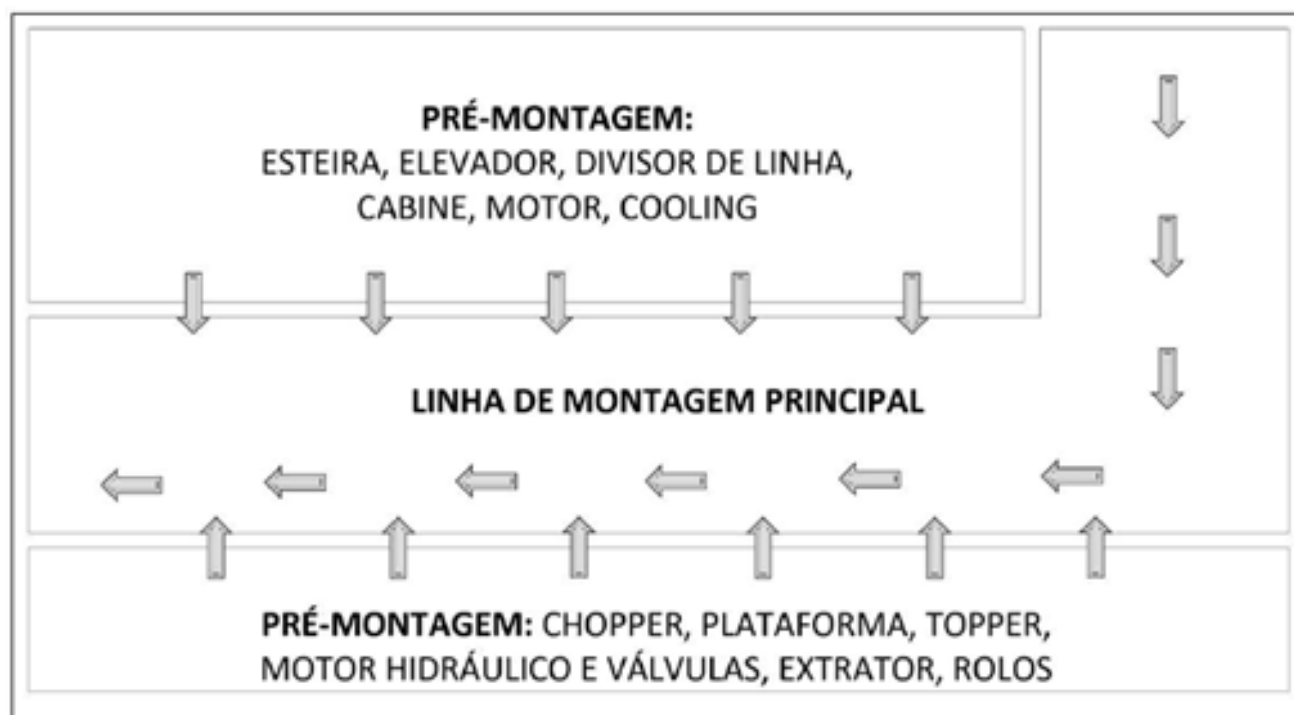


Figura 3 – Esquema da Linha de Montagem da Colhedora

Fonte: próprio autor.

O posto de trabalho escolhido para a análise é o da pré-montagem do “cortador de pontas”, ou “Topper”. O motivo da escolha foi a observação feita pelo autor, ao acompanhar a linha de produção presencialmente, de que esse posto apresentava indícios de baixa produtividade, como ociosidade do operador. Além disso, ao procurar os dados e registros das horas trabalhadas e horas produzidas, esse posto apresentava uma das piores médias de produtividade nos dois períodos analisados.

Na Tabela 1 tem-se a versão resumida da lista com o respectivo tempo padrão de cada tarefa.

Ordem	Atividade	Duração - Tempo Padrão (minutos)
1	Colocar adesivo no cavalete	1,827
2	Pegar motor pré-montado do toppe na prateleira	1,998
3	Montar o motor com o coletor	1,158
4	Instalar mangueira no coletor	1,191
5	Montar o motor a óleo e as conexões no cavalete	2,126
6	Lçar tambor	0,466
7	Instalar mangueira no motor a óleo	6,079
8	Verificar opcionais na ordem de produção	0,374
9	Montagem do motor (adaptadores, conexões e mangueiras)	5,171
10	Montagem do motor dos coletores	10,945
11	Montagem dos coletores	4,446
12	Colocar adesivo no toppe	1,657
13	Retirar conjunto dos dispositivos	1,628
14	Pré-montagem do braço do toppe	8,960
15	Pré-montagem do farol	1,244
16	Colocar adesivo no braço do toppe	4,253
17	Apontar fim da pré-montagem do toppe	0,374
TOTAL		53,897

Tabela 1 – Roteiro das Tarefas no Posto da Pré-montagem do Toppe.

Fonte: próprio autor.

O cálculo mais utilizado para se medir produtividade na empresa em questão é por meio da Eq.(1).

$$Produtividade = \frac{Output}{Input} = \frac{N^{\circ} de peças \times Tempo Padrão}{N^{\circ} de funcionários \times N^{\circ} de Horas Trabalhadas}$$

A coleta de dados foi feita em dois períodos, ambos de 20 dias úteis em sequência, a fim de comparação, e de acordo com a metodologia apresentada anteriormente. O primeiro período em junho de 2018 e o segundo em setembro de 2018.

Os dados de horas trabalhadas e horas produzidas foram retirados da base de dados de um sistema já utilizado pela empresa desde 2014, que armazena as medições diárias de horas trabalhadas e horas produzidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra os valores coletados de Input e Output, do setor de montagem, referentes a cada dia dos dois períodos analisados. As colunas de “Produtividade” tiveram seus valores obtidos utilizando a Eq. (3.1). Já a coluna “Acumulado” representa a produtividade média até o dia em questão, valores que serão utilizados nos gráficos para melhor interpretação. A curva de produtividade acumulada sofre maiores oscilações no início e tende a ser mais retilínea no final do gráfico com valores próximos à média final do período.

MONTAGEM									
PERÍODO 1					PERÍODO 2				
Dias	OUTPUT (h)	INPUT (h)	ACUM. Período 1	PROD. Período 1	Dias	OUTPUT (h)	INPUT (h)	ACUM. Período 2	PROD. Período 2
1	200,90	394,63	50,9%	50,9%	1	307,61	588,75	52,2%	52,2%
2	301,35	384,18	64,5%	78,4%	2	301,13	567,52	52,6%	53,1%
3	407,44	398,70	77,3%	102,2%	3	472,50	550,87	63,3%	85,8%
4	206,24	412,41	70,2%	50,0%	4	279,65	540,92	60,5%	51,7%
5	201,09	348,84	67,9%	57,6%	5	381,69	504,45	63,3%	75,7%
6	205,64	380,67	65,6%	54,0%	6	202,15	550,55	58,9%	36,7%
7	311,12	453,08	66,1%	68,7%	7	404,48	592,33	60,3%	68,3%
8	507,94	401,46	73,8%	126,5%	8	422,84	558,37	62,2%	75,7%
9	100,58	427,16	67,8%	23,5%	9	509,66	558,13	65,5%	91,3%
10	301,74	347,53	69,5%	86,8%	10	411,61	494,00	67,1%	83,3%
11	206,20	449,35	67,1%	45,9%	11	411,61	574,63	67,5%	71,6%
12	607,96	419,08	73,9%	145,1%	12	307,76	547,02	66,6%	56,3%
13	100,58	438,49	69,6%	22,9%	13	408,78	539,67	67,3%	75,7%
14	105,62	456,32	65,9%	23,1%	14	307,87	478,65	67,1%	64,3%
15	704,06	417,87	72,9%	168,5%	15	307,69	452,00	67,1%	68,1%
16	301,74	420,82	72,8%	71,7%	16	409,04	573,08	67,4%	71,4%
17	310,79	459,49	72,5%	67,6%	17	408,68	572,85	67,7%	71,3%
18	201,22	437,85	70,9%	46,0%	18	412,11	566,88	68,0%	72,7%
19	301,83	428,86	70,9%	70,4%	19	406,83	567,48	68,2%	71,7%
20	201,22	426,62	69,7%	47,2%	20	201,17	443,40	67,2%	45,4%
MÉDIA	289,26	415,17	-	69,7%	MÉDIA	363,74	541,08	-	67,2%
SOMA	5785,27	8303,41	-	0,697	SOMA	7274,84	10821,55	-	0,672

Tabela 2 – Dados de produtividade no setor de montagem.

Fonte: próprio autor.

O gráfico da Figura 4 mostra o comportamento da curva de produtividade do setor de montagem durante os dois períodos analisados. Nota-se que houve uma queda de produtividade, pois a curva do Período 2 está abaixo da curva do Período 1. Essa queda foi de 2,5% (de 69,7% para 67,2%) e diversos fatores influenciaram nessa variação negativa da produtividade média.

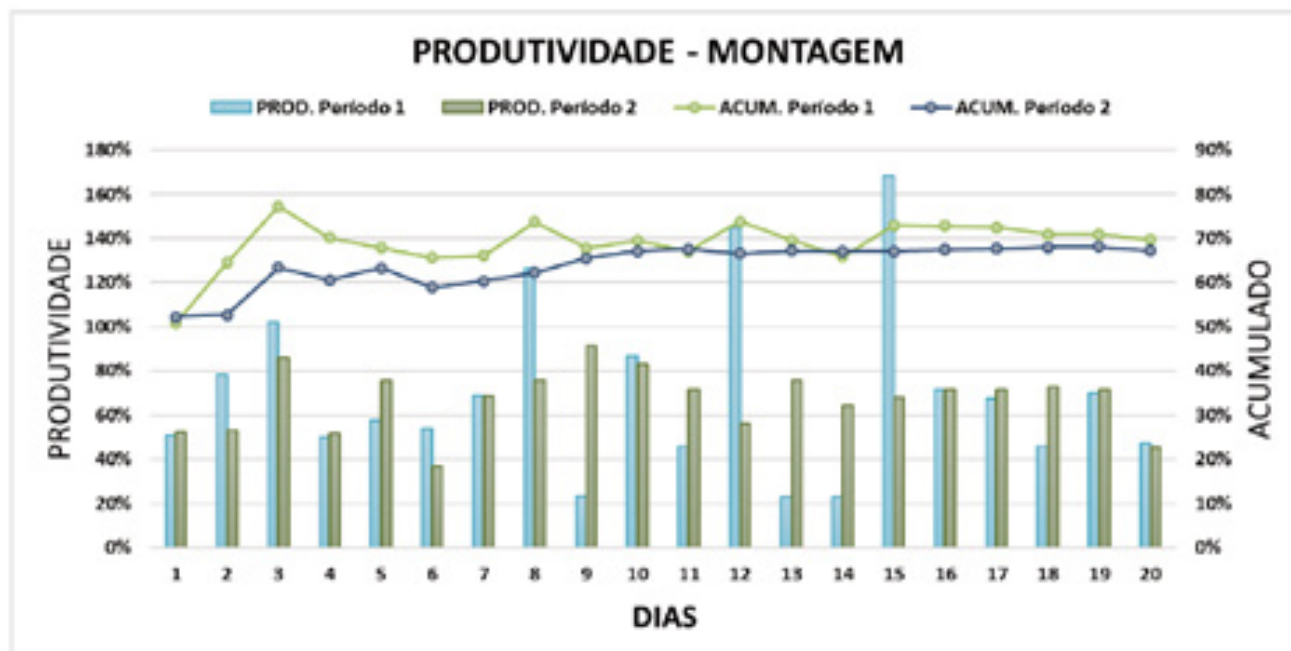


Figura 4 – Gráfico de produtividade no setor de montagem.

Fonte: próprio autor.

A queda na produtividade, no geral, pode ser justificada pela dificuldade de balancear as atividades entre os operadores ao longo da linha para todos os postos quando temos um incremento de taxa de produção diária de 3 para 4 colhedoras. Isso faz com que alguns postos fiquem mais sobrecarregados que outros, diminuindo a produtividade média do setor. Além disso, muitos operadores transferidos da linha de pulverizadores, não estão devidamente treinados para as novas atividades da linha de comedoras, o que pode gerar atividades não produtivas, como retrabalho e treinamentos.

A Figura 5 mostra um gráfico do tipo cascata, ou “Waterfair”, que serve para alocar fatias de diferentes proporções que indicam a diferença entre uma situação e outra. No caso, foi feito um estudo, juntamente com o engenheiro industrial da fábrica, para identificar os motivos da queda de produtividade de um período para o outro.

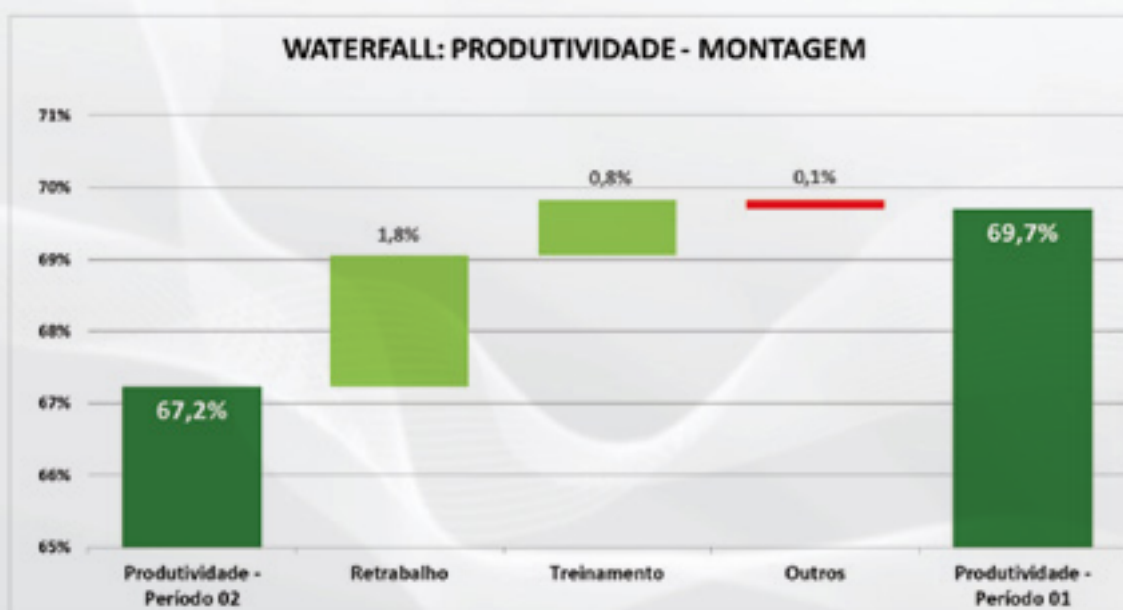


Figura 5 – Gráfico Waterfall para a produtividade do setor de montagem.

Fonte: próprio autor.

Na empresa, as horas de paradas de produção, ou horas de Off Plan, são contabilizadas de acordo com os motivos de cada parada. Para construção desse gráfico, foi feita a normalização dos dados do Período 2, que serve para colocar os valores no mesmo patamar de comparação. Então, ajusta-se o valor de Input do segundo período para o valor que corresponde à mesma produtividade, mas considerando o mesmo valor de Output do Período 1. Dessa forma, obtemos a diferença de horas produzidas que refletem na queda de produtividade considerando apenas os fatores não ligados ao aumento da produção de 3 para 4 máquinas por dia.

Por fim, essas horas Input que foram gastas a mais do que no primeiro período foram divididas entre os motivos de parada, na mesma proporção que as horas totais de parada variaram de um período para o outro. Utilizando a contabilização da empresa, foi feito um comparativo das horas de parada e seus motivos entre os dois períodos. Notou-se que as horas perdidas com retrabalho aumentaram de 66% para 69% e, com treinamentos, de 5% para 17%. Os gráficos da Figura 6 e Figura 7 abaixo ilustram esse comparativo.

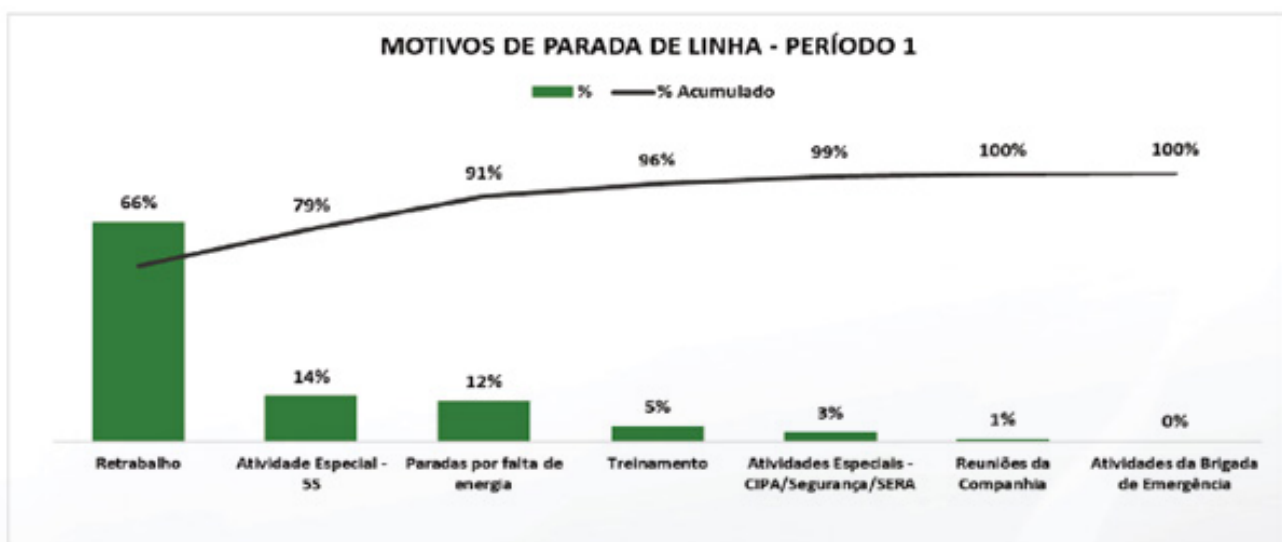


Figura 6 – Motivos de parada de linha – Período 1.

Fonte: próprio autor.

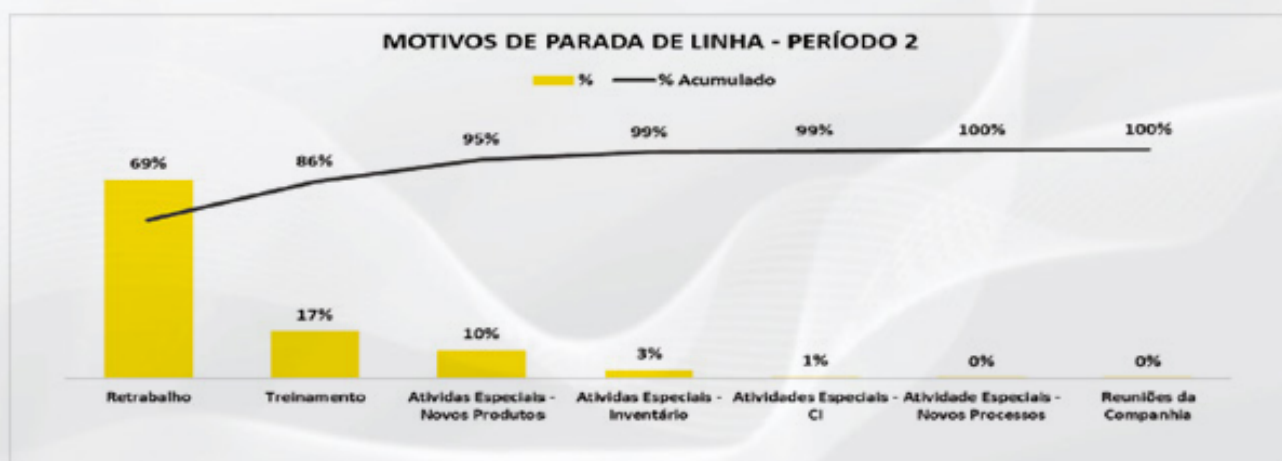


Figura 7 – Motivos de parada de linha – Período 2.

Fonte: próprio autor.

Dessa forma, nota-se que as atividades de retrabalho e de treinamento são as de maior impacto na queda de produtividade do setor de montagem entre os períodos 1 e 2. Dos 2,5% de queda da produtividade, o retrabalho foi responsável por 1,8% e os treinamentos, 0,8%. Além disso, a proporção de horas perdidas por outros motivos diminuiu, para que não se perdesse mais produtividade ainda, o que representa um ganho de 0,1% quando comparado à perda de 2,5%.

CONCLUSÕES

Os indicadores de produtividade são de enorme importância para qualquer tipo de fábrica ou de processo. Com eles, são identificadas falhas que podem ser investigadas e corrigidas constantemente.

Existem muitos fatores que influenciam na desempenho de um operador, alguns de responsabilidade dele mesmo e outros de responsabilidade da empresa. Porém, todos podem ser observados e controlados se a empresa tomar os devidos cuidados.

A definição de um tempo padrão de um processo deve ser feita com muito cuidado e atualizado com alguma frequência. Pois, se a produtividade estiver sendo medida utilizando um tempo padrão incorreta, os indicadores estarão incorretos também. Como vimos isso pode resultar em perda de bônus para os operadores, além de uma análise errada da empresa sobre os postos com menor produtividade, ocasionando em perda de tempo de recursos de engenharia e supervisão para análise de melhorias e investimentos para ganho de produtividade nessas estações.

REFERÊNCIAS

DEPONTI, C. M.; ECKERT, C.; AZAMBUJA, J.L.B de; Estratégia para Construção de Indicadores para Avaliação da Sustentabilidade e Monitoramento de Sistemas, 2002.

HOBBSBAWM, E. J. Da Revolução Industrial Inglesa ao Imperialismo, 1969.

PINTO, F. J. P. H. Programe o sucesso da sua micro e pequena empresa, 2015.

ELABORAÇÃO E PROPOSTA DE INDICADOR DE EFICIÊNCIA GLOBAL DE EQUIPAMENTOS (OEE) PARA TERMINAL

Giovanna Porto Toni, UFU, giovannaportotoni@gmail.com
Felipe Chagas Rodrigues de Souza, UFU, felipechagaslepu@gmail.com
Gustavo Henrique Nazareno, UFU, ghnfernandes@gmail.com
Pedro Henrique Pires França, UFU, pedrohenriquepiresf96@gmail.com

RESUMO

Com o aumento da competitividade entre as empresas, aquelas que querem se manter como líderes de mercado devem buscar maneiras de aumentar sua produtividade enquanto se mantém flexíveis para atender às demandas de seus clientes. Muito se pensa no emprego de novas tecnologias, porém é imprescindível o monitoramento da produtividade das plantas a fim de direcionar projetos de melhoria de forma mais assertiva. Um indicador muito utilizado atualmente com tal finalidade é a Eficiência Global de Equipamentos (OEE, do inglês Overall Equipment Effectiveness). No presente trabalho foi realizada a análise do atual cálculo do OEE utilizado por uma empresa de logística para mensurar a produtividade do carregamento ferroviário de suas plantas. Foram analisadas as diferenças entre o cálculo da companhia e o cálculo indicado na literatura especializada e ao final do trabalho foi proposto um novo método de cálculo para o indicador, onde os três parâmetros do OEE – Disponibilidade, Desempenho e Qualidade – são mantidos.

Palavras Chaves: OEE (Overall Equipment Effectiveness), carregamento ferroviário, indicador, produtividade, performance.

INTRODUÇÃO

Com aumento da competitividade entre empresas nos últimos anos, é de extrema importância que as fábricas entreguem seus produtos de maneira cada vez mais eficiente e com mais qualidade, além de serem capazes de suprir a demanda de seus clientes com maior flexibilidade e agilidade. Apesar da possibilidade do emprego de novas tecnologias para atender tais necessidades, existem outras formas de melhorar a performance da fábrica utilizando recursos já existentes na mesma. Dessa forma, além de ganhos na produtividade, o investimento a ser feito é consideravelmente menor e é possível aplicar as medidas necessárias com maior agilidade.

Como evidenciado por Fleischer, Weismann e Niggeschmidt (2006), a disponibilidade e produtividade dos recursos de produção de uma fábrica influenciam diretamente em sua competitividade. A má alocação desses recursos e seu uso ineficiente refletem em perdas de produtividade para a planta. À vista disso, assegurar a devida utilização de seus equipamentos, garantindo alta disponibilidade e confiabilidade dos mesmos, deve ser prioridade das empresas que querem se tornar ou se manter líderes de mercado atualmente.

Percebe-se então a necessidade de buscar oportunidades para melhoria dos processos de modo a se alcançar a redução e, eventualmente, a eliminação dos desperdícios de uma planta, proporcionando melhor performance e maior produtividade. Esse é, em essência, o objetivo de práticas de melhoria contínua adotadas mundialmente. Dessas práticas, três se destacam e são conhecidas como 3T's: Sistema Toyota de Produção (TPS – Toyota Production System), Gestão da Qualidade Total (TQM – Total Quality Management) e Manutenção Produtiva Total (TPM – Total Productive Maintenance) (HAILU et al., 2018).

Nakajima (1989) define sucintamente TPM como uma técnica de Manutenção Produtiva (PM – Productive Maintenance) que envolve a total participação dos funcionários, desde o chão de fábrica até a alta gerência, com o propósito de maximizar a efetividade dos equipamentos através do estabelecimento de um minucioso sistema produção-manutenção que engloba toda a vida útil dos equipamentos.

Os principais objetivos a serem alcançados através da aplicação da TPM, conforme citados por Nakajima (1989), são atingir uma produção sem quebras e sem defeitos para obter melhor produtividade e qualidade, além da redução de estoques e do tempo entre o pedido do cliente e a entrega do produto, e maior segurança e satisfação dos empregados. Fuentes (2006) cita os oito pilares da TPM a serem seguidos para alcançar esses objetivos, sendo eles: manutenção autônoma; manutenção preventiva planejada; manutenção da qualidade; melhoria focada; gestão antecipada de equipamentos (Early Equipment Management); segurança, saúde e meio ambiente; educação, treinamento e capacitação; TPM nos departamentos administrativos e de suporte.

METODOLOGIA

O objetivo principal deste projeto, de forma geral, é analisar o cálculo do indicador OEE de uma empresa de transporte de commodities, identificando pontos de melhoria a serem estudados para uma elaboração de um novo modelo de cálculo do indicador, possibilitando uma visão mais clara e precisa do desempenho das unidades (sites) da companhia.

Uma das principais ferramentas da TPM é o indicador de eficiência global dos equipamentos, comumente chamado de OEE a partir do nome em inglês Overall Equipment Effectiveness. Desenvolvido com o objetivo de mensurar a eficiência dos equipamentos, se baseia na análise de um período de produção de um equipamento, linha de produção ou planta a fim de identificar fatores que interferem na operação e, conseqüentemente, produtividade dos equipamentos (RÖBLER; ABELE, 2013).

De forma geral, o OEE determina a porcentagem do tempo de produção planejada em que produtos sem defeitos foram produzidos (RÖBLER e ABELE, 2013). O cálculo do OEE é, então, definido de acordo com a Eq. (1).

$$OEE = \frac{\text{tempo de produção sem defeito com tempo de ciclo ideal (h)}}{\text{tempo de produção planejada (h)}} \quad (1)$$

Porém tal cálculo não fornece muitas informações para análise. Logo, o cálculo convencional do OEE leva em consideração três parâmetros, dentro dos quais se encaixam as Seis Grandes Perdas: Disponibilidade, Desempenho e Qualidade. Busso e Miyake. (2012) e Okpala et al. (2018) classificam e definem as Seis Grandes Perdas da seguinte forma:

Perdas de disponibilidade:

- (A1) Paradas por falha de equipamento – parada repentina e não planejada do equipamento devido a quebra ou falha, afetando a disponibilidade.
- (A2) Paradas para setup ou ajustes – também classificadas como paradas planejadas, trata-se de períodos em que o equipamento não está disponível devido à realização de troca de produto ou de pequenos ajustes.

Perdas de desempenho:

- (B1) Pequenas paradas devido ao mau funcionamento do equipamento – são pequenas paradas que não caracterizam a quebra ou falha do equipamento e são solucionadas pelo próprio operador do equipamento, sem a necessidade de acionar a equipe de manutenção, acarretando em perda na performance.
- (B2) Perda de velocidade do equipamento – caracteriza o tempo em que o equipamento não opera em uma velocidade abaixo da estipulada para o tempo de ciclo ideal (tempo mais rápido em que uma peça é fabricada), levando à perda de produtividade. Podem ocorrer devido a problemas com defeitos no equipamento, mau uso, falta de lubrificação, acúmulo de poeira, entre outras causas.

Perdas de qualidade:

- (C1) Produção defeituosa ou retrabalho – se trata de perdas devido a produção de peças com defeito ou que requerem retrabalho. Possíveis causas são uso incorreto do equipamento, configuração inadequada da máquina, entre outras.
- (C2) Perdas de startup – ocorrem devido à produção de partes defeituosas após a inicialização do equipamento até se atingir uma produção estável.

Os parâmetros para o cálculo do OEE são descritos por Okpala et al. (2018) e Bhoyar et al. (2017) da seguinte forma:

Disponibilidade: se trata do tempo em que o equipamento está de fato funcionando, e, consequentemente gerando valor à empresa, dentro das horas planejadas para produção. Uma disponibilidade de 100% indica que o equipamento está funcionando sem paradas planejadas e não planejadas durante todo o tempo de produção planejado. A disponibilidade é calculada por meio da Eq. (2).

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{tempo do equipamento em operação (h)}}{\text{tempo planejado para produção (h)}} \times 100 \quad (2)$$

Desempenho: vista como a capacidade do equipamento, a desempenho mede o tempo em que o equipamento de fato operou dentro do tempo de ciclo ideal. É a razão entre o tempo de ciclo ideal multiplicado pelo número de partes produzidas pelo equipamento, dividido pelo tempo do equipamento em operação Eq. (3).

$$\text{Desempenho} = \frac{\text{tempo de ciclo ideal (h)} \times \text{número de partes produzidas}}{\text{tempo do equipamento em operação (h)}} \times 100 \quad (3)$$

Qualidade: mede o tempo em que apenas partes boas estão sendo produzidas, desconsiderando o tempo de produção de partes com defeitos ou que necessitam de retrabalho. É calculado por meio da Eq. (4).

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{partes boas produzidas}}{\text{número total de partes produzidas}} \times 100 \quad (4)$$

Assim, é possível calcular o OEE através da multiplicação desses três fatores, resultando na Eq. (2.5).

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \times \text{Desempenho} \times \text{Qualidade} \quad (5)$$

Na Figura 1 é possível observar a relação dos tempos de produção com as seis grandes perdas e os componentes do cálculo do OEE. Pode-se entender o OEE como uma relação entre o tempo em que valor foi agregado ao produto e o tempo de carregamento do equipamento (BUSSO; MIYAKE, 2012).

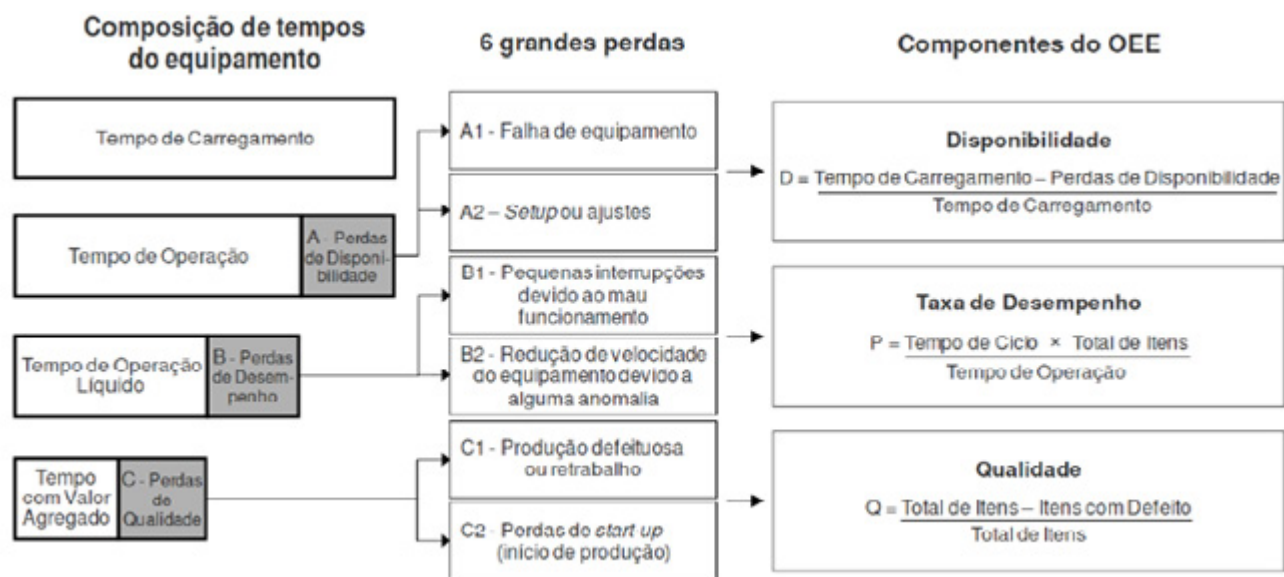


Figura 1 – Estrutura das seis grandes perdas observadas no indicador de OEE.

Fonte: Busso et al. , 2012.

Ainda assim, o cálculo possui certas limitações. As principais restrições encontradas no indicador se tratam da realização dos cálculos considerando apenas o tempo de produção planejado, não avaliando perdas devido a paradas planejadas ou períodos de inatividade da fábrica (JEONG; PHILLIPS, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como apresentado anteriormente, o cálculo da Disponibilidade é realizado levando em consideração todas as horas de manutenção que ocorreram no período de apuração do indicador, porém muitas dessas atividades foram realizadas em períodos de ociosidade, não afetando a operação dos equipamentos, pois não havia produção programada durante tais períodos.

Isso ocorre porque a equipe de manutenção possui um controle único de todas as atividades realizadas nos equipamentos, sem manter uma diferenciação entre as atividades realizadas em momentos de ociosidade (manutenções programadas ou de oportunidade) e as atividades necessárias devido a falhas e problemas com o equipamento (programações corretivas e intervenções não programadas).

A solução proposta foi a de alterar o banco de paradas preenchido pelos operadores do carregamento ferroviário. Os eventos do carregamento ferroviário são preenchidos em uma planilha de Excel pelos próprios operadores que realizam o controle do sistema de carregamento. Diversos dados são imputados nessa planilha, como número de vagões do trem, hora de início e fim de carregamento e as chamadas paradas operacionais, que são as paradas que ocorreram durante o carregamento.

As paradas operacionais são selecionadas pelo operador a partir de uma lista existente, criada por meio de uma base histórica das paradas mais frequentes observadas no carregamento ferroviário. Ao analisar a lista de paradas, percebeu-se o pouco detalhamento dos eventos, divididos apenas em categorias e suas subcategorias correspondentes. Na Tabela 1 é possível observar as paradas que correspondem a períodos de indisponibilidade dos equipamentos.

P0_Mantenção	P0_SistemasTI
Corretiva_elétrica	Falha_servidor_Carregamento
Corretiva_mecânica	Falha_rede_corporativa_Carregamento
Falha_botoeiras	
Falha_comunicação_com_balanças	
Falha_modulo_eletrônico_balança	
Falha_sistema_carregamento	
Preventiva_Automação_Instrumentação	
Preventiva_elétrica	
Preventiva_mecânica	

Tabela 1 - Paradas operacionais de indisponibilidade dos equipamentos.

Fonte: concedida pela empresa

Além disso, devem-se extinguir as Horas de Calendário do cálculo da Disponibilidade, substituindo-as pelas Horas de Operação, dadas pela soma dos tempos de carregamento de todas as composições ferroviárias realizadas durante o período da apuração. Assim, o cálculo da Disponibilidade se faz por meio da Eq. (6).

$$Disponibilidade = \frac{(Horas\ de\ Operação - Horas\ Indisponíveis)}{Horas\ de\ Operação} \times 100 \quad (6)$$

Para o cálculo do Desempenho, foi estabelecido que devem ser consideradas todas as horas de paradas operacionais que não acarretam na indisponibilidade dos equipamentos e não requerem a intervenção da equipe de manutenção. Nesse caso, entende-se que, com exceção das paradas apresentadas na Tab. 4.3, todas as paradas devem ser consideradas para fins de cálculo. Vale ressaltar que, em casos atípicos, o realizador do cálculo se torna responsável por avaliar o evento e classificá-lo da maneira correta. A soma da duração desses eventos são as chamadas Horas de Parada.

Logo, o Desempenho passa a ser calculada por meio da Eq. (7).

$$\text{Desempenho} = \frac{\text{Horas Efetivas}}{\text{Horas de Operação} - \text{Horas Indisponíveis}} \times 100 \quad (7)$$

As Horas Efetivas se mantêm as mesmas do cálculo já utilizado, pois representam um bom parâmetro para o tempo de ciclo ideal do equipamento. O cálculo desse parâmetro ainda se difere um pouco do encontrado na literatura devido ao fato de que, no caso do carregamento ferroviário, as paradas ao longo do processo não fazem com que se produza menos “peças”, como no caso de uma indústria de manufatura, mas acabam prolongando o processo.

Ou seja, como as paradas operacionais durante o carregamento ferroviário atrasam o processo, o cálculo do Desempenho na companhia deve mensurar quanto tempo a mais o carregamento demorou em relação ao tempo ideal de carregamento, ditado pela taxa nominal da correia transportadora que leva o produto ao sistema de carregamento.

A partir desse cálculo será possível realizar a análise dos pequenos eventos que afetam a produtividade dos equipamentos do carregamento ferroviário. Tal mudança é de extrema importância, pois, ao observar o valor real do desempenho dos equipamentos e os eventos que afetaram diretamente em seu funcionamento poderão ser mensurados tanto em frequência quanto em duração, levando a análises dos problemas que mais impactam a operação e gerando ações para mitigar ou eliminar tais problemas.

O cálculo atual da empresa apresenta apenas dois dos três parâmetros do OEE: Disponibilidade e Desempenho. O parâmetro de Qualidade foi deixado de fora do cálculo devido a aparente dificuldade de relacioná-lo com o carregamento ferroviário e com o tempo de carregamento em que foi gerado valor para a companhia e seus clientes.

Entretanto, a empresa mantém alguns parâmetros de qualidade, analisados fora do cálculo do OEE. Tendo em vista que seu produto final é o serviço de transporte de commodities para seus clientes, ao relacionar tal visão com o carregamento ferroviário, pode-se traduzir o produto dos terminais intermodais da companhia como sendo vagões carregados com o produto de seus clientes.

Existem diversos tipos de vagões, com diferentes tamanhos, mecanismos de abertura, entre outras características, e cada um possui um peso sugerido a ser carregado dentro do mesmo. Esse peso sugerido foi obtido através de uma base histórica contendo dados de todos os carregamentos realizados para cada vagão entre os anos de 2006 até o presente.

Ao pensarmos na qualidade do produto vagão carregado com produto, o que pode resultar em perda de valor para o cliente e para a própria companhia é o carregamento de vagões abaixo do peso sugerido. Isso se dá, pois, vagões que saem abaixo do peso significa uma quantidade de produto que não foi expedido, dessa forma, podem ser necessárias mais viagens para a expedição de todo o produto recebido dos clientes nos terminais.

Outro parâmetro de qualidade medido pela empresa é a recusa de vagões, que se trata de vagões que, ao serem inspecionados antes do momento de carrega-los, determina-se que não estão aptos para receber o produto. A recusa pode se dar devido a uma série de motivos, como: má qualidade

do vagão devido a alguma avaria detectada no mesmo e até mesmo por conter produto que não foi descarregado completamente em viagens anteriores ou por não ter sido limpo da maneira correta.

Entretanto, com tais medidas de qualidade são externas ao processo de carregamento ferroviário, não se julgou adequado mensurá-las no parâmetro de Qualidade do OEE, embora paradas para análise e recusa de vagões fazerem parte do banco de paradas operacionais utilizado no cálculo da Performance.

Dessa forma, o cálculo da Qualidade é realizado por meio da Eq. (8).

$$Qualidade = \frac{(Vagões Carregados - Vagões Abaixo do Peso)}{Vagões Carregados} \times 100 \quad (8)$$

Finalizando, assim, o terceiro e último parâmetro do indicador OEE, que possibilita mensurar o tempo de carregamento em que houve agregação de valor através do carregamento de vagões acima de seu peso sugerido.

Dadas as considerações feitas sobre o cálculo de cada parâmetro em seus respectivos tópicos, o cálculo do OEE é dado pela multiplicação de cada um desses fatores Eq. (9).

$$OEE = Disponibilidade \times Desempenho \times Qualidade \quad (9)$$

Considerando o cálculo da Utilização, realizado pela companhia para determinar a porcentagem do tempo em que é realizado o carregamento ferroviário em comparação com as Horas de Calendário (24 horas por dia, todos os dias no período analisado, incluindo finais de semana e feriados), os autores entenderam que esse pode ser um parâmetro importante para a empresa, pois mensura a produção “perdida” devido às horas em que não havia programação de produção.

Ao pesquisar, a autora encontrou na literatura especializada o indicador de Produtividade Efetiva Total de Equipamentos, TEEP (do inglês Total Effective Equipment Performance). Tal indicador pode ser utilizado como complemento ao OEE, pois, segundo de Castro e Chiroli (2011), tem como objetivo mensurar a produtividade do processo da fábrica em relação às horas de calendário.

Segundo Joseph e Jayamohan (2017) e Wojakowski (2015), o cálculo do TEEP é dado pela multiplicação do OEE por um quarto fator, chamado de Utilização e calculado por meio da Eq. (4.9).

$$TEEP = Utilização \times OEE \quad (10)$$

Sendo a Utilização o parâmetro responsável por mensurar a porcentagem de Horas Programadas em relação às Horas de Calendário. O cálculo da Utilização é realizado de acordo com a Eq. (4.10).

$$Utilização = \frac{Horas Programadas}{Horas de Calendário} \quad (11)$$

Assim, além da proposta de cálculo do OEE, é feita a proposta do cálculo do TEEP, que leva também em consideração a produção em relação às horas totais de calendário, quantificando a produtividade perdida devido aos períodos em que não há produção programada.

CONCLUSÕES

Esse estudo proporcionou uma união dos conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso com práticas realizadas durante o período de estágio em uma empresa de logística. É possível ressaltar um grande aprendizado sobre a importância do acompanhamento e análise de indicadores de produtividade, principalmente para a prática da melhoria contínua, indispensável para empresas que querem se manter à frente no mercado, dada a grande competitividade presente nos mais diversos setores atualmente.

Depois de desenvolvido este projeto as seguintes conclusões se tornaram evidentes:

- Sobre o cálculo da Eficiência Global de Equipamentos empregado na empresa: ao ser realizado um estudo mais profundo sobre o indicador OEE, observou-se que o cálculo utilizado pela empresa em questão, na verdade, não se tratava do verdadeiro indicador, como encontrado na literatura especializada.
- Sobre a elaboração do novo cálculo para o indicador: a partir da análise do processo produtivo da empresa e suas especificidades, foi elaborada uma nova memória de cálculo para o OEE. O novo método de cálculo é realizado a partir dos três parâmetros padrão do OEE: Disponibilidade, Desempenho e Qualidade. Tais parâmetros são fundamentais para evidenciar as Seis Grandes Perdas no processo produtivo, permitindo a empresa concentrar esforços na realização de melhorias com o objetivo de mitigar e eventualmente eliminar tais perdas. Com o novo cálculo proposto, os responsáveis na empresa perceberam as mudanças necessárias a serem feitas para tornar o indicador mais assertivo quanto à mensuração da produtividade no processo de carregamento ferroviário. Ainda, com a proposta do indicador TEEP, o cálculo de Utilização empregado pela empresa não será perdido, e com as mudanças propostas, o cálculo será mais preciso, evidenciando as perdas em relação às horas em que não há produção agendada.
- Sobre a proposta do indicador para empresa: devido à vários fatores internos, como o período orçamentário da empresa para o ano seguinte, o cálculo proposto não pode ser imediatamente colocado em prática. Além disso, como o cálculo é realizado por diversos sites da companhia, deve-se assegurar que todos têm condições de realizar a coleta dos dados necessários de forma correta para o cálculo do indicador. Caso seja possível, no futuro a área de engenharia irá elaborar novos documentos oficiais, validando o cálculo proposto, que passará a ser utilizado por toda a companhia.
- Sobre a importância do acompanhamento da produtividade: após os estudos realizados, a autora reconheceu ainda mais a importância do cálculo de indicadores de desempenho de processos produtivos. Ao longo dos anos, muitas tecnologias vêm sendo desenvolvidas e empregadas em empresas com o objetivo de tornar a produção mais eficiente. Entretanto, é necessário realizar o monitoramento de tais processos, evidenciando as principais perdas sofridas e onde elas ocorrem, de forma a se obter um direcionamento mais preciso para a realização de projetos de melhoria que visam melhorar o desempenho de plantas operacionais.

REFERÊNCIAS

BUSO, Christianne Matias; MIYAKE, Dario Ikuo. Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica. *Production*, v. 23, n. 2, p.205-225, 2 out. 2012.

DE CASTRO, G., CHIROLI, D. Eficiência Global dos Equipamentos: Aplicação da Métrica para Gerenciamento Efetivo de uma Cadeia Produtiva de Plásticos. *Simpósio de Engenharia de Produção – SIMPEP*. Bauru, nov. 2011.

FLEISCHER, J.; WEISMANN, U; NIGGESCHMIDT, S. Calculation and Optimization Model for Costs and Effects of Availability Relevant Service Elements. *LCE*, 2006.

FUENTES, F. F. E. Metodologia para inovação da gestão de manutenção industrial. Tese. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. 2006.

HAILU, H.; MENGSTU, S; HAILU, T. An integrated continuous improvement model of TPM, TPS and TQM for boosting profitability of manufacturing industries: An innovative model & guideline. *Management Science Letters*, v. 8, p.33-50, Jan. 2018.

JOSEPH, A.; JAYAMOHAN, M. S. Evaluation of Overall Equipment Effectiveness and Total Effective Equipment Performance: A case study. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, n. 5, v. 4, maio 2017.

NAKAJIMA, S. Introduction to Total Productive Maintenance (TPM). Productivity Press, 1989.

OKPALA, C. C.; ANOZIE, S. C.; EZEANYIM, O. C. The Application of Tools and Techniques of Total Productive Maintenance in Manufacturing. *International Journal of Engineering Science and Computing*, n. 6, v. 8, p.115-120, jun. 2018.

WOJAKOWSKI, Paweł. Plant performance calculation in automotive industry using andon system. *Research in Logistics & Production*, n. 4, v. 5, p.361-370, 2015.

REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS E OTIMIZAÇÃO DA LINHA DE PRODUÇÃO POR MEIO DE UM PROJETO LEAN SIX SIGMA

Jose Guilherme Arita, UFU, josearita@outlook.com
Augusto César Santos Peixoto, UFU, augusto-csp@hotmail.com
Felipe dos Anjos Rodrigues Campos, UFU, filipin_anjos@hotmail.com
Leonardo Rosa Ribeiro da Silva, UFU, leonardo.rrs@gmail.com

RESUMO

O projeto em questão visa demonstrar que a adoção de uma metodologia formal de trabalho, no caso o lean six sigma, para definir um projeto de melhoria contínua da cadeia produtiva, pode trazer ganhos significativos em termos de desempenho e principalmente lucratividade. Para tanto, foi proposto um projeto lean six sigma, em uma empresa do ramo agrícola produtora de sementes de soja, de mudança no processo de ensacamento do produto acabado. A variação no peso de mil sementes de soja pode ultrapassar 100g, ocasionando, em um saco de produto acabado, uma variação de até 25% em peso, abrindo grande espaço para atuação na eliminação de desperdícios ao mesmo tempo em que se mantém a qualidade esperada pelo consumidor.

Palavras-chaves: Gestão dos Sistemas de Produção, análise Estatística, Lean Six Sigma, soja, sementes, indústria Agrícola, desperdícios, ganho Financeiro.

INTRODUÇÃO

Enquanto consumidores da sociedade capitalista, podemos facilmente observar algumas mudanças no mundo, especialmente quando se faz interface com o desenvolvimento tecnológico. Por exemplo, o acesso à informação através da globalização deslocou o consumidor e cliente ao centro das atenções, mudando totalmente o modo com o qual as empresas desenvolvem seus produtos e mais ainda, seus modelos de negócios. Neste contexto, talvez uma das consequências mais relevantes para as empresas, é a de que não há mais espaços para erros, tornando a busca pela excelência operacional obrigatória para manter as companhias competitivas frente aos outros players do mercado (Campos, 1992).

Em meio a esta busca pela melhoria contínua, surge uma metodologia de trabalho altamente disciplinada, estatística e efetiva de conduzir projetos de melhoria contínua com pouco ou nenhum investimento, utilizando-se de dados e informações dos próprios processos (Carvalho & Paladini, 2005). Em suma, a metodologia lean six sigma se propõe a focar e desenvolver melhorias para que a variabilidade dos processos envolvidos e alvo do escopo do projeto sejam próximas à nula, diminuindo a distância à perfeição. Este projeto de fim de curso tem por objetivo geral a proposição de um projeto de melhoria do processo produtivo de uma empresa do ramo agrícola, produtora de sementes, de forma que os ganhos financeiros existam e sejam notáveis, através do uso da metodologia lean six sigma.

Projetos de melhoria de processos são muito bem quistos por qualquer organização porque garantem melhores níveis de qualidade, segurança, entregas nos locais e prazos corretos e principalmente menores custos, a um baixo nível de investimento. Aliando-se então uma metodologia que busca reduzir a variabilidade de um processo com práticas e ferramentas do lean manufacturing, que é uma filosofia de gestão, temos um instrumento altamente eficaz e poderoso em termos de garantir os pontos citados acima a, também, um baixo nível de investimento.

Já entrando mais no escopo do projeto deste trabalho, decidiu-se por realizar um projeto lean six sigma nos processos produtivos de uma empresa, dentro da área de planejamento e controle da produção, que envolvem dados e informações de qualidade, estimativa de produção e compra de insumos e matérias primas.

METODOLOGIA

Utilizou-se da seguinte metodologia para desenvolvimento deste trabalho:

- Etapa Abertura (não pertencente à filosofia lean six sigma): alinhou-se com a empresa a proposta de desenvolver um projeto lean six sigma nos processos produtivos, a fim de levantar soluções e oportunidades de enxugamento dos custos. Levando-se em conta o conhecimento prévio do gerente do projeto e do gestor do gerente do projeto com os dados e informações relacionados ao problema, elaborou-se uma ferramenta que sumarizava todas as possíveis ferramentas que poderiam ser utilizadas no desenvolvimento do projeto.
- Etapa Define: foi nesta etapa que se descreveu claramente o projeto a fim de se definir uma meta. Para tanto, realizaram-se duas reuniões com todos os stakeholders do projeto, mesmo que posteriormente não fossem envolvidos. A primeira das reuniões ocorreu presencialmente de forma que foi feito um brainstorm sobre qual seria o problema a ser atacado. Uma vez levantando o problema, levantou-se também as áreas envolvidas sendo que os responsáveis por cada área junto ao gestor do projeto, reuniram-se em uma segunda ocasião para definir a meta do projeto bem como levantar o histórico do problema e informações secundárias, como possível retorno econômico e prioridade. De posse destas informações, concluiu-se que o projeto deveria ser levado adiante e então se definiu a equipe do projeto e as principais necessidades dos clientes do projeto. Nas reuniões entre a equipe do projeto elaborou-se o SIPOC (Supplies, Inputs, Process, Outputs, Customers) e o Project Charter;
- Etapa Measure: nesta etapa decidiu-se entre as alternativas de coletar novos dados ou usar os já existentes na empresa, sendo que, pela característica de forte gestão do conhecimento e confiabilidade das informações, não foi preciso coletar novos dados. A equipe do projeto, então fez um estudo qualitativo do principal processo envolvido no problema, desenvolvendo um mapa do processo e fazendo uma análise pelo diagrama de Ishikawa. De posse das informações obtidas, então, foi possível montar uma matriz de Causa e Efeito, cujas informações foram apresentadas, visualmente, na matriz de Esforço x Impacto. Finda análise qualitativa inicial, partiu-se para a análise quantitativa, onde se levantou informações estatísticas dos problemas prioritários identificados pela análise qualitativa. É nesta etapa na qual se faz o estudo de normalidade dos dados, característica imperativa para que se possa prosseguir com o desenvolvimento do projeto;
- Etapa Analyze: a etapa de análise consiste em, além de analisar todas as informações e dados levantados e gerados nas etapas anteriores, demonstrar e comprovar, qualitativamente e quantitativamente, que as causas potenciais do problema em questão, são, de fato, relevantes para serem solucionadas pelo projeto. Para tanto, comprovou-se que os dados seguem distribuição normal e não há eventos estatísticos anormais (como por exemplo, outliers extremamente discrepantes). Além disto, fazendo-se uma retrospectiva, analisaram-se os dados de mercado, cruzando-se com as informações do processo produtivo atual, onde ficou evidente os ganhos financeiros possíveis deste projeto. Por último, a equipe do projeto elaborou a análise FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) dos principais processos envolvidos no problema;
- Etapa Improve: nesta etapa do projeto reuniram-se não apenas a equipe do projeto como também os responsáveis iniciais de cada área envolvida no projeto para que fosse apresentado o que fora desenvolvido até o momento e para que fosse feito um brainstorm a fim de levantar as possíveis soluções dos problemas para as causas identificadas. As ideias foram organizadas em um Diagrama de Árvore e logo a seguir, com as mesmas pessoas, elaborou-se um plano de ação 5W2H;
- Etapa Control: a última etapa de um projeto lean six sigma está muito relacionado à documentação do projeto, que foi o que foi feito após avaliação dos resultados. Caso os resultados fossem positivos e superassem a meta, o projeto terminaria ali e outros problemas seriam solucionados antes de se rodar a metodologia DMAIC novamente a fim de garantir a melhoria contínua do processo envolvido

no problema. Caso, entretanto, o projeto não obtivesse os resultados esperados, a equipe do projeto imediatamente reiniciaria o ciclo DMAIC, levantando novos problemas, responsáveis e ações a serem desenvolvidos. Para ambos os casos, fez-se um forte trabalho de documentação das lições aprendidas bem como de o que foi feito deve ser realizado. Nesta etapa, Procedimentos Operacionais Padrão devem ser elaborados e o projeto, formalmente, deve ser concluído.

RESULTADO E DISCUSSÃO

A soja configurando como produto comercial altamente estratégico para o desenvolvimento do país, deve-se atentar em suprir a demanda interna e externa, sendo, altamente crítico que se seja capaz de produzir o volume requisitado. Neste contexto, surge o papel das empresas produtoras de sementes de soja que estão constantemente investindo em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias que garantam não apenas o mais alto nível de produtividade como também a melhor qualidade do grão de soja.

Assim, com o objetivo de fornecer produtos de sementes de soja com a mais alta qualidade, a empresa analisada por este projeto, solicitou que iniciativas fossem tomadas de modo que fosse possível agregar valor ao seu produto e, então, aumentar a lucratividade. Dentre essas iniciativas, foca-se, neste trabalho, àquelas pertinentes à área de planejamento e controle de produção.

A fase Define possui o objetivo de clarear qual será a meta e o escopo do projeto de modo que, no final, seja possível verificar se houve sucesso com relação ao planejado ou não. Para tanto, na figura 1 apresenta-se um fluxograma das sub-etapas e atividades desenvolvidas dentro da fase Define do projeto.

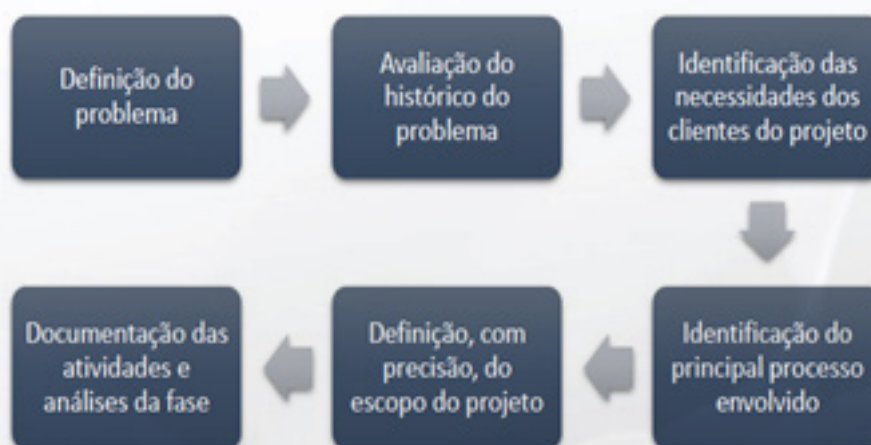


Figura 1 – Fluxograma de subetapas e atividades desenvolvidas na fase Define.

Fonte: próprio autor.

Uma vez que se definiu o problema, foi possível levantar os dados históricos relacionados e então analisar a situação atual. Para tanto, informações relacionadas à quantidade produzida por ano bem como qualidade e custo de produção foram coletadas. Apresenta-se a seguir o gráfico temporal da quantidade produzida (figura 2).



Figura 2 – Quantidade de sacos de sementes de soja analisados por ano, desde 2015.

Fonte: próprio autor.

De posse da situação atual bem como das necessidades dos clientes, é possível, então, através de análise com a equipe do projeto, identificar, ainda que de forma macro, o processo e seus principais subprocessos geradores do problema. Nesta subetapa da fase de definição do problema, utilizou-se a ferramenta SIPOC (acrônimo para Suppliers, Inputs, Processes, Outputs and Customers ou Fornecedores, Entradas, Processos, Saídas e Consumidores, em português), que esta devidamente preenchida e apresentada na tabela 1 a seguir:

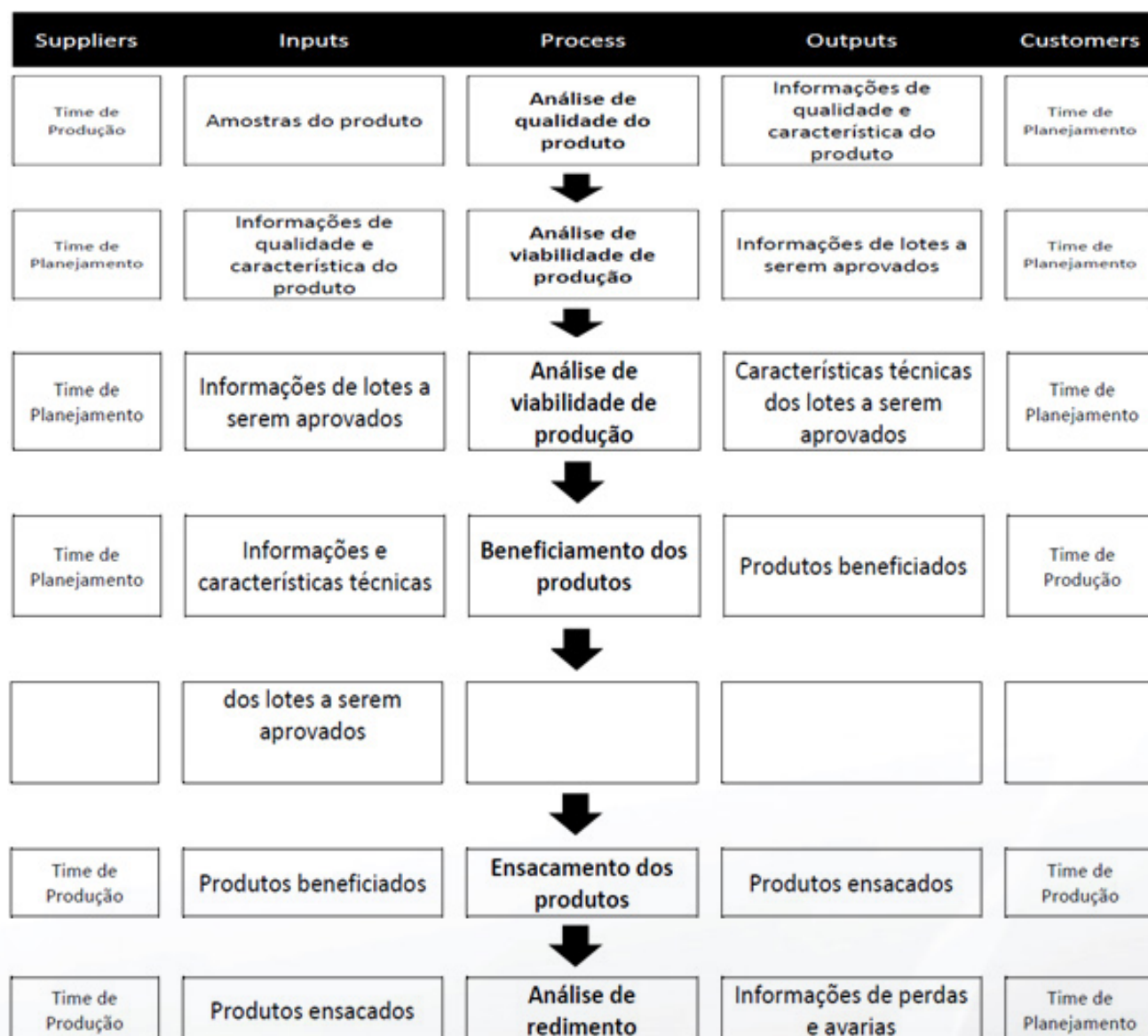


Tabela 1 – O SIPOC é uma ferramenta que analisa, em nível alto, os processos envolvidos no problema.

Fonte: próprio autor.

O primeiro processo do SIPOC, é o de análise da qualidade do produto, sendo que esta é feita apenas na colheita. Assim sendo, não há envolvimento algum com processos anteriores, como plantio e maturação, nos campos. Uma vez que o time de Produção envia as amostras dos produtos ao time de Planejamento, o time de Planejamento envia ao laboratório as amostras e obtém as informações de qualidade e característica. De posse dessas informações, analisa a viabilidade de produção determinando as informações e características técnicas dos lotes a serem aprovados. Tais dados é então repassado ao time de Produção que prossegue com o beneficiamento e ensacamento do produto. Por último, o time de Produção envia as informações de produto acabado para que o time de Planejamento faça a análise de rendimento.

O diagrama de Ishikawa foi utilizado para levantar algumas causas potenciais de variação, que são as entradas dos processos.

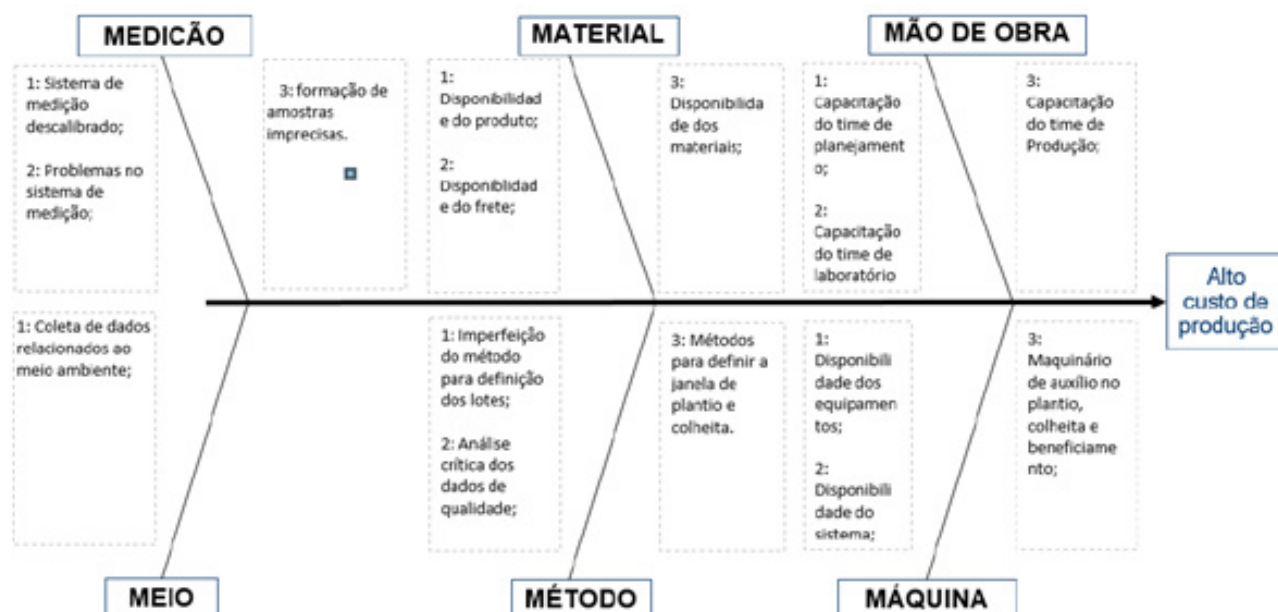


Figura 3 – Diagrama de Ishikawa relacionando as causas em forma de oportunidades de ação para o efeito observado de alto custo de produção

Fonte: próprio autor.

Pelo diagrama acima, Figura 3, pode-se observar que para o efeito em questão, que é o alto custo de produção, há uma série de causas potenciais listadas e classificadas de acordo com categorias pré-definidas de medição, material, mão de obra, meio, método e máquina. Assim, por exemplo, dentro da categoria de máquinas, uma causa possível para o alto custo de produção é a disponibilidade dos equipamentos, que podem estar quebrando muito e com baixa disponibilidade.

Seguindo-se com a filtragem das causas potenciais, uma vez que foram detalhadas do ponto de vista dos 6M's, utiliza-se a Matriz de Causa & Efeito a fim de quantificar a pertinência de cada variável de entrada nas causas levantadas. Na figura 32 apresenta-se, visualmente, a sinergia entre o Diagrama de Ishikawa e a Matriz de Causa & Efeito uma vez que são ferramentas complementares.

Índice de Importância da causa potencial		10	8	3	7	Total	ESFORÇO
Variáveis de entrada		Análise das Informações de qualidade	Capacitação dos times envolvidos	Disponibilidade dos materiais e frete	Coleta de dados		
X1	Número de amostras recebidas/enviadas	3	3	6	7	121	1
X2	Capacidade de recebimento/envio de amostras	3	1	8	5	97	1
X3	Planejamento de envio de amostras	1	1	10	8	104	9
X4	Capacidade de análise das informações de qualidade	10	5	8	1	171	4
X5	Disponibilidade do sistema	3	8	1	7	146	8
X6	Fatores climáticos	10	10	1	10	253	10
X7	Análise da qualidade	10	5	5	6	197	3

Legenda para Índice e Esforço: 10 - 9 - 8: Forte Correlação 7 - 6 - 5 - 4: Média Correlação 3 - 2 - 1: Baixa Correlação

Tabela 2 – Matriz de Causa e efeito

Fonte: próprio autor.

Na listagem da Matriz de Causa & Efeito, denominado por X1 até X7, estão as variáveis de

entrada do processo de análise de viabilidade de produção e nas colunas estão as informações de causas (listadas no Diagrama de Ishikawa), que foram filtradas de acordo com relevância para o projeto, por exemplo, embora a causa listada no Diagrama de Ishikawa de “formação de amostras imprecisas” seja altamente relevante, por se tratar de um processo que também envolve processos de produção, do time de Produção, a causa em questão foi automaticamente excluída da análise. Acima das causas potenciais, há um fator de multiplicação que relaciona um índice numérico com a relevância da causa potencial, sendo que, de acordo com a Matriz, a causa de “análise de informações de qualidade” é mais importante e relevante que a causa de “disponibilidade dos materiais e frete”. A seguir, os valores da Matriz representam a correlação das variáveis de entrada com as causas potenciais, sendo o índice final a soma da respectiva correlação multiplicada pelo índice de importância da causa. À direita da coluna da pontuação total, há uma coluna que indica o nível de esforço para tratar a variável de entrada, sendo 1 para pouco esforço e 10 para muito esforço, sendo que, por exemplo a variável de fator climático apresenta um nível de esforço muito grande para se tratar enquanto as variáveis de “número de amostras recebidas/enviadas” e “capacidade de recebimento/envio de amostras” apresenta um nível de esforço muito pequeno.

CONCLUSÕES

As principais conclusões foram:

- O lean six sigma, é uma metodologia de trabalho que alinha, dentro das organizações, os níveis estratégicos e operacionais, trazendo, por exemplo, ao dia a dia do operador, as diversas iniciativas de redução de desperdício, corte de gastos e automatização de processos, por exemplo. Ao mesmo tempo, o engenheiro possui papel chave dentro da cadeia produtiva porque conhece tanto dos aspectos técnicos de uma linha de produção, quanto os aspectos de gestão, se tornando, assim, uma peça chave dentro do nível tático da empresa. É, portanto, muito natural que projetos lean six sigma seja desenvolvidos por engenheiros, completamente ou parcialmente dedicados, que os gerenciam com grande facilidade e habilidade.
- A grande competitividade no mundo capitalista leva as empresas a oferecerem cada vez mais valor, mais produto e maior quantidade com menos recursos, menos custos e menos mão de obra. Reside aí a base para a existência de todas as iniciativas de otimização, nas quais o nível tático há de participar com grande afinco e, conseqüentemente, os engenheiros também. Assim, quando um projeto lean six sigma, que visa reduzir a variabilidade de algum processo ou encontrar oportunidades de otimização, os quais em sua maioria são gerenciados por engenheiros ou possuem engenheiros na equipe do projeto, é desenvolvido, espera-se que algum retorno competitivo seja apresentado. Para este projeto em específico, os ganhos em competitividade ficaram evidentes. Além disto, como projetos lean six sigma requerem, no mínimo, dedicação parcial, os engenheiros podem, ainda, desenvolver outras atividades dentro das organizações.
- O benefício da adoção de uma metodologia de trabalho formal percorre dois caminhos: o primeiro é o de que a metodologia lean six sigma, quando utilizada para desenvolver projetos de melhoria contínua, têm como objetivo ganhos financeiros ou de segurança. O segundo caminho é o de que uma metodologia de trabalho formal como o lean six sigma, é uma padronização de trabalho. E, por definição de padrão, que embora não represente o melhor jeito de se fazer algo, é uma forma consagrada e que, na maioria das vezes, produz resultados tangíveis, diminuindo ainda a influência pessoal e emocional das pessoas envolvidas, enquanto aumenta a influência analítica e orientada a dados e fatos.

REFERÊNCIAS

Hilsdorf, W. C. (2000). Six Sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing the World's Top Corporation. New York: Doubleday.

Linderman, K., Schroeder, R. G., Zaheer, S., & Choo, A. (2003). Six Sigma: a goal-theoretic perspective. *Journal Operations Management*, 21.

SANTOS, Celio Antônio Alves dos, & PINTO, Marta Maríci Rímoli Ajei. A Gestão de Pessoas e as Condições de Qualidade de Vida no Trabalho. *Revista Online Sciencomm*, v. 5, p. 4-10, maio 2015. Disponível em: < https://docs.wixstatic.com/ugd/d36699_2de872663951475590e7c3ce6682d867.pdf >. Acesso em 11 Abr. 2019.

ESTUDO DA LINEARIDADE DAS ENTREGAS E DO VOLUME DE UMA EMPRESA DO RAMO DE BEBIDAS VISANDO UM EQUILÍBRIO SEMANAL E OTIMIZAÇÃO DOS RECURSOS DA LOGÍSTICA

Tomás Antonio Donadeli, UFU, tomasdonadeli@hotmail.com
Felipe Chagas Rodrigues de Souza, UFU, felipechagaslepu@gmail.com
Gustavo Henrique Nazareno, UFU, ghnfernandes@gmail.com
Pedro Henrique Pires França, UFU, pedrohenriquepiresf96@gmail.com

RESUMO

No atual mercado financeiro, a busca incessante por competitividade tem demandado das empresas decisões rápidas e precisas em relação aos seus negócios. Porém, em grande parte das vezes, ter uma infraestrutura e meios adequados, boas estratégias de marketing e propaganda, e ofertar ao consumidor produtos os quais atendem seus anseios nem sempre tornam a empresa líder no seu ramo de mercado. Para se manter viva nesse mercado competitivo, tais empresas precisam desenvolver diferenciais os quais oferecerão aos seus clientes produtos de qualidade e de baixo custo, sendo estes entregues rapidamente e em ótimo estado de uso. De certa forma, o planejamento logístico se destaca como uma estratégia primordial para que toda a cadeia de produção envolvida nesse produto se torne eficaz, e no geral, sempre respeitando a satisfação do consumidor final. A realização de um planejamento logístico é essencial para qualquer empresa que queira sobreviver e fazer a diferença no mercado, já que tal processo é capaz de reconhecer as oportunidades de otimização, reduzir os custos nas atividades e buscar potencialização de seus resultados finais. Com isso tal projeto visa estudar o pilar planejamento de tal empresa buscando melhorar seu método de entrega aos clientes, propondo uma proposta na qual linearizaremos as visitas aos clientes e o seu volume de bebidas entregue durante a semana. Assim, estaremos distribuindo melhor as cargas dentro da frota da empresa visando sempre otimizar seus recursos e a satisfação do consumidor. Através deste trabalho, partimos de um indicador, o qual mede tal linearização, de 22,4% para 14,7%, ou seja, uma melhora de quase 8%.

Palavras chave: Aço AISI 430, Incremental Sheet Forming, efeito da lubrificação.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o setor de logística de uma companhia é uma área tão importante quanto às áreas administrativas, financeiras e fabris, visto que, é através dela que os produtos e serviços chegam até os clientes finais. Segundo Fleury (2000), o transporte é o principal responsável por fazer um elo entre toda a cadeia de valor de uma organização, interligando o fornecedor à empresa e o cliente à organização.

Segundo Ballou (2001), a logística é capaz de entregar satisfação e comodidade aos clientes na hora certa e no local adequado, através de diversas ferramentas de gerenciamento baseadas em tecnologias de informações que proporcionam para as empresas a otimização de contratos, planejamentos das rotas e das cargas, consolidação de fretes e a escolha da modalidade.

Portanto, utilizando dessas novas ferramentas de gerenciamentos logísticos o presente trabalho visa estudar uma delas para que assim possa otimizá-lo. A ferramenta em questão é o índice de curva

de venda (ICV), o qual reflete a linearização da curva de vendas/entregas de uma empresa. O seu aperfeiçoamento resulta em uma melhor utilização da frota da empresa, gerando menos gastos para esta, porém nunca se esquecendo das exigências dos consumidores, ou seja, sempre buscando uma melhor satisfação do cliente final (Pires, 2004).

A proposta para o desenvolvimento desse trabalho partiu do fato da empresa no ano de 2017 não possuir bons resultados perante o ICV, conseguindo apenas nos dois primeiros meses do ano alcançar a meta de menos de 20%. Assim sendo, o principal objetivo do projeto, busca garantir a linearidade das entregas e do volume do Centro de Distribuição Direta (CDD), mantendo um equilíbrio entre os dias da semana e a frequência de atendimento dos clientes, otimizando de forma geral os recursos da logística.

Para o atingimento de tal meta, deve-se levar em consideração a frota de caminhões que o CDD possui e a sua máxima carga em hl admissível por caminhão, além do máximo número de visitas que o VDE e o VDI devem realizar diariamente.

Assim sendo, deve-se conciliar as duas realidades dentro do CDD para otimizar a empresa como um todo, ou seja, os vendedores deverão visitar o máximo número de clientes diário, no qual tais clientes comprarão um certo volume de produto, o qual este deve ser ideal para a distribuição, nem baixo a ponto de comprometer a entrega e nem muito alto estourando a máxima carga permitida por caminhão.

Na figura 1 mostra-se a realidade do ICV mensal do ano de 2017, no qual se pode perceber uma baixa aderência à meta de menos de 20%.

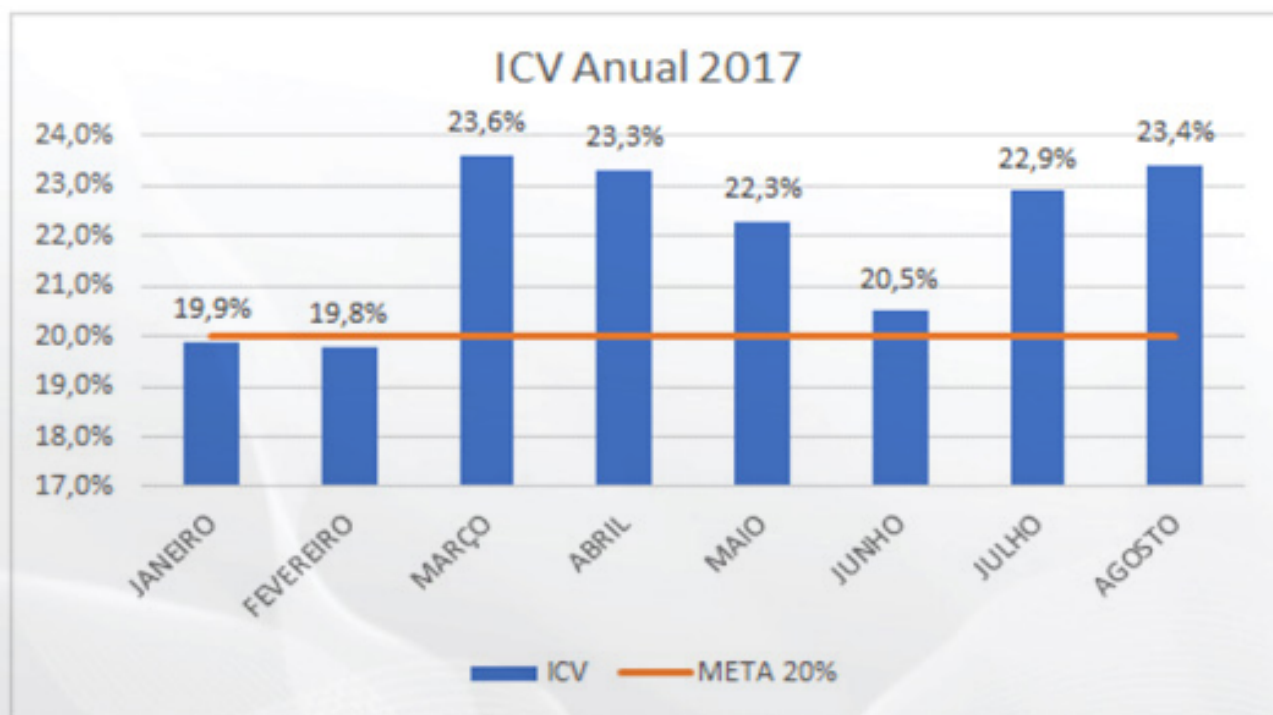


Figura 1 - ICV Anual de 2017 do CDD.

O ICV é o indicador que mede a variabilidade do volume vendido dia-a-dia dentro do mês em uma operação. Trata-se de um IV muito importante para otimizar a estrutura fixa de logística contratada no mês e maximizar o volume entregue pelo CDD.

Dado modelo de distribuição adotado pela empresa, é essencial que os recursos contratados durante o mês sejam utilizados com a máxima eficiência. Alinhado à gestão da disponibilidade da frota contratada, um bom ICV é a chave para garantir esta eficiência na utilização dos recursos.

O ICV é calculado dividindo-se o desvio padrão do volume dia-a-dia, do mês em questão, pela média do volume diário da operação, segundo Eq. (1). Sendo desconsiderado o volume dos dias que estejam em alguma das condições abaixo: domingos e dias com volume menor que 10% da média de volume dos dias do mês.

$$ICV = \frac{DESvio PADRÃO(VOLUME DIÁRIO)}{MÉDIA(VOLUME DIÁRIO)} \quad (1)$$

METODOLOGIA

A base da metodologia e coleta de dados aplicados neste trabalho se deu com base nos relatórios de vendas gerados pela empresa referente ao mês de agosto de 2017. Foi utilizada apenas a base de dados do mês de agosto devido ao fato desta ser a mais recente e a atual realidade de clientes em que o CDD se encontra, pois por motivos de se trabalhar com mercado de bebidas alcoólicas pode-se ter a exclusão ou adesão de clientes em um curto prazo de tempo, desfavorecendo a veracidade do projeto.

O CDD em questão é responsável por fazer entregas em mais de 20 cidades da região do Triângulo Mineiro, apresentando essas cidades uma diversidade de volume entregue e visitas semanalmente.

Para facilitar a nossa análise de dados e estudo do caso, subdividiu-se o CDD em menores regiões. Essas regiões são compostas por cidades mais próximas entre si, ficando assim para cada localidade uma quantidade de caminhões responsável para sua entrega.

Portanto subdividiu-se o CDD nas três regiões a seguir:

- A Região de Araguari é composta por três cidades: Araguari, Amanhece e Piracaíba. Para tal região é disponibilizado um número de quatro caminhões para realizar todas as entregas.
- Na Região de Ituiutaba temos oito cidades, as quais são: Ituiutaba, Cachoeira Dourada, Capinópolis, Ipiaçu, Gurinhatã, Flor de Minas, Chaveslândia e Santa Vitória. Sendo oferecidos para a região sete caminhões para realizar as entregas.
- Por fim, para Região de Uberlândia são oferecidos quinze caminhões os quais poderão realizar entregas nas cidades de Uberlândia, Cruzeiro dos Peixoto e Tapuirama.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Região de Araguari

A Região de Araguari, na base de dados de agosto de 2017 apresentou um ICV de 41,6%, tendo um volume semanal de 969 hl. Desse volume, a maioria dele se destina a cidade de Araguari, ficando menos de 100 hl para Piracaíba e Amanhece.

Ao analisar o volume entregue em Amanhece, notou-se que a cidade apenas recebe os produtos na terça-feira, totalizando um total de apenas 16 hl. Portanto, para a cidade em questão não foram feitas propostas, permanecendo ela com entregas apenas na terça.

Quando se observou a cidade de Piracaíba, esta recebe produtos na terça e quinta-feira. Porém o volume de quinta-feira fica abaixo dos 6 hl, sendo este muito baixo e desfavorável para a distribuição, enquanto que na terça-feira apresentamos um volume também baixo, mas o qual pode ser acrescido de 6 hl sem comprometer a entrega. Portanto para a cidade de Piracaíba alterou-se a visita de um ponto de venda (PDV) de quinta-feira para terça-feira otimizando os recursos da logística.

Por outro lado, a cidade de Araguari apresentou entregas durante toda a semana, sendo esse volume mensal entregue distribuído da seguinte forma:

- Na segunda-feira apresenta um volume entregue de 232 hl;
- Terça-feira apresenta um volume entregue de 1052,6 hl;
- Quarta-feira apresenta um volume entregue de 666,1 hl;
- Quinta-feira apresenta um volume entregue de 1064,7 hl;
- Sexta-feira apresenta um volume entregue de 1089,8 hl;
- E no sábado apresenta um volume entregue de 669,6 hl.

Ou seja, nota-se um desequilíbrio no volume entregue durante toda a semana. Porém para realizar tal alteração não se pode levar em conta apenas o volume entregue, porque no presente caso, trabalha-se com bebidas alcoólicas e seu maior consumo se dá nos finais de semana e próximo a eles. Levando em conta esse fato, PDV's grandes não aceitarão terem seus dias de recebimento de produtos mudados do final de semana.

Assim sendo, a proposta sugerida foi de alterar certos PDV's que recebiam seus produtos na terça-feira para segunda-feira e outros que recebiam na sexta-feira para quarta-feira.

No contexto geral, a Região de Araguari antes da proposta apresentava uma distribuição de volume vendido e frequência de visita do vendedor como se mostra na figura 2.

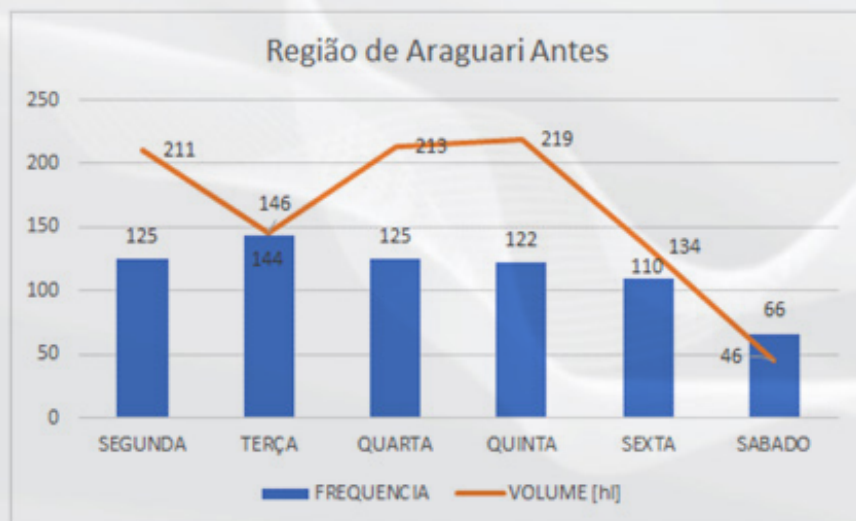


Figura 2 – Distribuição Real da Região de Araguari em agosto.

A figura 2 mostra o volume vendido durante uma única semana, assim como a frequência de visita dos vendedores. Portanto a proposta sugerida para a região em questão, resultou na alteração de 9 PDV's, sendo 1 da cidade de Piracaiba e o restante de Araguari, onde 4 foram de terça-feira para segunda-feira e 4 de sexta-feira para quarta-feira.

Com isso, alcançou-se uma melhora significativa na distribuição de volume vendido, frequência de visitas e ICV os quais podem ser observados nas figuras 3 e 4, respectivamente.

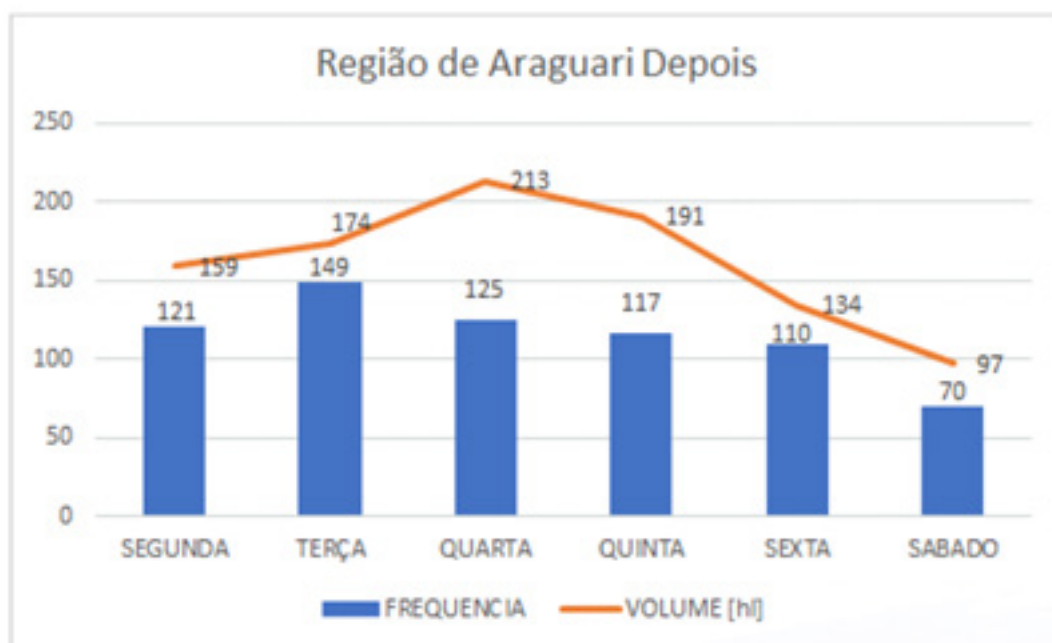


Figura 3 – Distribuição Proposta da Região de Araguari.

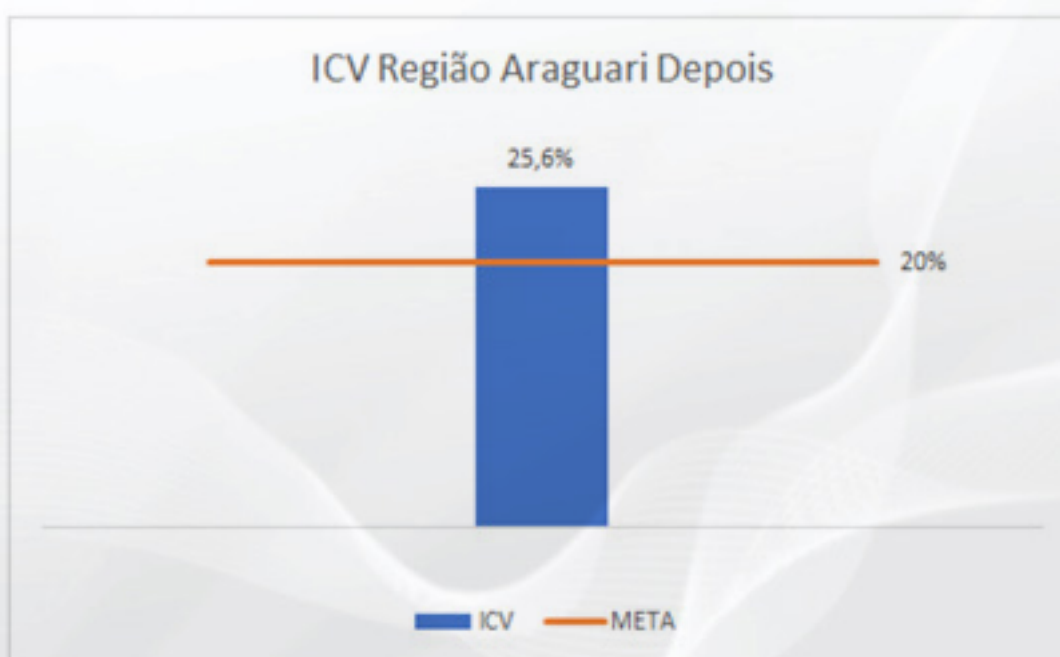


Figura 4 – ICV Proposto da Região de Araguari.

Região de Monte Alegre de Minas

A Região de Monte Alegre de Minas se encontrava com um ICV de 46,1%, o segundo maior das regiões do CDD. A distribuição real da Região de Monte Alegre de Minas se encontrava como mostra a figura 5.

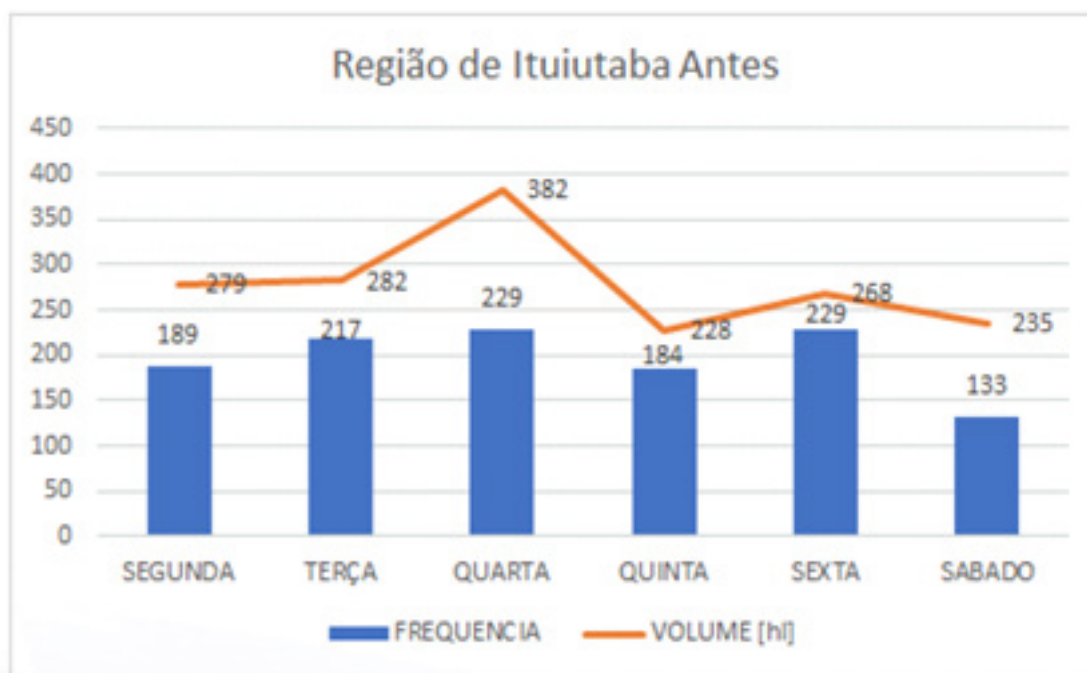


Figura 5 – Distribuição Real da Região de Ituiutaba em agosto.

Do gráfico acima pode-se notar uma distribuição bastante desregular do volume vendido durante a semana dessa região.

Começando a análise para a cidade de Araporã, observou-se que esta apresenta volume vendido em apenas dois dias da semana, sendo estes na segunda-feira e na terça-feira, com um volume de respectivamente 80,5 hl e 452 hl. Para este caso foi necessário a alteração de um PDV com volume de 165,8 hl de terça-feira para segunda-feira para tentar linearizar a região.

Na cidade de Canápolis, foi evidenciada uma situação bastante similar da cidade Araporã, no qual está possui volume vendido apenas em dois dias da semana sendo estes na terça-feira e na quinta-feira com volumes de respectivamente 220,8 hl e 96 hl. Com isso, foi necessário a alteração de 9 PDV's com volumes baixo de terça-feira para quinta-feira.

Na cidade de Centralina, foi encontrado apenas dois dias da semana com entrega de produtos os quais já se encontravam com valores bem próximos de volumes entre si, não sendo necessário a linearização desta cidade.

Para a cidade de Monte Alegre de Minas foi observado que o volume vendido é compartilhado durante todos os dias da semana, exceto na terça-feira. Porém esse volume compartilhado não se encontra distribuído linearmente durante os dias em questão. Portanto para melhor linearizá-lo, foram propostas alterações de mudar o volume entregue na segunda-feira para sábado, e alterar 3 PDV's de quarta-feira para sexta-feira.

A cidade de Tupaciguara também se encontra com um volume vendido compartilhado durante todos os dias da semana. Porém o volume de segunda-feira excede a média da semana desta cidade enquanto o volume de terça-feira não, ou seja, foram alterados 6 PDV's de segunda-feira para terça-feira visando se aproximar da média de volume semanal e o linearizar.

Portanto, com todas as propostas citadas desta região, esta passou de um ICV de 46,1% para 31%, tendo uma distribuição proposta da região como nota-se na figura 6.

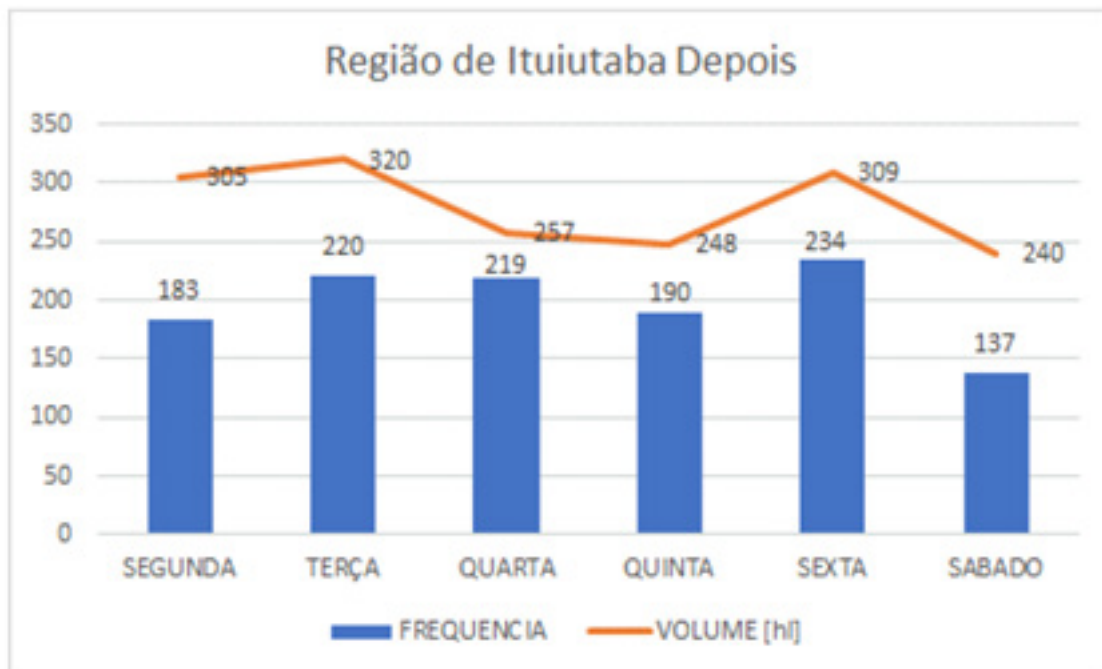


Figura 6 – Distribuição Proposta da Região de Ituiutaba.

Região de Uberlândia

A Região de Uberlândia apesar de já se encontrar com um ICV abaixo da meta, com 18,4%, é a região com o maior volume vendido durante a semana, apresentando um volume semanal de 3743 hl. Com isso, esta é a região com maior influência no ICV do CDD, sendo a grande responsável pelo atingimento ou não da meta no mês.

Sendo assim a região em questão apresentou uma distribuição de volume e frequência de visitas do vendedor no mês de agosto como mostra a figura 7.

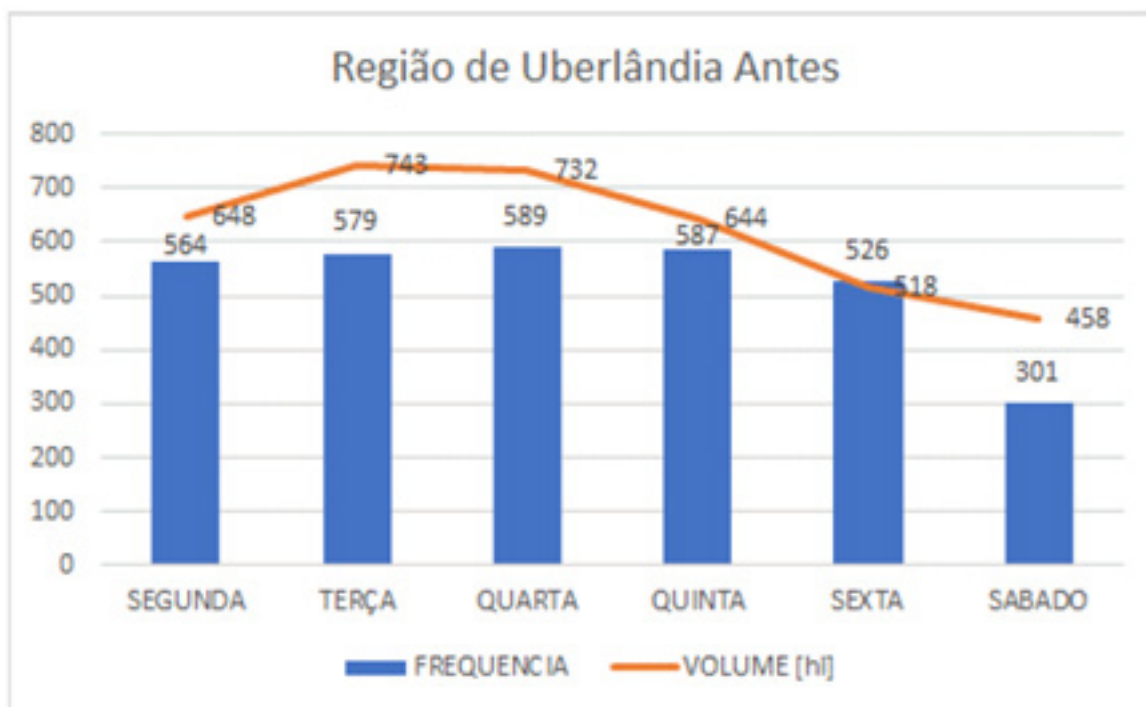


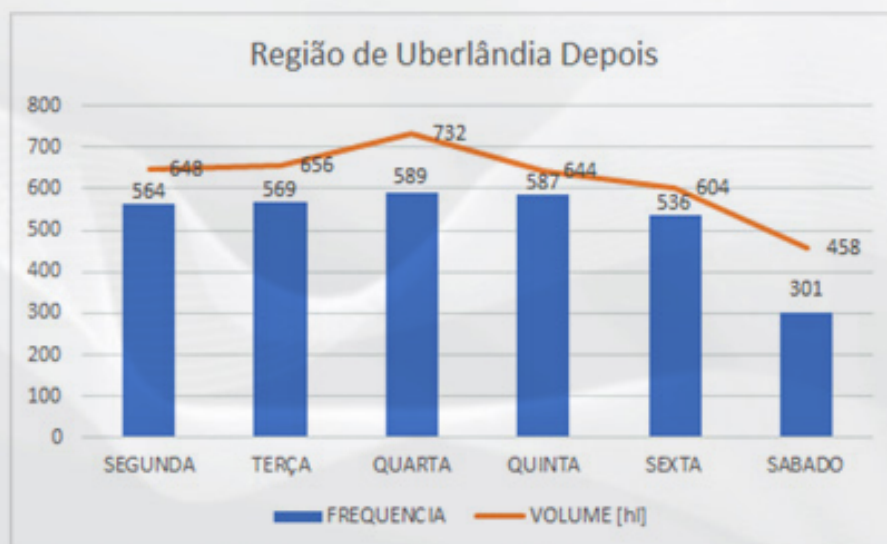
Figura 7 – Distribuição Real da Região de Uberlândia no mês de agosto.

Assim sendo, as cidades de Cruzeiro dos Peixoto e Tapuirama por apresentarem volumes vendidos bem inferiores ao de Uberlândia e já se encontrarem próximos da linearização, ambas as cidades não tiveram PDV's com visitas dos vendedores alterados.

Logo começando a análise da região na cidade de Uberlândia, encontrou-se um volume vendido compartilhado durante todos os dias da semana, e estes já se encontrando bem próximos da média semanal. No entanto apenas no dia de sexta-feira que foi evidenciado volumes vendidos mais abaixo da média. Com isso a ideia continuo partindo da premissa de retirar PDV's do dia com maior volume vendido e alterá-los para o de menor volume vendido. Portanto, foram encontrados 12 PDV's os quais tiveram seus dias de visitas alterados de terça-feira para sexta-feira.

Com essa alteração de 12 PDV's de terça-feira para sexta-feira, foi obtido uma melhora no ICV da região de 18,4% para 14,6%, representando uma melhora na distribuição semanal da região como mostra a figura 8.

Figura 8 – Distribuição Proposta da Região de Uberlândia.



CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma variedade de volumes vendidos nas cidades as quais são atendidas pelo CDD, tendo cada cidade uma característica diferente, podendo ter um volume vendido já linearizado ou não, possuindo em todos os dias da semana uma visita do vendedor ou não, entre outras características.

No entanto, o estudo buscou a otimização dos recursos da logística da empresa através da melhoria do ICV do CDD, respeitando sempre a quantidade máxima de visitas que um vendedor pode realizar em sua rotina de trabalho e o máximo volume que os caminhões da frota podem entregar. Com isso, através das alterações de visitas de vendedores a certos PDV's foi possível notar um resultado positivo do trabalho, com um ICV proposto de 14,7%.

Porém, resultados positivos propostos não possuem valor significativos quando não são postos em ação e assim comprovados a veracidade do estudo. Após a implementação do trabalho a empresa obteve um resultado real de ICV do mês de setembro de 15,7%, sendo por meio deste valor legitimado o resultado do trabalho.

Entretanto, ao se trabalhar com um produto que é altamente influenciado pelo clima, estações do ano e festividades, podendo ter um desequilíbrio na curva de venda, pois como no caso estudado, bebidas alcoólicas, o verão favorece a sua venda, assim como festas e altas temperaturas ambientes. Além do fato de sempre ter novos PDV's se juntando a base de clientes e a saída de alguns. Por esses motivos, a análise constante do ICV é de suma importância para a empresa, para que assim, ela possa sempre buscar a otimização dos seus recursos logísticos.

REFERÊNCIAS

BALLOU, Ronald H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial. 5ª ed. Porto Alegre: Bookmann, 2001.

FLEURY, M.; FLEURY, A. Estratégias Empresariais e Formação de Competências– Um Quebra cabeça Caleidoscópio da Indústria Brasileira. São Paulo, Atlas, 2000.

PIRES, S. R. I. Gestão da cadeia de suprimentos (Supply Chain Management): Conceitos, estratégias, práticas e casos. Editora Atlas. São Paulo, 2004.

MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE: ESTUDO DE CASO DA EFICÁCIA DOS EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

Gabriel Rezende Marques UFU, gui_marques23@hotmail.com
Felipe Chagas Rodrigues de Souza, UFU, felipechagaslepu@gmail.com
Gustavo Henrique Nazareno, UFU, ghnfernandes@gmail.com
Pedro Henrique Pires França, UFU, pedrohenriquepiresf96@gmail.com

RESUMO

A maioria das máquinas industriais opera a partir de motores, que estão susceptíveis a defeitos e falhas durante a utilização. Esses problemas podem ocasionar parada da máquina e perda de eficiência no processo produtivo. Portanto, é muito importante que o serviço de manutenção conheça os equipamentos de sua responsabilidade e saiba as condições de eficácia de cada um, para que possa realizar de forma eficiente a intervenção necessária e em momento oportuno para que a produção não seja interrompida de forma brusca e inadvertidamente. O conceito de manutenção preditiva baseada na confiabilidade vem ganhando destaque nos dias atuais, consistindo na manutenção programada baseada no diagnóstico das condições do equipamento, evitando paradas inesperadas. Na realização do trabalho foi utilizada uma metodologia de pesquisa qualitativa com estudo bibliográfico enriquecido com estudo de caso empregando técnicas da manutenção centrada em confiabilidade. Para reduzir ou eliminar os problemas gerados no funcionamento de equipamentos, foi necessário utilizar técnicas de manutenção para prever falhas antes que as mesmas aconteçam. Sendo, portanto, avaliado o comportamento destes equipamentos durante seu ciclo de vida, por meio de uma técnica de manutenção preditiva associada ao conhecimento da máquina e a confiabilidade do serviço de manutenção. Foi elaborada uma tabela para classificar a criticidade dos equipamentos e favorecer a priorização da manutenção em componentes críticos para a empresa. Os equipamentos considerados críticos foram submetidos à análise de vibração para prever falhas e evitar a parada da máquina. Por meio deste trabalho realizado, foi possível demonstrar que a manutenção centrada na confiabilidade objetiva a eficácia dos equipamentos e o bom funcionamento de toda organização. Além disso, pôde-se concluir que a análise de vibração é uma ferramenta eficiente e importante para a manutenção preditiva.

Palavras chave: Manutenção; Confiabilidade; Criticidade.

INTRODUÇÃO

A Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM – Reliability Centred Maintenance) é uma forma eficaz de manter equipamentos em perfeito estado de funcionamento com aplicação de um método estruturado para estabelecer a melhor estratégia de manutenção. Sendo realizado inicialmente com a identificação da funcionalidade ou desempenho requerido pelo equipamento no seu contexto operacional, analisando seus modos de falha e as causas prováveis deste acontecimento detalhando os efeitos e consequências deste possível episódio. Com esta análise detalhada é possível avaliar a criticidade das falhas, onde podem ser identificadas e suas consequências significativas que podem afetar a segurança, a disponibilidade ou custo.

A análise de falhas através da manutenção preditiva baseada na monitoração da vibração tem sido utilizada com sucesso em máquinas e equipamentos industriais desde o início dos anos 70. As bases de refinaria e petroquímicas adotaram o uso desta técnica obtendo economia notável e aumentando a disponibilidade do equipamento produtivo resultando no aumento também da produtividade. Conforme Garza (2002), em busca de maior ganho produtivo e durabilidade dos equipamentos é realizada a monitoração de máquinas rotativas em geral e em seus componentes visando proporcionar maior produtividade nas indústrias.

De acordo com Ponci e Cunha (2005), o investimento com a instrumentação para a monitoração de vibração é alto, porém é amortizado em pouco tempo, já que este investimento será responsável por reduzir os custos de manutenção e trazer maior lucratividade para a organização. Pode-se inicialmente trabalhar apenas com medidores e analisadores de vibração analógicos de baixo custo e funcionamento simplificado, que pode atender a um elevado número de equipamentos de diversos tipos.

De acordo com Souza e Lima (2003), por meio da análise de vibração são extraídas inúmeras informações das condições de trabalho do equipamento monitorado. Conforme o catálogo NSK Bearing Doctor (2001), a vibração é causa desgastes dando origem a processos de deterioração e em seguida ocasionando em falhas que podem ocorrer das seguintes formas: descamação, trincas, fraturas, desgaste, corrosão, superaquecimento, oxidação e corrosão.

O “Mean Time Between Failures” (MTBF) em português: Tempo Médio Entre as Falhas e o “Mean Time To Repair” (MTTR) que é: Tempo Médio Para Reparos são dois indicadores relevantes quando o assunto é disponibilidade de aplicação da manutenção. O MTBF representa o tempo médio entre a ocorrência de duas falhas, podendo ser calculado por meio de fórmula do tempo total de funcionamento sem falhas dividido pelo número de falhas. Esta estimativa de eficácia do equipamento permite traçar estratégias para programar momento adequado de manutenção antes que o equipamento seja interditado por falhas, podendo realizar um serviço de manutenção eficaz no melhor momento de forma a não atrapalhar ou impossibilitar o rendimento normal deste equipamento. Já o MTTR é o tempo médio para reparo, representa a média de tempo que se leva para executar um reparo após a ocorrência da falha no equipamento, representada pelo tempo gasto durante a manutenção do equipamento.

Os índices de MTTR e MTBF são dois indicadores utilizados em larga escala há mais de 60 anos como pontos de referência para a tomada de decisões. O MTBF é uma medida básica da confiabilidade de um sistema, enquanto o MTTR indica a eficiência na ação corretiva de um processo.

Com a disponibilidade destes dois dados o MTTR e MTBF, pode-se chegar ao tempo de disponibilidade de um sistema, utilizando esses 2 KPIs que é “Key Performance Indicator” ou Chave do Indicador de desempenho (Eq.1).

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad (1)$$

METODOLOGIA

Inicialmente optou-se por uma metodologia de pesquisa qualitativa sendo que dentre os métodos qualitativos optou-se pelo estudo bibliográfico por compreender que se trata de um tema complexo que requer um tratamento metodológico. Era necessário que o mesmo permitisse entender com mais propriedade o que é análise de vibração em mancais e rolamentos e como ela pode ser empregada na manutenção preditiva. Foi também baseada no conhecimento dos equipamentos para se obter a credibilidade necessária à execução da manutenção com confiabilidade.

Posteriormente foi realizado um estudo de caso com uma análise na indústria para verificação das condições de realização da manutenção nos equipamentos e as condições de eficácia na operação destes equipamentos dentro da organização. Decidiu-se implantar um plano de manutenção centrado na confiabilidade visando transformar o ambiente de manutenção em um ambiente planejado e eficaz em suas atuações.

Foi elaborado um plano de criticidade para priorização dos equipamentos utilizando planilhas de pontuações que foram construídas baseadas em históricos de manutenção da empresa. Todos os ativos da empresa foram classificados em alguma categoria de criticidade que era representada pelas letras “A”, “B”, “C” e “D”, conforme mostrado na Tabela 1. Todos os equipamentos das categorias “A” e “B” foram monitorados periodicamente utilizando uma técnica da manutenção preditiva denominada análise de vibrações.

Prioridade do Equipamento	Tipos de Manutenção	Métodos de Manutenção a serem adotados
A > 3675 (Alta Criticidade)	Manutenção Baseada no Tempo e na Condição	<ul style="list-style-type: none"> • Lubrificação (se for o caso) • Inspeção • Manutenção Preventiva • Manutenção Preditiva
B 2725 até 3675 (Média Criticidade)	Manutenção Baseada no Tempo e na Condição	<ul style="list-style-type: none"> • Lubrificação (se for o caso) • Inspeção • Manutenção Preditiva
C 1175 até 2725 (Baixa Criticidade)	Manutenção Baseada no Tempo	<ul style="list-style-type: none"> • Lubrificação (se for o caso) • Inspeção
D < 1175 (Podem produzir até a falha)	Manutenção Baseada no Tempo	<ul style="list-style-type: none"> • Lubrificação (se for o caso)

Tabela 1 – Categoria de criticidade e métodos de manutenção adotados.

Fonte: Tavares (2007), adaptado pela empresa.

Para a realização das coletas de dados de vibração dos equipamentos foram utilizados o acelerômetro CMSS 2200 da marca SKF (I) e o coletor de vibrações VB-5 da marca Commtest Instruments (II), conforme Figura 1.



Figura 1 – Acelerômetro e Coletor de Vibração.

Fonte: Catálogo Commtest Instruments e SKF.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a implantação da estratégia de manutenção e a priorização dos equipamentos definida, iniciou-se a coleta de dados para análise de vibração dos equipamentos de criticidade “A”. Com isso, a equipe de manutenção começou a planejar as intervenções que seriam feitas nos equipamentos da fábrica. O equipamento analisado foi o motor do dessolventizador (TAG: DT-3010) de criticidade A (7050 pontos), mostrado na Figura 2.



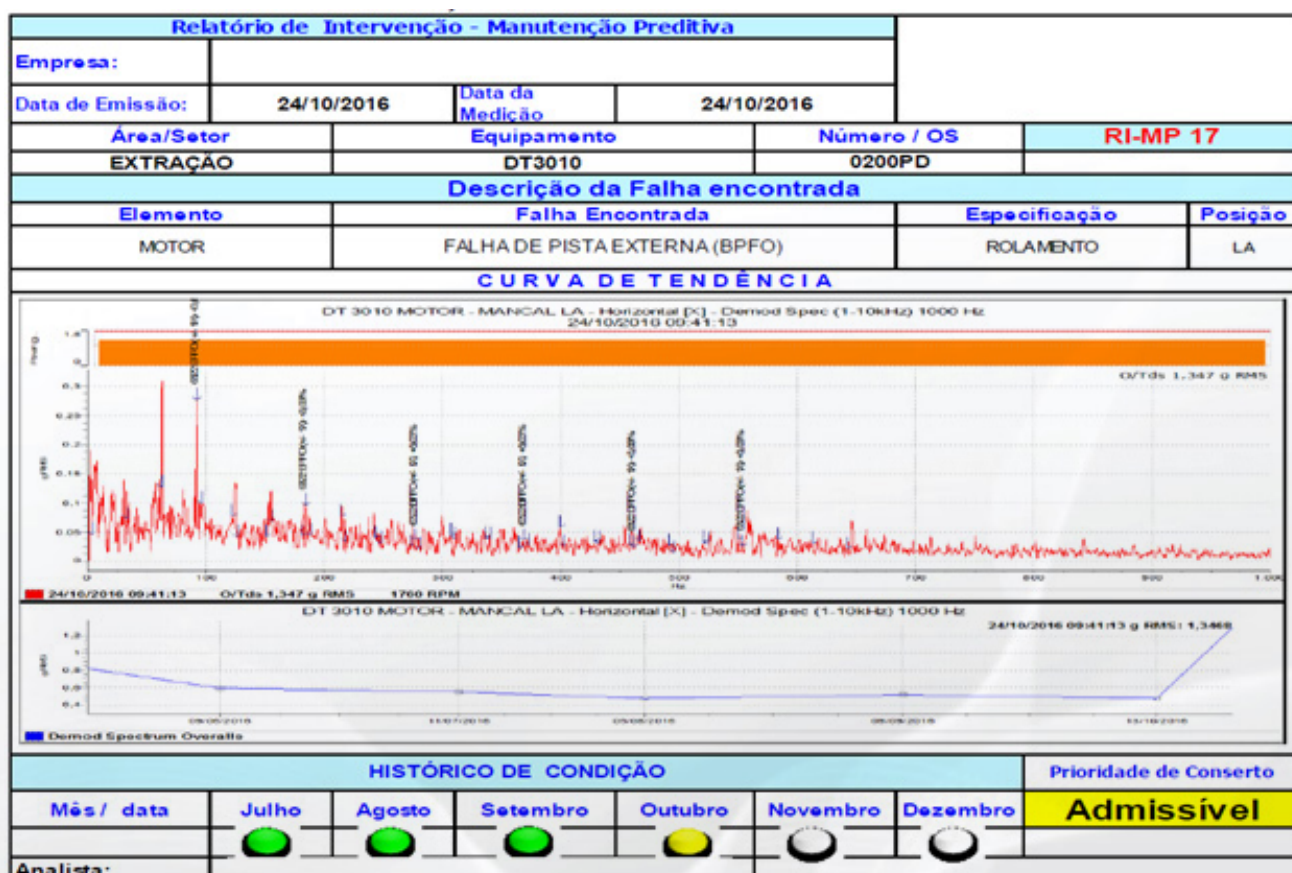
Figura 2 – Acelerômetro e Coletor de Vibração.

Fonte: Arquivo interno da empresa (2016).

O equipamento DT-3010 é um dessolventizador e tostador de farelo de soja. O mesmo opera no meio industrial em duas etapas e é responsável pela remoção do solvente hexano que foi misturado no início do processo produtivo para extração do óleo da soja. Na primeira etapa ocorre a dessolventização, onde o vapor superaquecido entra em contato direto com a pasta de soja visando à separação da maior parte de hexano que ficou retida durante a operação de extração. Na segunda etapa ocorre a tostagem, onde o vapor saturado entra em contato indireto com o farelo de soja, permitindo a evaporação do restante de hexano e promovendo um tratamento para destruir algumas enzimas prejudiciais à digestibilidade.

O equipamento apresentado na Figura 2 é responsável por grandes linhas de produção e tem como componente um motor elétrico com 250 CV de potência. Por se tratar de uma máquina de grande complexidade e importância para a empresa, a mesma se encaixou na classe de criticidade “A”.

O primeiro gráfico apresentado na Tabela 2 foi construído utilizando a técnica do envelope de aceleração de alta frequência. Foi utilizado esse método porque devido à rotação do motor, as falhas de rolamentos são apresentadas dentro da faixa de frequência utilizada. O eixo Y do gráfico representa a amplitude da vibração dada em g RMS. O eixo X do gráfico representa a frequência e o intervalo utilizado é de 0-1000 Hz. O segundo gráfico representa a tendência de evolução da falha onde o eixo Y representa a amplitude da vibração e o eixo X o intervalo de tempo.



Realizando o acompanhamento da evolução da condição do motor do DT-3010, foi diagnosticada uma brusca evolução nos níveis de vibração, com picos característicos de falha de pista externa (BPFO) no rolamento 6322C3, mancal do lado acionado do motor.

Devido falta de disponibilidade de parada, foi iniciada a monitoração do motor duas vezes ao dia e sempre que havia evolução, era realizada uma nova lubrificação nos rolamentos para que fosse possível aguardar uma parada programada.

Apesar do equipamento não apresentar o alarme mais crítico da falha, que é representada pela cor vermelha, a intervenção foi necessária devido à importância, à elevada criticidade e possibilidade de evolução brusca do defeito. Foi programada uma parada para realizar a intervenção e após a análise do equipamento, a equipe técnica de manutenção realizou a substituição dos rolamentos do motor. Foi verificando também as possíveis folgas ou desgastes excessivos nas tampas do motor e realizado o alinhamento à laser do conjunto.

Após a intervenção, em estudo do caso, a equipe realizou o corte do rolamento para verificação do estado do componente, sendo constatado que havia marcas de desgaste na pista externa do rolamento 6322C3, como pode ser visto nas Figuras 3 e 4:

Após a intervenção foi realizado um novo monitoramento a critério de comparação e foi possível observar que os níveis de amplitude de vibração reduziram 13 vezes, como pode ser observado no



Figura 3 – Pista externa do rolamento.
Fonte: Arquivo pessoal da empresa (2016).



Figura 4 – Detalhes da pista externa do rolamento.
Fonte: Arquivo pessoal da empresa (2016).

gráfico de tendência à evolução de falhas demonstrado na Figura 5.

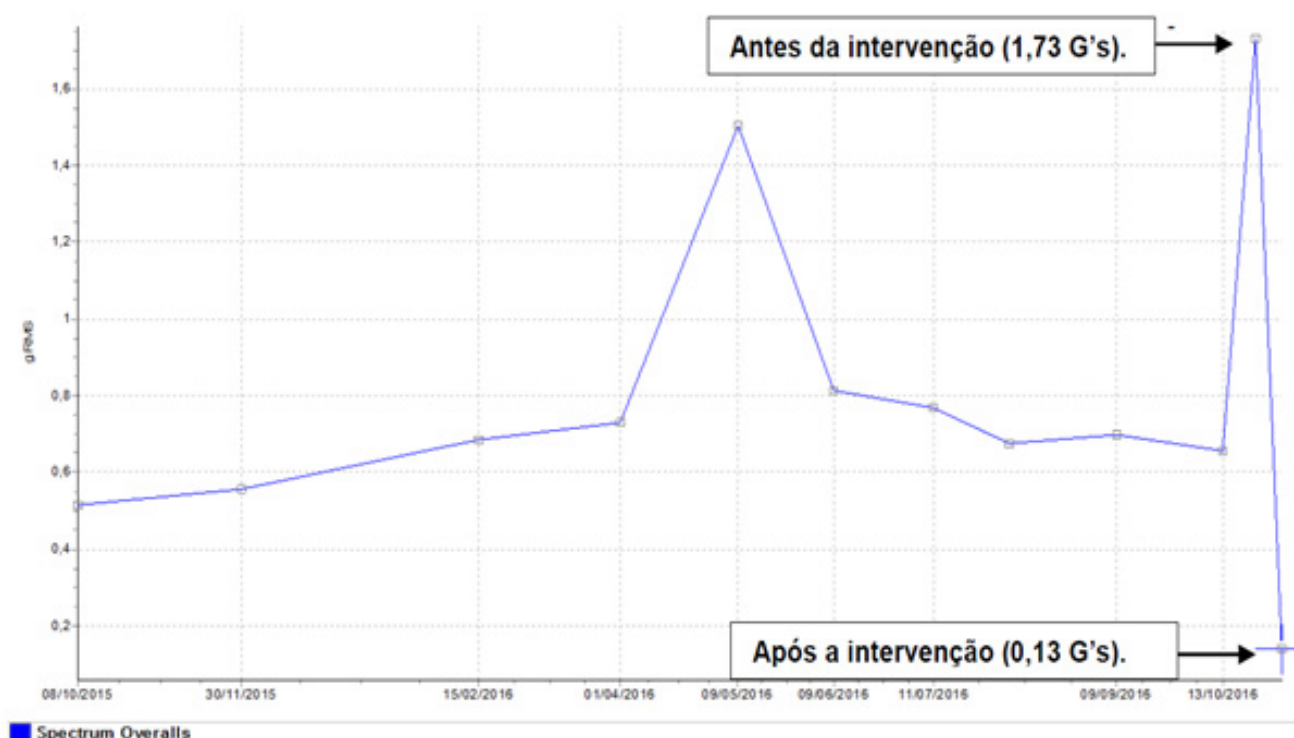


Figura 5: Tendência da evolução do equipamento DT 3010 Motor – Mancal.

Fonte: Arquivo pessoal da empresa (2016).

O gráfico da Figura 5 mostra a evolução da tendência de falhas por meio da amplitude da aceleração dos sinais de vibração. Essa evolução é analisada em relação ao tempo de operação do equipamento. Antes da intervenção da manutenção os níveis de aceleração para o rolamento em questão estavam altos, alcançando o valor de 1,73 G's. Após a intervenção os níveis de aceleração reduziram consideravelmente, chegando ao valor de 0,13 G's, que é um valor adequado para o funcionamento do rolamento. Analisando o gráfico é possível perceber que a evolução da tendência de falhas também sofreu uma elevação na amplitude em um intervalo de tempo anterior, por isso a nova intervenção foi necessária.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho conduziu às seguintes conclusões:

- Melhor compreensão dos conceitos dos principais tipos de manutenções aplicados na indústria.
- O conhecimento do histórico de manutenção do componente é fundamental para o planejamento de futuras intervenções.
- A busca por conceitos inovadores dentro da manutenção proporciona o aumento da produção industrial.
- O cadastro de ativos da empresa baseados na criticidade dos equipamentos contribui para a priorização da manutenção.
- O planejamento adequado dos tipos de manutenção que serão aplicados a cada equipamento previne falhas e evita o desperdício de mão de obra.
- A análise de vibração é uma técnica essencial para a manutenção preditiva, proporcionando a detecção de falhas antes da quebra do equipamento.
- Seguir rigorosamente os planos de manutenção baseados em confiabilidade é fundamental para se obter maior controle dos equipamentos presentes na fábrica.

Demostrou-se que a manutenção centrada na confiabilidade objetiva a eficácia dos equipamentos e o bom funcionamento de toda organização voltada à produção. Para se chegar a um diagnóstico preciso e antes que ocorra uma falha a fim de realizar uma manutenção preditiva ou preventiva de confiabilidade é necessário manter um histórico atualizado dos equipamentos e peças. É preciso organização para que todos os dados estejam disponíveis e sejam seguidos regularmente um cronograma de trabalho das manutenções preditivas. No processo de confiabilidade da manutenção, a análise de vibração, é um recurso utilizado na manutenção de forma preditiva, aliada a análise documental de cada equipamento e no histórico de suas manutenções para que se possa obter informações mais confiáveis para a análise e para alcançar diagnósticos mais precisos, realizando manutenções mais eficazes e confiáveis.

REFERÊNCIAS

GARZA, Luiz. Estudo de Caso da Aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) na Aquisição do Veículo Avançado de Assalto Anfíbio (AAAV). Naval Postgraduate School, United States Navy. California, 2002.

NSK Bearing Doctor. Diagnóstico Rápido de Ocorrências em Rolamentos. NSK BRASIL LTDA. São Paulo, 2001. Disponível em: <www.nsk.com.br/upload/file/B08.pdf>. Acessado em 10 de maio de 2017.

PONCI, L. P.; CUNHA, P. M. R.. Previsão de Falha de Rolamentos por Análise Espectral e de Envelope. Teknikão, 2005.

SOUZA, S. S.; LIMA, C. R. C.. Manutenção Centrada em Confiabilidade como ferramenta estratégica. XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção. Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2003.

MELHORIA CONTÍNUA DA GESTÃO DE PROCESSOS DO SISTEMA SAP ECC® POR MEIO DE PROGRAMAÇÃO VBA® E SAP SCRIPT

Jeancarlo Oliveira Alves, UFU, jeancarlo@ufu.br

Augusto César Santos Peixoto, UFU, augusto-csp@hotmail.com

Felipe dos Anjos Rodrigues Campos, UFU, filipin_anjos@hotmail.com

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva, UFU, leonardo.rrs@gmail.com

RESUMO

A variedade de processos existentes em grandes empresas gera uma quantidade de informações e dados que precisam ser bem gerenciados. A maior parte das empresas utiliza o sistema SAP® em sua gestão empresarial, integrando todos os seus departamentos. Apesar de todas as soluções que o sistema oferece, diversos processos realizados pelos profissionais que utilizam deste sistema são executados de maneira manual, gerando uma quantidade de tempo requerido para a entrada dos dados e obtenção das informações desejadas. Outra desvantagem da execução manual no sistema SAP® é a possibilidade da entrada de dados incorretos, que por sua vez geram informações incorretas. Este estudo consistiu na aplicação de ferramentas de programação como estratégia de melhoria da gestão dos processos no sistema SAP® do departamento de Recursos Humanos de uma grande empresa do ramo alimentício, de forma a proporcionar grandes ganhos de tempo e qualidade na execução dos processos. Feito o levantamento de todos os processos realizados no sistema SAP®, notou-se que parte dos processos são executados diariamente e de forma manual, constatando a necessidade da automatização dos mesmos. A abordagem do tema propõe a aplicação da gestão dos processos por meio da integração da programação VBA® e SAP Script, a fim de obter um maior controle dos processos. Os resultados encontrados mostraram que depois de aplicada a metodologia da proposta, houve melhorias significativas no tempo gasto com os processos, na qualidade na geração das informações e na gestão das atividades com o sistema SAP®. O resultado global mostra um ganho temporal de aproximadamente 36 minutos, totalizando uma melhora temporal de aproximadamente 26% para os processos avaliados no projeto.

Palavras chave: SAP ECC, SAP Script, Visual Basic Application, automatização do SAP, conectividade do SAP com MS Excel.

INTRODUÇÃO

Um gerenciamento eficaz da gama de dados e informações sempre foi um desafio para as empresas de grande porte. Diariamente, diversos processos requerem a produção de relatórios que contêm as informações indispensáveis para as execuções das tarefas. Tal gerenciamento só é possível por meio de um software de gestão que integra todos os departamentos da empresa.

No mercado existem alguns softwares que permitem que as empresas possuam controle do seu negócio. Os sistemas ERP (Enterprise Resource Planning – Planejamento dos Recursos Empresariais) são sistemas integrados de gestão empresarial que interconectam diferentes áreas da empresa para que a informação flua livremente entre elas. Nesse contexto, pode-se citar a SAP AG, empresa alemã e uma das líderes na área de softwares de gestão empresarial.

O SAP R/3® é um sistema integrado de gestão empresarial usado para captar e armazenar as informações e dados de todos os setores de uma empresa, de modo a torná-la mais produtiva e organizada. Também é oferecida ao cliente a possibilidade de usar o sistema SAP® na nuvem. Os softwares SAP® são originários de uma empresa alemã, chamada SAP AG, uma das líderes no segmento.

O SAP ECC® (SAP ERP Central Component - Componente Central do SAP ERP) é um dos ativos mais reconhecidos no portfólio da SAP AG. É um software de planejamento de recursos empresariais que consiste em vários módulos que fornecem às organizações um amplo controle sobre seus principais processos de negócios. Diariamente, diversas empresas no mundo produzem relatórios a partir deste sistema.

Apesar das diversas soluções que este sistema oferece para os seus usuários, muitos processos são executados no sistema SAP® de forma manual, o que acarreta um desperdício de tempo na produção das informações. A produção repetitiva de relatórios requer atenção e parte do tempo da jornada de trabalho do profissional responsável por essa atividade.

Diante da necessidade de solucionar esse problema, as empresas precisam aplicar ferramentas que torne mais eficiente a produção dos relatórios através da plataforma do sistema SAP®. Segundo Santos (2015), a gestão de pessoas e a melhoria das condições de qualidade de trabalho geram resultados relevantes na produtividade dos funcionários. Este estudo consiste na aplicação de ferramentas de programação que tornam a experiência com o sistema SAP® mais automatizada, visando o ganho de tempo e qualidade na realização dos processos, permitindo que o profissional responsável por essa atividade seja mais produtivo.

METODOLOGIA

A estratificação das ações que levaram ao seguinte trabalho pode ser dividida da seguinte forma:

- Estudo do problema: refere-se à análise de como os processos são realizados antes da aplicação das melhorias propostas pelo projeto.
- Levantamento das informações pertinentes aos processos: a coleta das informações e dados foi realizada por meio de entrevistas com os funcionários do departamento de RH, análise dos processos realizados no departamento e testes feitos no sistema SAP® através da produção dos relatórios informativos.
- Criação das planilhas de controle no MS Excel®: criação de interfaces automatizadas e interativas para controle dos relatórios gerados no sistema SAP®.

- Codificação através da programação VBA® e SAP Script: definidos os principais grupos operacionais e as variáveis, foi realizada a produção dos códigos em VBA® que fazem a integração do MS Excel® com o sistema SAP® para cada processo em questão.
- Depuração dos códigos criados: detecção de falhas e erros nos códigos criados.
- Realização de testes sucessivos: colocar em prática a ferramenta criada para a automatização dos processos e analisar os resultados obtidos de modo a melhorar os códigos;
- Validação e aplicação: depois de verificado o funcionamento da ferramenta e solucionados os erros e problemas, se procede com a validação do novo sistema, assim como a sua aplicação efetiva nos processos;
- Formulação das Instruções de Trabalho: documentar todo o projeto, de forma que todos da organização possam entender e utilizar do mesmo.

A conexão entre o sistema SAP® e o MS Excel®, Figura 1, requer alguns procedimentos a serem realizados pelo usuário:

- Criação de um arquivo MS Excel® para a entrada do usuário;
- Criação da interface do usuário na planilha do Excel para inserir dados para o mestre do cliente e as células de saída;
- Aplicar o código VBA® para estabelecer a conexão com o SAP®;
- Ler os dados de entrada para o mestre de clientes na folha de arquivo do Excel;
- Buscar dados do SAP® usando o código de conexão do SAP®;
- Exibir a saída na própria planilha do Excel.

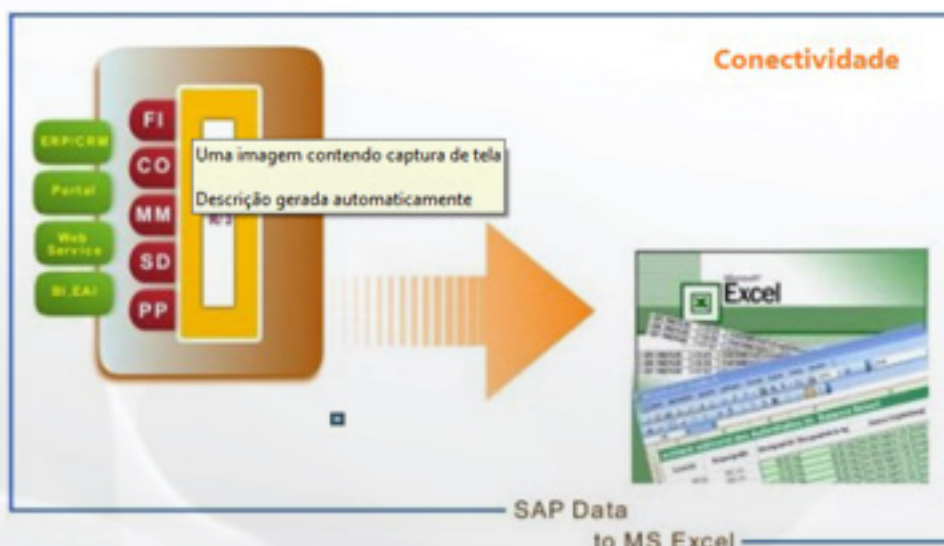


Figura 1 – Dados SAP® para o MS Excel® (adaptado de SAP, 2012).

Com a coleta de informações e dados pertinentes ao trabalho aplicou-se a ferramenta de qualidade PDCA para melhoria contínua do programa. Segundo Lima (2006), o “Ciclo PDCA é uma ferramenta utilizada para a aplicação das ações de controle dos processos, tal como estabelecimento da “diretriz de controle”, planejamento da qualidade, manutenção de padrões e alteração da diretriz de controle, ou seja, realizar melhorias. Essas ações se dividem em quatro etapas básicas que devem ser repetidas continuamente”. Tais etapas, constituídas de seis fases, podem ser vistas na Figura 2.



Figura 2 – Fases do Ciclo PDCA (SILVA, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de controle é responsável em fazer a gestão do processo de produção dos relatórios no sistema SAP® de forma automática. Ele funciona como a parte front-end (parte dianteira) do sistema geral, pois ele trabalha com a parte da aplicação que interage diretamente com o usuário.

É através do sistema de controle, Figura 3, feito no MS Excel® (versão 2016), que o profissional responsável pela atividade faz a produção e gestão dos relatórios no sistema SAP®. Toda a parte de programação, chamada back-end (parte traseira), não é enxergada pelo usuário, tornando o sistema simples e de fácil utilização. Em resumo, o usuário precisa somente escolher a opção desejada que o sistema de controle faz a conexão do MS Excel® com o sistema SAP® através da programação VBA®, e produz as informações desejadas de forma automática.

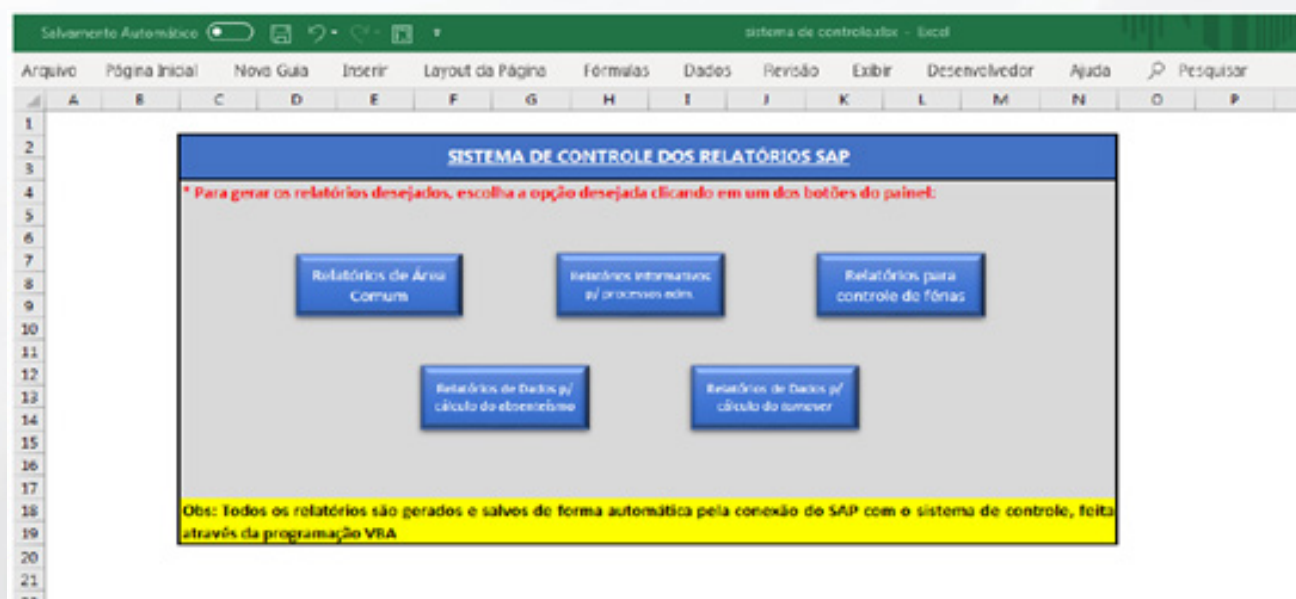


Figura 3 – Sistema de controle dos relatórios SAP®
Fonte: adaptado pelo autor, 2019

O ganho temporal é uma das principais vantagens obtidas com a implementação do novo sistema de gestão dos processos no SAP®, feita através da conectividade do MS Excel® com o sistema SAP® por meio da programação VBA®.

Foi realizada uma análise de tempo para cada processo em questão, de modo a obter os ganhos temporais individuais. Por meio da cronoanálise, foram cronometrados os tempos dos processos realizados de forma manual e com a utilização do novo sistema. Para a obtenção de um tempo mais confiável, foram realizados três testes e tirada a média aritmética dos tempos obtidos. Cada processo possui vários relatórios associados ao mesmo. Os resultados obtidos podem ser visualizados nas Tabelas 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Relatório SAP	Tempo do processo manual (hh:mm:ss)	Tempo do processo com macro VBA+SAP Script (hh:mm:ss)	Ganho direto de tempo manual - macro (hh:mm:ss)	% de Melhora
Estabilidade	00:02:15	00:01:05	00:01:10	51,85%
Afastados	00:02:02	00:01:36	00:00:26	21,31%
Filiação	00:03:48	00:02:54	00:00:54	23,68%
Dados Gerais	00:11:08	00:08:20	00:02:48	25,15%
Desligados	00:03:44	00:01:25	00:02:19	62,05%
Dados dos Dependentes	00:03:14	00:01:43	00:01:31	46,91%
Tempo Total	00:26:11	00:17:03	00:09:08	34,88%

Tabela 1 – Ganho temporal individual para o processo de produção dos relatórios informativos para a área comum da rede compartilhada (6 relatórios)

Fonte: O autor, 2019

Relatório SAP	Tempo do processo manual (hh:mm:ss)	Tempo do processo com macro VBA+SAP Script (hh:mm:ss)	Ganho direto de tempo manual - macro (hh:mm:ss)	% de Melhora
Dados Cadastrais	00:16:32	00:15:17	00:01:15	7,56%
Situação dos Funcionários	00:01:55	00:01:22	00:00:33	28,70%
Funcionários Desligados	00:24:07	00:22:36	00:01:31	6,29%
Base RH	00:07:21	00:06:07	00:01:14	16,78%
Funcionários com Chefia	00:07:14	00:03:45	00:03:29	48,16%
Dados Dependentes	00:03:13	00:02:17	00:00:56	29,02%
Afastados	00:02:05	00:01:13	00:00:52	41,60%
Lista de e-mails	00:01:38	00:01:08	00:00:30	30,61%
Dados dos Desligados	00:18:09	00:11:27	00:06:42	36,91%
Tempo Total	01:22:14	01:05:12	00:17:02	20,71%

Tabela 2 – Ganho temporal individual para o processo de produção dos relatórios informativos para os processos administrativos (9 relatórios)

Fonte: O autor, 2019

Relatório SAP	Tempo do processo manual (hh:mm:ss)	Tempo do processo com macro VBA+SAP Script (hh:mm:ss)	Ganho direto de tempo manual - macro (hh:mm:ss)	% de Melhora
Atestados	00:09:17	00:07:05	00:02:12	23,70%
Registro de Ponto	00:09:15	00:07:15	00:02:00	21,62%
Tempo Total	0:18:32	0:14:20	0:04:12	22,66%

Tabela 3 – Ganho temporal individual para o processo de produção dos relatórios de dados para o cálculo da prévia do absentismo (2 relatórios)

Fonte:O autor, 2019

Relatório SAP	Tempo do processo manual (hh:mm:ss)	Tempo do processo com macro VBA+SAP Script (hh:mm:ss)	Ganho direto de tempo manual - macro (hh:mm:ss)	% de Melhora
Desligados	00:02:42	00:01:00	00:01:42	62,96%
Base de Motivos	00:00:48	00:00:05	00:00:43	89,58%
Tempo Total	0:03:30	0:01:05	0:02:25	69,05%

Tabela 4 – Ganho temporal individual para o processo de produção dos relatórios de dados para o cálculo da prévia do turnover (2 relatórios)

Fonte:O autor, 2019

Relatório SAP	Tempo do processo manual (hh:mm:ss)	Tempo do processo com macro VBA+SAP Script (hh:mm:ss)	Ganho direto de tempo manual - macro (hh:mm:ss)	% de Melhora
Avos de Férias	00:05:39	00:03:57	00:01:42	30,09%
Cronograma de Férias	00:02:08	00:00:46	00:01:22	64,06%
Tempo Total	0:07:47	0:04:43	0:03:04	39,40%

Tabela 5 – Ganho temporal individual para o processo de produção dos relatórios para acompanhamento das férias dos funcionários (2 relatórios)

Fonte:O autor, 2019

Para uma análise geral da melhoria de tempo, o ganho global temporal, assim como a porcentagem de melhora de tempo na realização de cada processo foi feito e é mostrado na tabela 6, a seguir.

Processo	Tempo do processo manual (hh:mm:ss)	Tempo do processo com macro VBA+SAP Script (hh:mm:ss)	Ganho direto de tempo manual - macro (hh:mm:ss)	% de Melhora
Relatórios de Área Comum	00:26:11	00:17:03	00:09:08	34,88%
Relatórios informativos para processos administrativos	01:22:14	01:05:12	00:17:02	20,71%
Relatórios para cálculo da prévia de absenteísmo	0:18:32	0:14:20	0:04:12	22,66%
Relatórios para cálculo da prévia do turnover	0:03:30	0:01:05	0:02:25	69,05%
Relatórios para acompanhamento das Férias dos funcionários	0:07:47	0:04:43	0:03:04	39,40%
Tempo Total	02:18:14	01:42:23	00:35:51	25,93%

Tabela 6 – Ganho temporal global por processo analisado no projeto (5 processos)

Fonte:O autor, 2019

O resultado global mostra um ganho temporal de aproximadamente 36 minutos, totalizando uma melhora temporal de aproximadamente 26% para os processos avaliados no projeto. Podemos ressaltar a melhora de eficiência considerável para a elaboração de relatórios para cálculo da prévia de *turnover*.

CONCLUSÕES

Por meio da análise do funcionamento dos processos avaliados no projeto, constatou-se que melhorias na gestão dos relatórios informativos gerados diariamente no departamento eram necessários e possíveis, através da aplicação da ferramenta de programação VBA® para estabelecer a conexão entre o MS Excel® e o sistema SAP®, permitindo um maior controle dos processos. Tal ferramenta e conhecimento, apesar de restritos, são utilizados em outras organizações de modo a melhorar a experiência dos funcionários com o software de gestão SAP®, que possui uso primordial nas grandes empresas para o controle da gama de informações geradas diariamente.

Por meio da aplicação do plano de ação formulado para o projeto, observou-se as melhorias obtidas na gestão dos processos. Os desenvolvimentos estão relacionados aos ganhos temporais na execução dos procedimentos, evolução da qualidade da atividade, aumento na experiência dos funcionários com o software SAP® e progresso da produtividade e qualidade do trabalho dos mesmos. Uma boa gestão dos relatórios informativos implica diretamente na melhoria dos processos que utilizam destes relatórios, como é o caso dos diversos processos administrativos realizados diariamente e os KPIs analisados pelas gerências e supervisões.

O resultado global mostra um ganho temporal de aproximadamente 36 minutos, totalizando uma melhora temporal de aproximadamente 26% para os processos avaliados no projeto. A empresa analisada no projeto passará a utilizar e implementar a solução abordada por este trabalho, uma vez conhecida as oportunidades e vantagens obtidas pela ferramenta aplicada, de modo a sempre melhorar a gestão dos seus processos com o software SAP®, trazendo uma maior excelência para o seu negócio.

Pode-se concluir que os objetivos gerais do trabalho foram alcançados, superando em grande medida as expectativas do projeto, proporcionando um aprofundamento do aprendizado ao autor do trabalho.

REFERÊNCIAS

LIMA, R. A. Como a relação entre clientes e fornecedores internos à organização pode contribuir para a garantia da qualidade: caso de uma empresa automobilística. Ouro Preto: UFOP, 2006.

SANTOS, Celio Antônio Alves dos, & PINTO, Marta Maríci Rímoli Ajeij. A Gestão de Pessoas e as Condições de Qualidade de Vida no Trabalho. Revista Online Sciencomm, v. 5, p. 4-10, maio 2015. Disponível em: < https://docs.wixstatic.com/ugd/d36699_2de872663951475590e7c3ce6682d867.pdf >. Acesso em 11 Abr. 2019.

SILVA, J. A. Apostila de Controle da Qualidade I. Juiz de Fora: UFJF, 2006.

SIMULAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE USINAGEM NO FRESAMENTO DE TOPO DO INCONEL 718 E VALIDAÇÃO COM RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Augusto César Santos Peixoto, UFU, augusto-csp@hotmail.com
Felipe dos Anjos Rodrigues Campos, UFU, filipin_anjos@hotmail.com
Kaissar de Oliveira Nabbout, UFU, kaissar_on@hotmail.com
Leonardo Rosa Ribeiro da Silva, UFU, leonardo.rrs@gmail.com

RESUMO

Em virtude de suas excelentes propriedades mecânicas à alta temperatura, o Inconel® 718 é largamente empregado em componentes aeronáuticos, componentes de compressores, na indústria automobilística, entre outras. Essa liga caracteriza-se pela sua baixa usinabilidade, possui baixa condutividade térmica e apresenta encruamento quando submetido a esforços de usinagem. A partir destas informações, este trabalho propõe-se a desenvolver um modelo computacional 2D em elementos finitos, utilizando o pacote Advantedge®, a fim de estudar a influência da variação dos parâmetros de usinagem no consumo energético da máquina-ferramenta e na temperatura da ponta da fresa durante o processo. O modelo consiste em uma amostra de o Inconel® 718 com dureza de 450HV, que sofre o arranque de cavaco por uma única rotação de um dente da fresa sobre o material. Alterou-se a velocidade de corte da fresa para valores de 15mm/min e 75mm/min; e para o avanço simulou-se 0,016mm e 0,031mm por dente. Os resultados de temperatura e de potência apresentaram correlação direta com as condições de corte.

Palavras chave: Inconel® 718, fresamento de topo, método de elementos finitos.

INTRODUÇÃO

Para aplicações de trabalho a altas temperaturas, o desenvolvimento de materiais que a aliam propriedades mecânicas (resistência mecânica) e metalúrgicas (resistência à corrosão/oxidação) vem sendo estudados desde a Revolução Industrial (SANTOS-JÚNIOR, 2011). A partir da metade do século passado as ligas de níquel começaram a ganhar espaço em diversas aplicações industriais devido à combinação de boa resistência à fadiga e à fluência, bem como ductilidade e rigidez, mesmo em aplicações com altas temperaturas. Inicialmente empregadas na indústria aeroespacial para a fabricação de peças de turbinas e compressores, rapidamente passaram a também estar presentes em peças das indústrias petroquímicas, automobilística e nos setores médico, químico, entre outros (SANTOS-JÚNIOR, 2011).

Porém, a usinabilidade destas superligas de níquel é um grande desafio para a indústria metalomecânica, pois, devido à sua baixa condutividade térmica, é recorrente a formação de encruamento quando submetido aos esforços de usinagem. Tais ligas também apresentam alta afinidade química com muitos materiais de ferramentas de corte (SUGAHARA, 2012). Dessa forma, há uma grande área de estudo que busca avaliar condições de usinagem adequadas que aliam ganho de produtividade e a qualidade das peças produzidas para essas ligas de níquel.

Dentre as técnicas analíticas de estudo está a simulação modelos que resolvem de forma aproximada as equações que regem o processo de fabricação. E atualmente, uma das melhores ferramentas para a simulação de variados problemas de engenharia, tais como, processos de fabricação, mecânica dos sólidos, transferência de calor, mecânica dos fluidos, análise estrutural, entre outros é o Método dos Elementos Finitos, (REDDY, 2006).

A potência de usinagem é essencialmente a força realizada pela máquina para remover certa quantidade de material em um determinado tempo. Tal grandeza representa o gasto energético que o processo de usinagem demanda, sendo utilizada no dimensionamento do motor da máquina-ferramenta. Segundo Diniz (2006), as forças de usinagens são os principais fatores que influenciam na potência requerida, assim o estudo da ação dessas forças sobre a cunha cortante e suas grandezas é de grande importância.

Segundo Diniz (2006) no fresamento os dentes da fresa ora estão em contato com a peça ora não há este contato, como mostrado na Figura 1, e a espessura do cavaco varia durante o arranque de material por cada dente, estes fatores fazem com que a potência de corte requerida na operação varie a todo instante.



Figura 1 – Fresamento discordante e concordante.
Fonte: Stemmer (2005)

Assim para dimensionar a potência média de usinagem no fresamento usa-se o parâmetro do valor médio da pressão específica de corte (K_s). O valor desse parâmetro teoricamente representa a força tangencial necessária para a retirada de material da peça com uma seção de um milímetro quadrado. Uma aproximação para a potência em função da quantidade de material removida no tempo e da pressão específica de corte média pode ser dada pela Eq.(1).

$$P = \frac{K_s \cdot a_p \cdot a_e \cdot Z_c \cdot v_f}{60 \cdot 10^6}$$

Onde:

Potência de corte efetiva P – dada em kW

Profundidade de corte a_p – dada em mm

Espessura de penetração a_e – dada em mm

Velocidade de avanço v_f – dada em mm/min

Coefficiente de pressão específica de corte K_s – dado em MPa

Número de arestas de corte

Inicialmente empregadas na indústria aeroespacial para a fabricação de peças de turbinas e compressores, rapidamente devido a suas composições e propriedades estas superligas passaram a também estar presentes em peças das indústrias petroquímicas, automobilística e nos setores médico, químico, entre outros (SANTOS-JÚNIOR, 2011). O Inconel® 718 pertence à família das superligas à base de Ni-Cr que tem uma grande variedade de ligas com propriedades mecânicas e aplicações variadas. O Inconel® 718 destaca-se devido as suas propriedades de elevada resistência mecânica, boa resistência à fadiga e fluência, boa resistência à corrosão (SUGAHARA, 2012). Em sua constituição está presente o nióbio contendo de 5,3% a 5,5% do elemento.

De forma geral, os processos de usinagem são regidos por uma grande quantidade de parâmetros. Cada um deles tem uma influência direta com o resultado e a qualidade final da peça produzida. Devido a essa complexidade de variáveis, tem sido de grande interesse o desenvolvimento de métodos práticos e analíticos que buscam determinar o comportamento desses parâmetros durante o processo de usinagem. Contudo, nenhum desses métodos é aceito pelo meio científico como tendo aplicabilidade universal (MACHADO; SILVA, 2004).

Dentre as técnicas analíticas modernas de determinação do comportamento da temperatura e potência durante a usinagem, objetivo deste trabalho, pode-se se destacar o Método dos Elementos Finitos. Segundo Reddy (1993), o método dos Elementos Finitos é atualmente uma das melhores ferramentas para a simulação de variados problemas de engenharia, tais como, mecânica dos sólidos, transferência de calor, mecânica dos fluidos, análise estrutural, entre outros. É um método de discretização, ou seja, propõe dividir um meio contínuo com um número infinito de variáveis desconhecidas em unidades menores finitas e discretas, chamadas elementos, com a finalidade de facilitar os cálculos.

METODOLOGIA

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um modelo computacional 2D em elementos finitos, utilizando o software Advantedge®, a fim de analisar a influência da variação dos parâmetros de usinagem na potência requerida pela máquina-ferramenta e na temperatura da ponta da fresa durante o processo de fresamento de topo de uma peça de Inconel® 718.

Como objetivos específicos têm-se:

- Simular o modelo para três condições de usinagens diferentes, onde os parâmetros de velocidade de corte e o avanço da ferramenta variaram.
- Comparar os resultados obtidos via recurso computacional com os resultados experimentais expostos por Favero-Filho(2018).

Favero-Filho (2018), em sua dissertação de mestrado, realizou o fresamento de topo concordante em uma peça de Inconel® 718 para as condições apresentadas na Tabela 1.

Condição	Parâmetros de Usinagem		
	Rotação da fresa (rpm)	Velocidade de corte (m/min)	Avanço por dente (mm)
A	477	15	0,016
B	477	15	0,031
C	2387	75	0,016

Tabela 1: Condições de usinagem ensaios de Favero-Filho.

Fonte: Favero-Filho (2018).

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se o software Advantedge®, especializado em simulações de processos de fabricação. O modelo do fresamento de topo foi tratado de forma 2D, como mostrado na Figura 2.

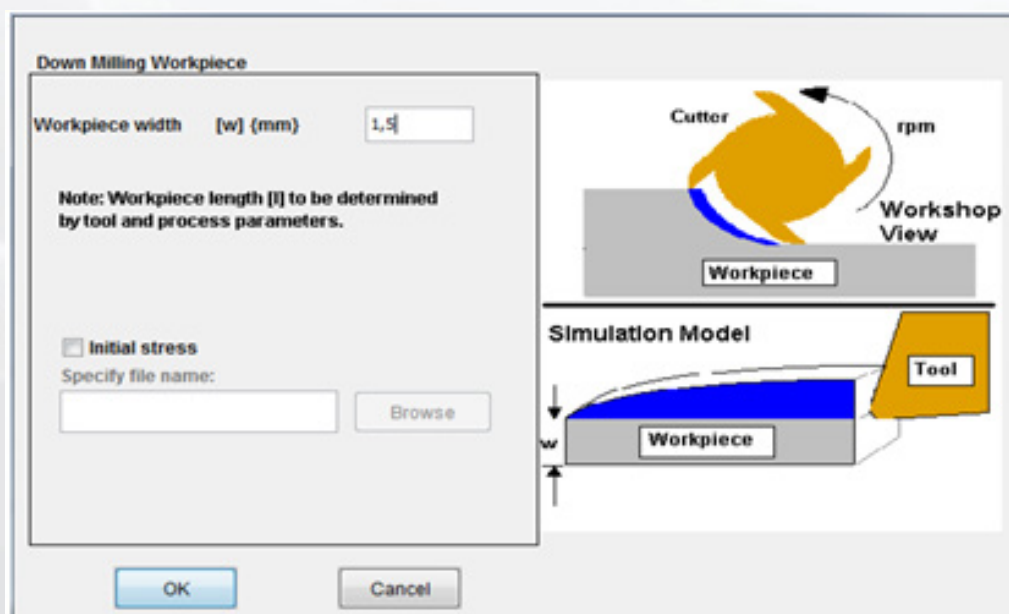


Figura 2 – Modelo de fresamento de topo, análise 2D.

Fonte: Advantedge®.

O software apresenta uma lista para a escolha do material da peça e sua respectiva dureza, tratando-se de uma liga de Níquel seleciona-se o Inconel® 718, como mostrado na Figura 3.

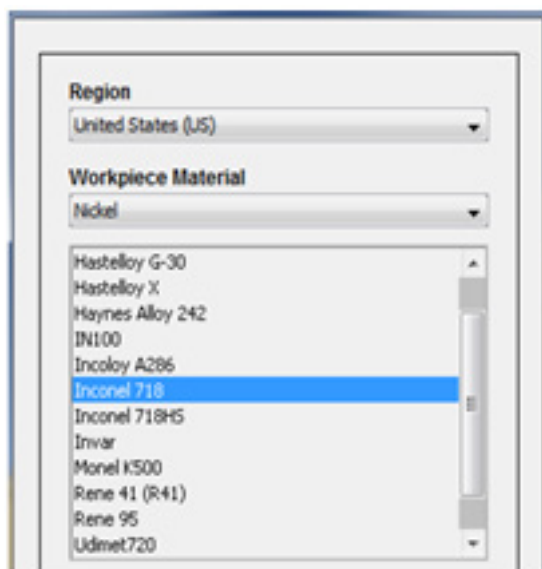


Figura 3 – Seleção do material da peça.

Fonte: Advantedge®.

A ferramenta utilizada nos ensaios do Favero-Filho (2018), Figura 3, é do tipo fresa de topo reto com quatro arestas cortantes. Como o modelo é 2D os parâmetros inseridos no software referem-se à uma das arestas de corte da fresa, Figura 18. Os parâmetros são: diâmetro da fresa, raio da ponta da fresa, ângulo de inclinação e ângulo de alívio



Figura 4 – Ferramenta utilizada nos ensaios do Favero-Filho, montada no suporte.

Fonte: Favero-Filho (2018).

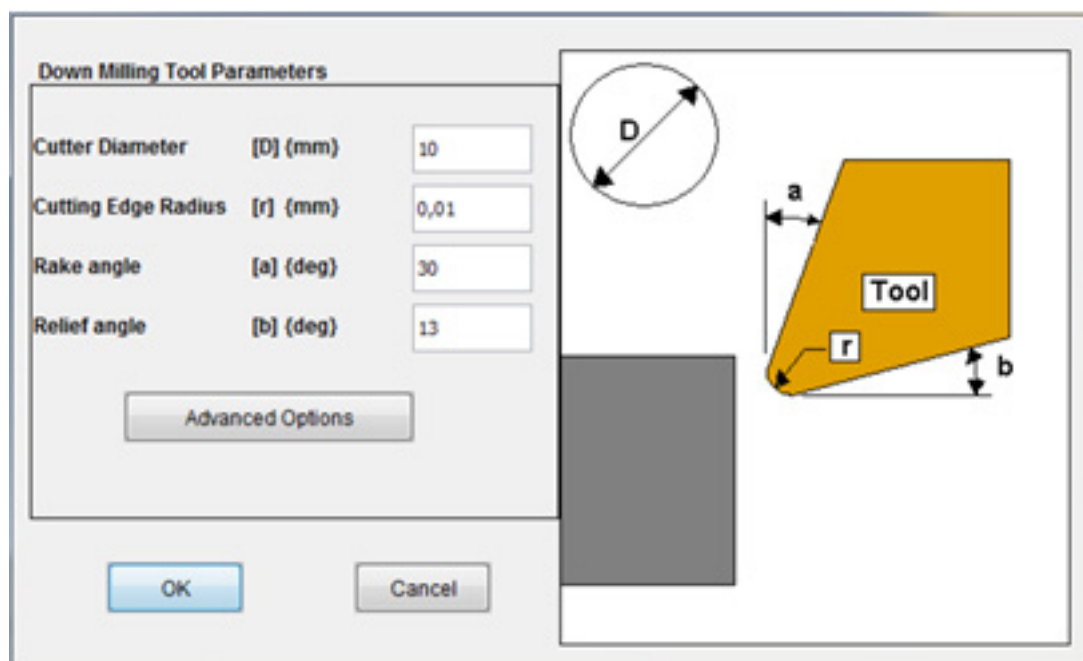


Figura 5 – Caracterização da geometria da fresa de topo

Fonte: Favero-Filho (2018).

Para gerar a malha a partir da superfície do modelo o software usa os parâmetros de tamanho máximo e mínimo do elemento e o número máximo de nós, como mostra a Figura 6. O tamanho de cada elemento varia de acordo com sua posição dentro da geometria formada pela peça-ferramenta, de modo que software aumenta o refino da malha na região do contato ferramenta-peça-cavaco de modo a gerar resultados mais precisos nessa região de maior interesse. Já em posições da peça que estão distantes do contato com a ferramenta, o software usa uma malha mais grosseira, respeitando o tamanho máximo do elemento.

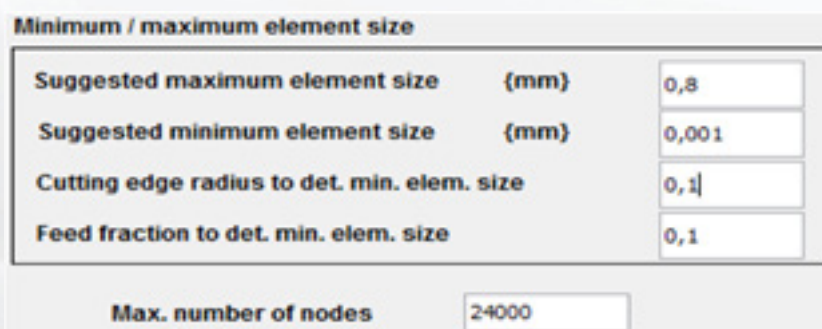


Figura 6 – Parâmetros utilizados para gerar a malha.

Fonte: Advantedge®.

Os parâmetros do processo de fresamento são inseridos no software como mostra a Figura 7. Para a rotação e avanço por aresta de corte foram utilizados os valores expressos na Tabela 1. Conforme ensaios experimentais realizados pelo Favero-Filho (2018), a de profundidade de corte (a_p) usada foi de 6mm e espessura de penetração (a_e) foi de 0,5mm. Para a temperatura usou-se o valor de 30°C para todas as simulações.

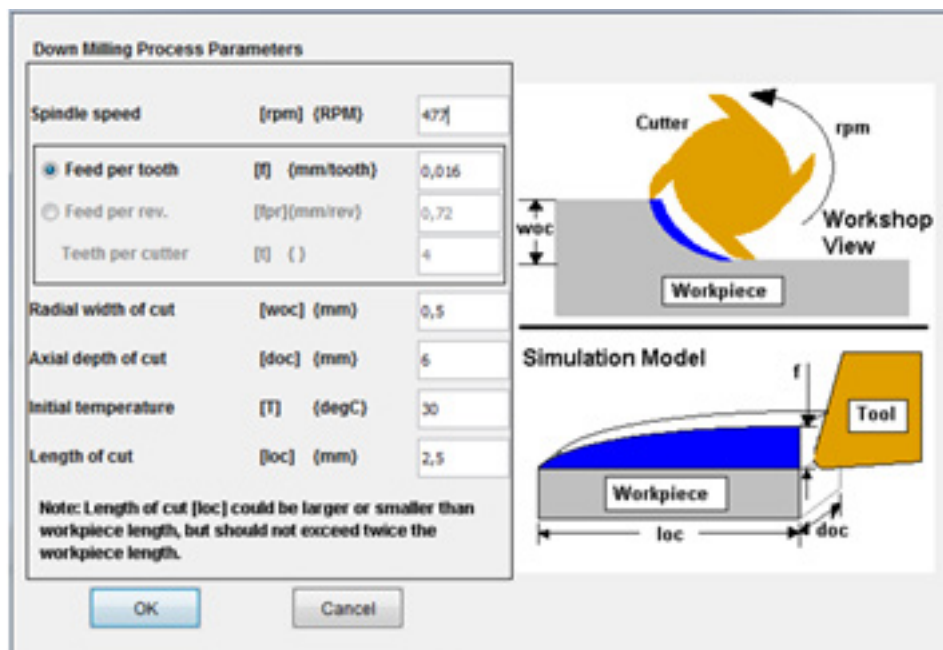


Figura 7: Parâmetros do processo de fresamento

Fonte: Advantedge®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como o parâmetro de avanço usado pelo Favero-Filho (2018) era muito baixo (0,016mm e 0,031mm por dente), tratando-se de super acabamento, o modelo necessitava de um alto refinamento de malha para convergir, gerando um alto custo computacional, a figura 8 mostra o alto refinamento na região do contato peça-ferramenta. Em média as simulações duram-se mais de 30hrs, utilizando um microcomputador do LEPU. Devido é essa ausência de monitoramento prévio das variáveis, utilizou-se um prazo em torno de três meses para encontrar os parâmetros adequados para o refinamento da malha.

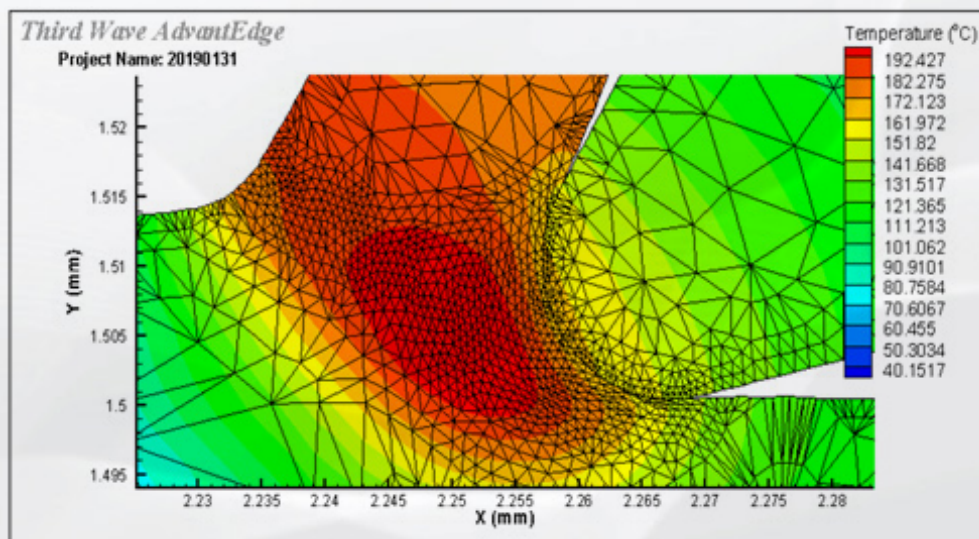


Figura 8: Refinamento da malha na região do contato peça-ferramenta.

Fonte: Próprio autor via Advantedge®.

Durante o processo de usinagem a cunha da ferramenta deforma a peça, inicialmente de forma elástica, até que o aumento da tensão provocado pelo avanço da ponta da ferramenta atinge o limite de escoamento do material e este começa a se deformar plasticamente. A Figura 9 mostra a distribuição da tensão plástica sobre o conjunto peça-ferramenta. A partir do momento em que se atinge a tensão de ruptura do material começa a formação do cavaco. Na Figura 9, também fica visível o ângulo de cisalhamento primário que separa a região da peça que já sofreu deformação plástica do resto do material que ainda não se deformou plasticamente.

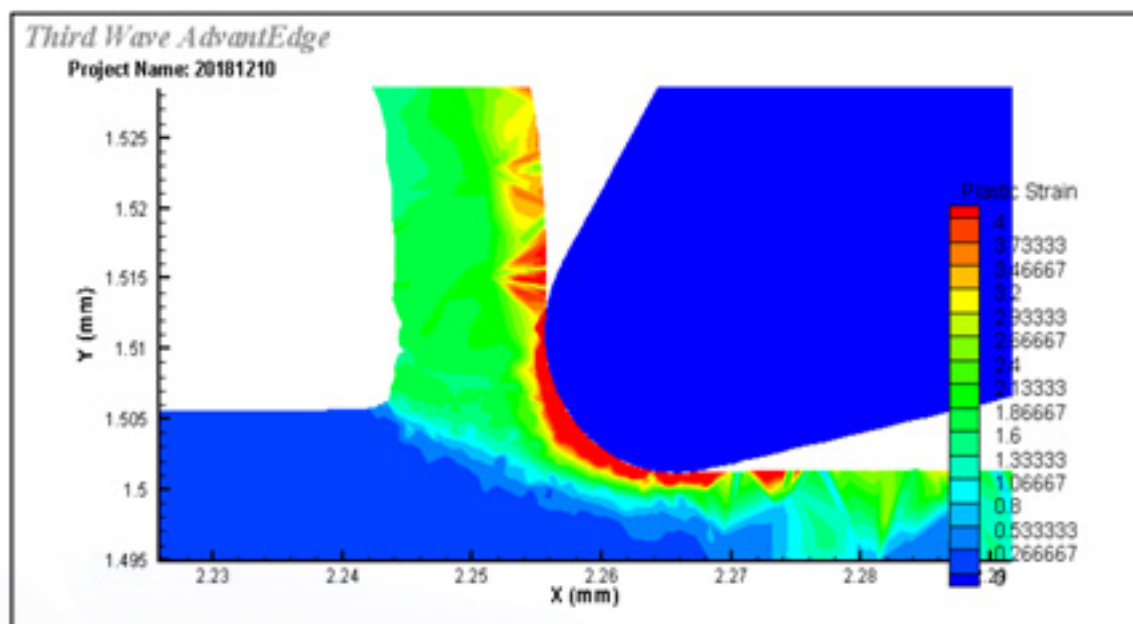


Figura 9: Condição A: velocidade de corte 15m/min e avanço de 0,016mm por dente.
Fonte: Advantedge®.

A Tabela 2 mostra os resultados de potência média e temperatura obtidos usando o modelo baseado no Método dos Elementos Finitos. Primeiramente, analisando as condições A e B nota-se a tendência de aumento da potência e da temperatura com o aumento do avanço da fresa. Como a taxa de remoção de material é maior, devido ao aumento do avanço, ocorre aumento da geração de calor devido à maior quantidade de material que se deforma plasticamente. No caso das condições A e C, o aumento da potência e temperatura está relacionado à maior taxa de cisalhamento, que se deve a maior velocidade de corte, deformando mais material num menor intervalo de tempo. Esse comportamento está de acordo com as explicações de Machado e Silva (2004).

Condição	Parâmetros de Usinagem		Resultados da Simulações	
	Velocidade de corte (m/min)	Avanço por dente (mm/rot)	Potência média (W)	Temperatura (°C)
A	15	0,016	2,6	159,45
B	15	0,031	4,38	198,14
C	75	0,016	13,33	403,18

Tabela 2: Resultados obtidos numericamente via simulação no Advantedge®.
Fonte: Próprio autor.

A Tabela 3 mostra os resultados de potência média e temperatura obtidos experimentalmente.

Condição	Parâmetros de Usinagem		Resultados Experimentais	
	Velocidade de corte (m/min)	Avanço por dente (mm/rot)	Potência média (W)	Temperatura (°C)
A	15	0,016	13,01	155,55
B	15	0,031	16,76	209,12
C	75	0,016	15,6	370,31

Tabela 3: Resultados obtidos experimentalmente feitos por Favero-Filho (2018).

Fonte: Próprio autor.

Comparando os resultados experimentais com os obtidos pela simulação chegou-se aos seguintes valores de erros relativos, mostrados na Tabela 4 abaixo:

Condição	Erro relativo da potência	Erro relativo da temperatura
A	80,0%	2,4%
B	73,9%	5,3%
C	14,6%	8,2%

Tabela 4: Erros relativos.

Experimentalmente para medir a temperatura utilizou-se uma câmera termográfica infravermelha, modelo A325 da marca FLIR Tools, com resolução de 320 x 240 pixels e uma precisão de ± 2 °C (FAVERO-FILHO, 2018). Os valores obtidos via o modelo numérico atingiu valores bem próximos ao observado nos ensaios, sendo que a condição C apresentou o maior erro relativo.

Já os resultados para a potência apresentaram uma incongruência relevante. Alguns fatores podem ter contribuído para os resultados da potência não serem satisfatórios. Primeiramente, as equações diferenciais que modelam o problema usam como constante algumas grandezas que podem variar durante o processo de usinagem. Ao ignorar os efeitos da não linearidade para grandezas como coeficiente de atrito, densidade do material e presença de imperfeições na peça pode fazer com que o modelo acumule erro. Essas não linearidades também estão presentes no modelo constitutivo do software, o qual descreve a deformação plástica e seus efeitos de endurecimento por encruamento e perda de resistência em altas temperaturas. Esse modelo é baseado nos resultados de um número limitado de experimentos, conduzidos nas condições de corte mais usuais. Assim, as condições de avanço extremamente baixo, utilizadas nas simulações desde trabalho, também podem explicar os erros encontrados para a potência de corte, pois segundo Man et al. (2012), observa-se aumento do erro relativo quando se diminui o avanço nas simulações com Advantedge®.

Outro fator que possivelmente pode ter contribuído para essa discrepância é a pouca precisão do método que foi utilizado para medir experimentalmente a potência, que foi obtida de forma indireta através da medida da tensão e da corrente elétrica do motor de indução trifásico (9 kW), sendo que estas medidas foram obtidas através de dois sensores de efeito Hall em cada fase do acionamento do centro de usinagem (FAVERO-FILHO, 2018).

CONCLUSÕES

Ao longo do trabalho foi feita uma revisão bibliográfica sobre os conceitos de fresamento de topo, parâmetros de usinagens, Inconel® 718, métodos de elementos finitos, entre outros. Em seguida, foi proposto um modelo computacional 2D em elementos finitos para descrever o fresamento de topo do Inconel® 718. Simulou-se o modelo para três condições de usinagens diferentes, onde os parâmetros de velocidade de corte e o avanço da ferramenta variaram. E em seguida, fez-se uma análise comparando os resultados obtidos via recurso computacional com os resultados experimentais expostos por Favero-Filho (2018).

Pode-se chegar as seguintes conclusões:

- O refinamento da malha foi essencial para a convergência do modelo, visto que os valores de avanços eram muito baixos.
 - A formação do cavaco e a distribuição de tensões seguiram as tendências presente na literatura, no que diz respeito ao aumento da potência e temperatura devido ao aumento do avanço e velocidade de corte da fresa.
 - Os valores obtidos da temperatura aproximaram aos encontrados experimentalmente.
 - Os valores da potência média de usinagem divergiram do encontrado experimentalmente.
- As causas, possivelmente, podem estar na aquisição de dados durante os ensaios ou da baixa precisão do modelo numérico.

REFERÊNCIAS

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. Tecnologia da usinagem dos materiais. Editora Artliber, 2006.

FAVERO-FILHO, Antônio. Fresamento de topo do inconel® 718 com ferramentas de metal duro microgrãos. Dissertação de mestrado (Engenharia Mecânica). Universidade federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2018.

MACHADO, Alisson Rocha; SILVA, M.B. Usinagem dos metais. 8.ed. Uberlândia: LEPU–UFU, 2004.

REDDY, Junuthula Narasimha. An introduction to the finite element method. New York, 1993.

SANTOS-JÚNIOR, Tarcisio Antunes dos. Avaliação da usinagem do INCONEL 718. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

SUGAHARA, Tarcila et al. Creep behavior of the Inconel 718 superalloy. In: Defect and Diffusion Forum, p. 509-514, 2012.

USO DE MOTORES STIRLING PARA RECUPERAÇÃO DE ENERGIA EM PROPULSORES NAVAIS: AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE

Lucas Boacnin Beato, UFU, beato.eng@gmail.com

Augusto César Santos Peixoto, UFU, augusto-csp@hotmail.com

Felipe dos Anjos Rodrigues Campos, UFU, filipin_anjos@hotmail.com

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva, UFU, leonardo.rrs@gmail.com

RESUMO

A sociedade busca constantemente desenvolver formas de obter energia de forma mais eficiente com sustentabilidade e com menor emissão de poluentes. Deve-se encontrar maneiras de se reduzir o consumo de combustíveis fósseis, pois além de gerarem grande impacto ambiental contribuindo para o aquecimento global, são recursos limitados que estarão esgotados no futuro. Embora até o momento esteja sendo descartada, a energia térmica contida nos gases de combustão de motores poderia ser aproveitada quando usada como uma alternativa para alimentar um motor de Stirling. A potência gerada por este motor poderia ser usada para gerar eletricidade, por exemplo. Portanto, este trabalho abordou como isso seria possível, analisando os tipos de motores Stirling e qual seria a melhor opção para se ajustar à aplicação, bem como possíveis otimizações para melhora do desempenho. Finalmente, concluiu-se a potência obtida pelo motor Stirling é economicamente viável em uma dada aplicação. A aplicação escolhida para este trabalho foi em propulsores navais, pois para a utilização do motor Stirling é necessário grande espaço disponível, sendo assim possível sua instalação nestes. Ao final do trabalho será informado qual a economia de combustível conseguida, a diminuição de emissões de CO₂, o valor da economia financeira e do investimento necessário, atendendo aos requisitos de sustentabilidade.

Palavras chave: Motor, stirling, naval, regeneração, energia, recuperação, sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

Uma atividade sustentável é aquela que pode ser mantida para sempre. Em outras palavras: uma exploração de um recurso natural exercida de forma sustentável durará para sempre, não se esgotará nunca. Uma sociedade sustentável é aquela que não coloca em risco os elementos do meio ambiente. Desenvolvimento sustentável é aquele que melhora a qualidade da vida do homem na Terra ao mesmo tempo em que respeita a capacidade de produção dos ecossistemas nos quais vivemos. (MIKHAILOVA, 2004).

O chamado tripé da sustentabilidade (do Inglês, Triple Bottom Line), (Figura 2), é baseado em três princípios: o social, o ambiental e o econômico. Esses três fatores precisam ser integrados para que a sustentabilidade de fato aconteça. Sem eles, a sustentabilidade não se sustenta. (TODA MATÉRIA, 2018).

- Social: Engloba as pessoas e suas condições de vida, como educação, saúde, violência, lazer, dentre outros aspectos.

- Ambiental: Refere-se aos recursos naturais do planeta e a forma como são utilizados pela sociedade, comunidades ou empresas.

- Econômico: Relacionado com a produção, distribuição e consumo de bens e serviços.

A economia deve considerar a questão social e ambiental. O motor Stirling, como mostrado na Figura 1, foi criado em 1816 por Robert Stirling, na Escócia. Estes motores operam segundo um ciclo termodinâmico regenerativo, onde o fluido de trabalho é comprimido e expandido alternadamente entre uma fonte quente e uma fonte fria, cujo diferencial de temperatura permite uma troca efetiva de calor (COSTA, 2013).

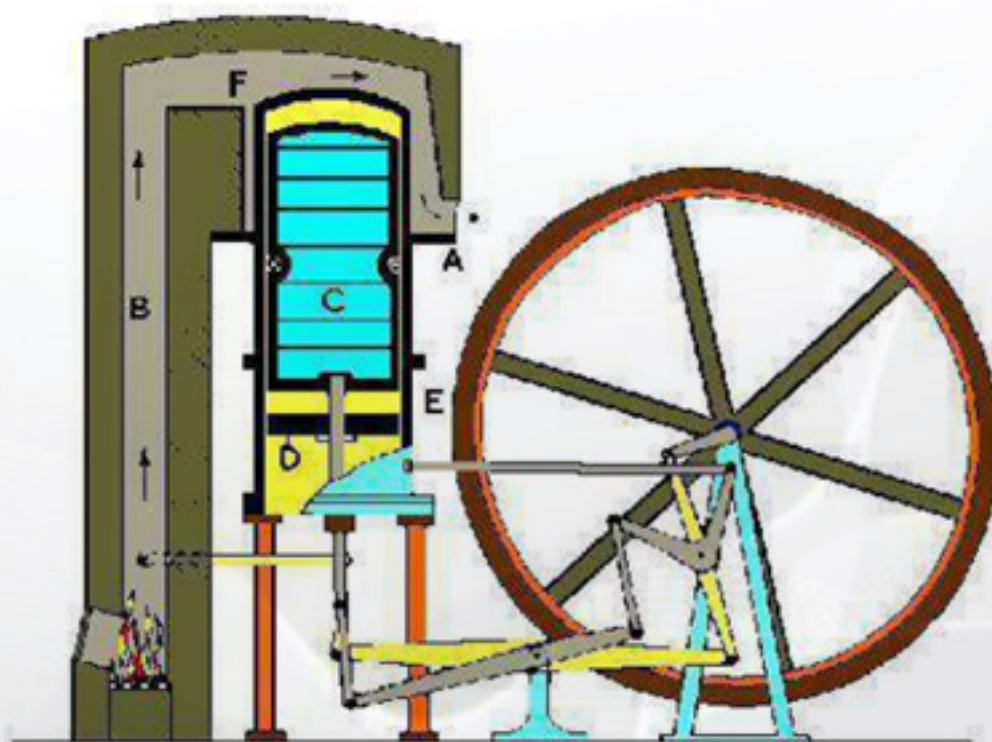


Figura 1 - Motor original de Robert Stirling.

Fonte: Barros (2005).

A movimentação do êmbolo se dá em função da compressão e expansão do gás presente no interior do cilindro formando um ciclo fechado. Os gases mais utilizados são Hélio ou Hidrogênio. O ciclo Stirling ideal, mostrado na Figura 2, é reversível, com um elevado rendimento térmico, onde:

- 3-4: Compressão isotérmica
- 4-1: Calor é transferido a volume constante
- 1-2: Expansão Isotérmica
- 2-3: Calor é rejeitado a volume constante.

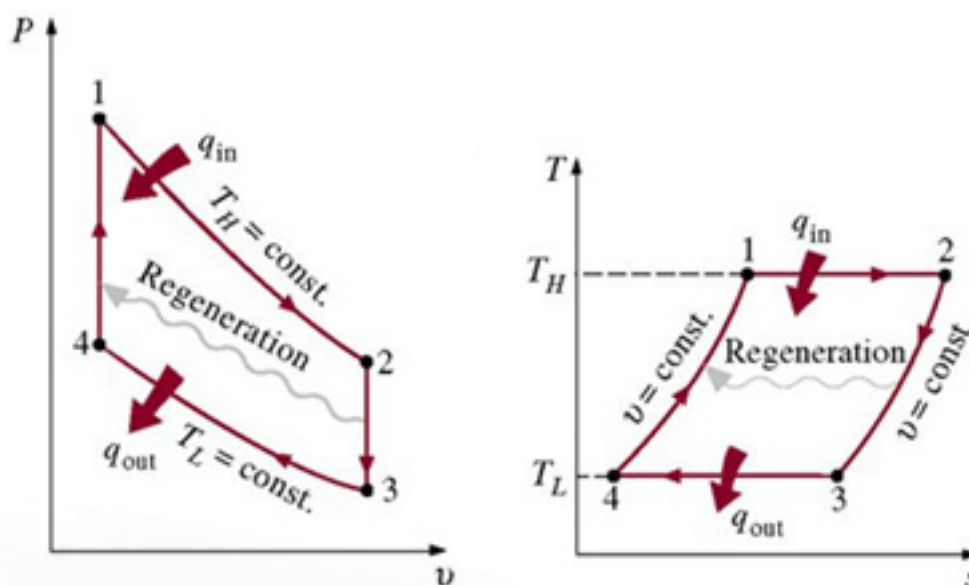


Figura 2 - Diagrama P-v e T-s do ciclo Stirling.

Fonte: Barros (2005).

Porém, no processo real, a expansão e compressão não são perfeitamente isotérmicas, o que leva numa redução do trabalho produzido.

Entre as principais vantagens dos motores Stirling estão os elevados rendimentos térmicos, boa eficiência energética, são silenciosos, com baixa vibração devido à combustão ser contínua e externa, podem operar utilizando qualquer fonte de calor e combustível, têm pouca necessidade de manutenção e baixo desgaste interno.

Por outro lado, a tecnologia Stirling ainda está limitada a poucas aplicações devido ao seu baixo rendimento elétrico, dificuldades em controlar a potência devido aos diferentes permutadores de calor que compõem o motor, como o regenerador, permutador de aquecimento e o de arrefecimento, elevado custo específicos e a necessidade de aquecer o motor no arranque (Roselli et al., 2011). São motores com custo elevado, apresentam dificuldade em se vedar o fluido de trabalho e isso acarreta em um atrito elevado, dificuldade em iniciar e variar sua rotação rapidamente, produção em pequena escala, manutenção cara, tecnologia pouco difundida e alta relação peso potência.

Os motores Stirling basicamente se dividem em três tipos:

- Tipo Alfa: É a versão mais simples, constituída de dois pistões, um de expansão e outro de compressão, separados em dois cilindros que são unidos por trocadores de calor, como visto na Figura 3. Sua grande vantagem é a facilidade de construção, porém há a necessidade de vedação que impeça a saída do fluido.

- Tipo Beta: Configuração clássica, onde o pistão de trabalho e o pistão de deslocamento

(deslocador) estão alinhados e presentes dentro do mesmo cilindro (Figura 4). É um sistema mais complexo, de difícil construção, mas nessa configuração é possível obter uma maior taxa de compressão e maior potência específica em relação às versões Alfa e Gama.

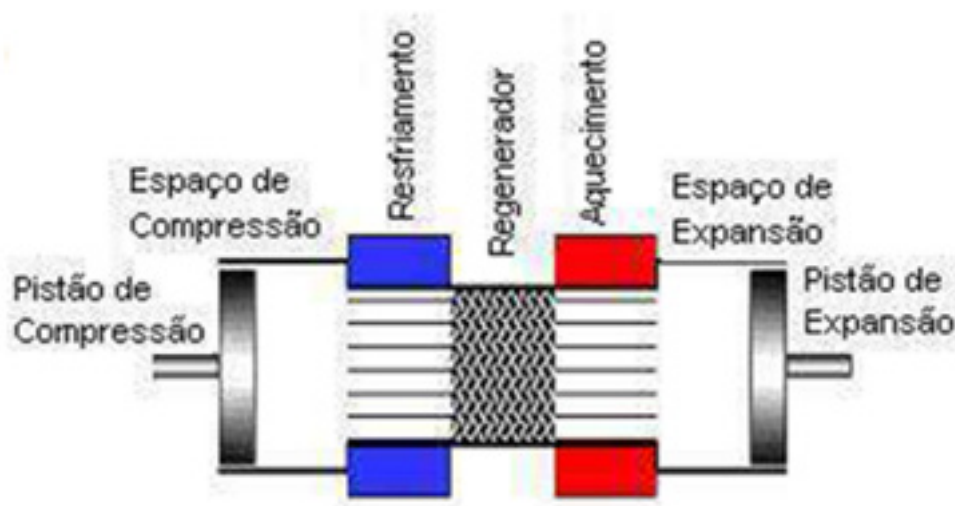


Figura 3 – Configuração Alfa do motor Stirling

Fonte: Mello (2001).

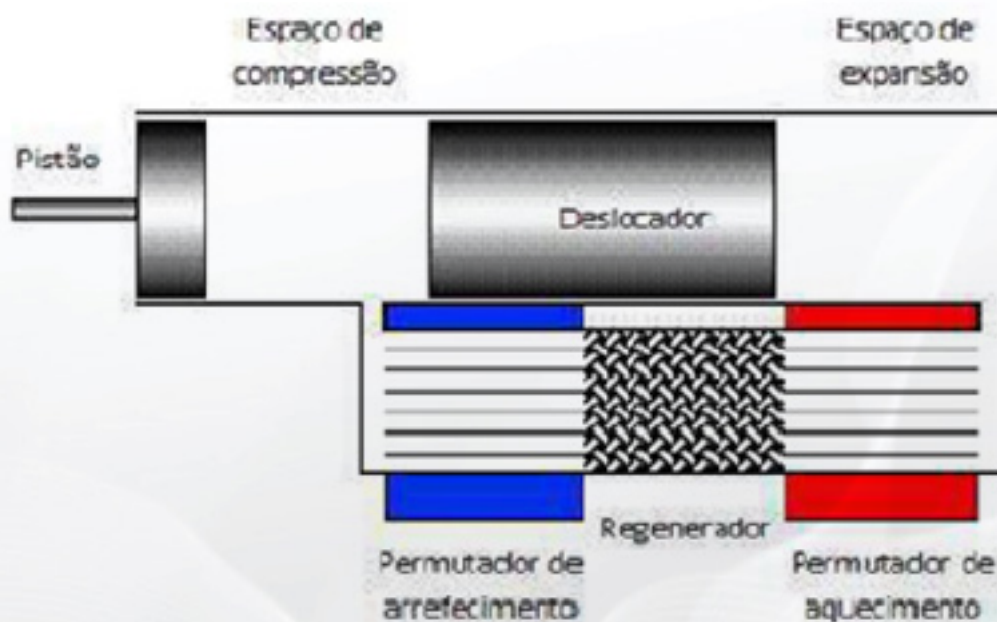


Figura 4 – Configuração Beta do motor Stirling

Fonte: Mello (2001).

- Tipo Gama: Basicamente é um motor do tipo Beta, porém o pistão de trabalho e pistão de deslocamento se encontram em cilindros separados (Figura 5). Apresenta uma taxa de compressão e potência menores que a versão Beta, porém seu mecanismo é mais simples.

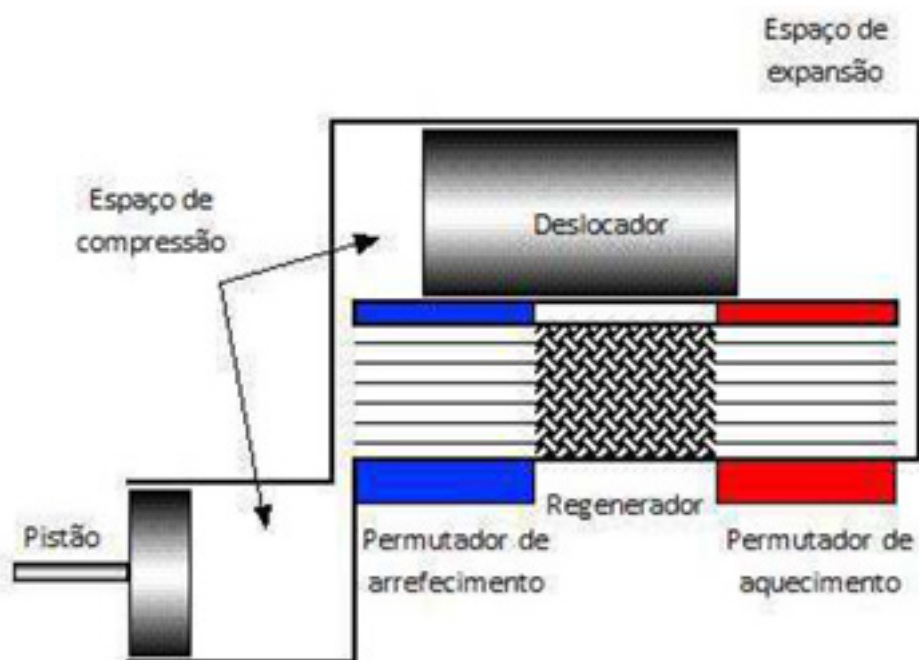


Figura 5- Configuração Gama do motor Stirling

Fonte: Mello (2001).

METODOLOGIA

Em carros e caminhões, o espaço disponível para instalação do motor é muito pequeno, e o peso adicional seria prejudicial. Um motor Stirling pequeno, compacto, não iria fornecer uma potência significativa e não geraria a economia esperada, sendo assim uma aplicação inviável.

Neste estudo, foi considerada a energia gerada pelos gases de escape de um motor marítimo Caterpillar 3508B, que apresenta 578 kW (785 cv) de potência, mostrado na Figura 6.

Partindo deste pensamento, a aplicação em um navio de grande porte poderia ser possível, pois nele há espaço disponível para a instalação do motor Stirling e o acréscimo de peso seria desprezível.

Sendo assim, o trabalho será averiguar se a com o uso de algum motor Stirling existente no mercado será possível e viável em aplicação naval. Como relatado anteriormente, motores Stirling apresentam uma grande desvantagem que é a alta relação Peso/Potência. Portanto, neste trabalho, será descartada a possibilidade de aplicação em pequenas embarcações. A tabela 1 apresenta os dados do motor a Diesel Caterpillar 3508B.

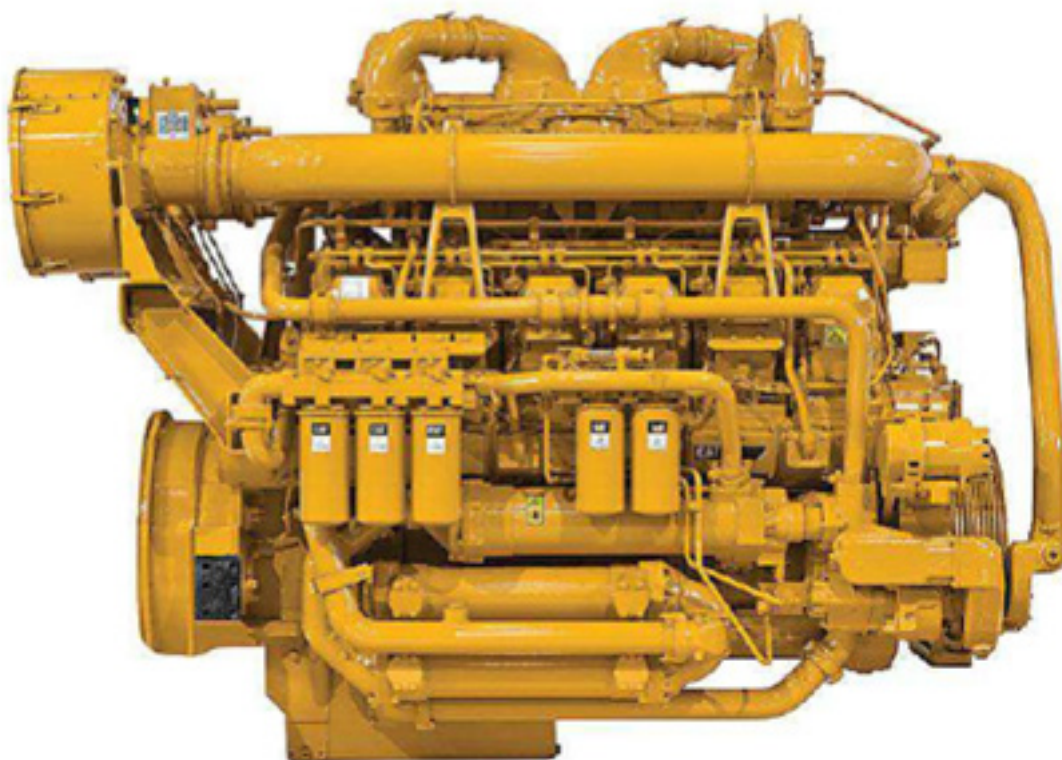


Figura 6- Motor Caterpillar 3508B.
Fonte: Caterpillar (2018)

Parâmetros	Especificação
Rotação do Motor	1200 rpm
Potência do Motor	578 kW
Consumo Específico	202,5 g/bkwh
Temperatura Exaustão	335,1 °C
Vazão Gás de Escape	113,6 m ³ /min
Poder Calorífico Diesel Naval	39240 kJ/kg (aprox)
Calor Específico Gás de Escape	1 kJ/kgK

Tabela 1 - Parâmetros do Motor Caterpillar 3508B
Fonte: Ramesh e Kalyani (2012).

Com estes dados, serão realizados os cálculos que irão dizer quanto de energia pode ser recuperada, quantos litros de diesel serão economizados e quantas toneladas de CO₂ deixarão de ser emitidos por ano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade de energia recuperada em [kJ/s] é dada pela Eq.(1):

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

Onde:

m = Fluxo de massa [kg/s]

C_p = Calor específico [kJ/kg.K]

$\Delta T = (T_{\text{exaustão}} - \gamma) - (T'')$

γ = Coeficiente de Perda = 20°C

T'' = Temperatura de condensação + 10°C

Com os dados fornecidos:

$m = 1,089$ [kg/s]

$\Delta T = (335,1 - 20) - 170 = 145^\circ\text{C}$

Então:

$$Q = 1,089 \cdot 1,0 \cdot 145$$

$$Q = 159,5 \text{ [kg/s]}$$

Assumindo o máximo de energia recuperada, desconsiderando perdas, pelo ciclo Carnot tem-se o rendimento máximo dado pela Eq.(2).

$$\eta_c = 1 - \frac{T_c}{T_h} \quad (2)$$

η_c = Rendimento do ciclo de Carnot

T_c = Temperatura fria = $T_{\text{amb}} + \gamma$

T_h = Temperatura quente = $T_{\text{exaustão}} - \gamma$

Portanto,

$$\eta_c = 1 - \frac{65 + 273}{315 + 273}$$

$$\eta_c = 0,425$$

Aplicando o rendimento η_c em Q, tem-se a energia recuperada dada pela Eq.(3).

$$E_r = \eta_c \cdot Q \quad (3)$$

$$E_r = 0,425 \cdot 159,5 = 67,8 \text{ kW}$$

Na prática, deve-se considerar várias perdas para encontrar a potência gerada pelo motor Stirling. As perdas são dadas pela Eq.(4).

$$P_s = \eta_h \cdot \eta_m \cdot \eta_{st} \cdot \eta_{cs} \quad (4)$$

η_h = Rendimento da Transferência de Calor (0,85-0,95)

η_m = Rendimento Mecânico (0,75 – 0,90)

η_{st} = Coeficiente Stirling (0,55 – 0,88)

η_{cs} = Eficiência do Ciclo Stirling (0,33)

Assim,

$$P_s = 0,85 \cdot 0,75 \cdot 0,55 \cdot 0,33 \cdot 159,5$$

$$P_s = 19,45 \text{ kW}$$

Com a potência gerada pelo motor Stirling, pode-se calcular qual seria a economia de combustível. A Economia de Combustível é dada pela Eq.(5):

$$Economia \text{ de Combustível} = \frac{P_s \cdot SFC \cdot 24}{\rho_D \cdot 1000} \quad (2)$$

SFC = Consumo específico, dado na Tabela 1

ρ_D = Densidade do Diesel

$$Economia \text{ de Combustível} = \frac{19,45 \cdot 202,5 \cdot 24}{0,853 \cdot 1000}$$

$$Economia \text{ de Combustível} = 105 \text{ l/dia}$$

Tem-se uma economia diária de 105 litros o que representa 3,2 % referente ao consumo normal (3281 litros). Considerando funcionamento o ano todo, obtém-se uma economia de 38325 l de diesel. Adotando um preço médio de R\$3,00 por litro, serão economizados R\$114.975,00 ao ano.

Além da economia financeira, tem-se uma diminuição no impacto ambiental, uma vez que serão reduzidas as emissões de CO₂ e outros poluentes na atmosfera.

Tem-se um fator de emissão médio de 2,6 kg de CO₂ para cada litro de diesel queimado, portanto deixarão de serem emitidas 99,6 toneladas de CO₂ ao ano.

Pelos cálculos, a potência fornecida pelo motor Stirling é de 18,45 kW. Isso sendo um modelo teórico. Há no mercado motores Stirling que fornecem potência semelhante a encontrada no modelo teórico, um deles é o Motor Stirling para Recuperação de Calor da marca RICHUAN.

O sistema do motor RICHUAN utiliza o calor de gases de escape com temperaturas entre 300 e 700°C e outras fontes de calor (Óleo de refrigeração e metal líquido) para aquecer o gás de trabalho

nitrogênio e assim a potência é gerada pelo motor Stirling.

A potência gerada parte de 20 kW podendo chegar a 100 kW. O custo do motor RICHUAN está orçado em U\$40.000,00. Utilizando a conversão de U\$1,00 como sendo R\$3,50 tem-se que o motor custa R\$140.000,00 mais impostos de importação (60% sobre o valor do produto) e frete (R\$ 5.800,00 por contêiner) obtém-se um valor final de R\$230.000,00.

Como a economia utilizando este motor pode chegar a R\$115.000,00 por ano, tem-se que em 2 anos o valor investido será recuperado, desconsiderando os custos de manutenção.

CONCLUSÕES

Com este trabalho, concluiu-se que o projeto apresenta bom viés sustentável, abrangendo os três aspectos do Triple Bottom Line. Com ele foram conquistados benefícios ambientais, sociais e econômicos.

Pode-se entender quais são os tipos de motor Stirling existentes: Alfa, Beta e Gama. Observou-se suas particularidades, vantagens, desvantagens e possíveis otimizações. Concluiu-se que para aplicação em automóveis, ou qualquer meio em que não há muito espaço disponível, motores Stirling para recuperar a energia térmica proveniente dos gases de escape podem não ser interessantes, uma vez que estes apresentam alta relação peso/potência, sendo necessário um grande espaço disponível para sua instalação e que seu peso não interfira no funcionamento do equipamento.

Em aplicações onde há espaço disponível, como em grandes navios, chegou-se em uma economia de combustível considerável (38325 litros por ano), além de uma menor emissão de poluentes o que torna o projeto viável e sustentável.

Utilizando o motor Stirling RICHUAN, como exemplo, o valor investido pode ser recuperado em 2 anos de uso (desconsiderando custos de manutenção).

REFERÊNCIAS

BARROS, R. W. Avaliação teórica e experimental do motor Stirling modelo Solo161 operando com diferentes combustíveis. Itajubá, 2005. 143 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.

CENGEL, Yunus A., MICHAEL A. Boles, and IGNACIO Apraiz Buesa. Termodinâmica. Vol. 10. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

COSTA, J. M. S. Metodologia simplificada para a análise termoeconômica de sistemas de cogeração com motor Stirling, 2013. 123 f. Tese (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Minho, 2013.

COUTO, O. F. V. Geração de um índice de sustentabilidade ambiental para bacias hidrográficas em áreas urbanas através do emprego de técnicas integradas de geoprocessamento. 2007. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

MELLO, M. G. Biomassa Energia dos Trópicos em Minas Gerais. Belo Horizonte: LabMídia/FAFICH, 2001.

ROSELLI, C., SASSO, M., SIBILIO, S., & TZSCHEUTSCHLER, P. (2011). Experimental analysis of microcogenerators based on different prime movers. *Energy and Buildings*. 2011. 43(4), 796–804.

ESTUDO DAS ONDAS DE PRESSÃO FORMADAS NA ADMISSÃO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA COM A PRESENÇA DE UM RESSONADOR

Kaissar de Oliveira Nabbout, UFU, kaissar_on@hotmail.com
Ana Marta de Souza, UFU, amsouza@ufu.br

RESUMO

A análise numérica tem se tornado uma ferramenta de grande importância na busca de soluções de problemas de engenharia cada vez mais complexos. Isto se deve tanto ao avanço tecnológico, no que diz respeito à capacidade de processamento dos computadores, quanto às técnicas utilizadas para discretizar e resolver equações que seriam impossíveis de serem resolvidas manualmente e até mesmo numericamente alguns anos atrás. Contudo, não é possível, nem recomendável, abandonar a parte experimental, pois é através dos resultados experimentais que os resultados numéricos são validados para que, a partir daí o lado computacional possa ganhar mais representatividade e credibilidade. Com base nisto, o presente trabalho compara os resultados encontrados através de simulação numérica com dados experimentais de ondas de pressão na admissão de um motor de combustão interna, com a presença de um ressonador. Estes dados foram encontrados por Hanriot, 2001 e serão usados como condições de contorno no software AVL FIRE e também como forma de comparação do modelo numérico utilizado. O AVL FIRE utiliza o Método dos Volumes Finitos. Numericamente, a análise de ondas de pressão feitas neste trabalho gera dificuldades para serem simuladas, pois o problema da compressibilidade do fluido juntamente com os baixos valores de velocidade do escoamento pode levar a dificuldades de convergência do problema. Felizmente, os métodos numéricos desenvolvidos já são capazes de resolver tais problemas, mas ainda é preciso continuar avançando cada vez mais rumo à descoberta de novos métodos ou aperfeiçoamento dos já existentes, para que as soluções sejam cada vez mais precisas e que os métodos consumam cada vez menos tempo de processamento.

Palavras chave: motores de combustão interna, ondas de pressão, análise numérica, volumes finitos, ressonador de Helmholtz.

INTRODUÇÃO

A indústria automotiva está cada vez mais competitiva e isso exige com que os carros sejam cada vez mais atraentes, tanto no quesito estético quanto no quesito desempenho. Com os consumidores querendo carros mais potentes e econômicos e, além disso, a crescente preocupação com o meio ambiente faz com que as empresas busquem avançar nesses quesitos. Diversas soluções para aumentar a eficiência dos motores já foram propostas e outras ainda precisam de mais estudos para avaliar sua eficácia. Uma área que tem grande atenção dos pesquisadores, mas que ainda pode ser melhor explorada é a Eficiência Volumétrica de um motor, principalmente no que diz respeito à propagação de ondas de pressão no sistema de admissão de ar.

Primeiramente, é importante entender o que é eficiência volumétrica e os fatores que exercem alguma influência sobre ela para, então, analisar o funcionamento de um ressonador e como este equipamento consegue aumentar a quantidade de ar admitida dentro dos cilindros do motor. Basicamente, quanto maior a quantidade de ar admitida, maior será o torque gerado, uma vez que ele está diretamente relacionado à capacidade de enchimento dos cilindros. Com isso, é possível introduzir o conceito de Eficiência Volumétrica que é a relação entre o volume de ar que cada cilindro admite e a capacidade volumétrica nominal do cilindro. Por exemplo: em um motor 2.0 de quadro cilindros, cada cilindro tem uma capacidade volumétrica nominal de 500 cm^3 , mas devido às perdas na admissão ocasionadas por curvas no coletor, estreitamentos, válvulas, etc. o cilindro só admite 400 cm^3 . Assim, este motor tem 80% de eficiência volumétrica.

Dessa forma, equipamentos que têm por objetivo aumentar a entrada de ar nos cilindros do motor foram desenvolvidos, entre eles o mais famoso talvez seja o turbo compressor, o qual permite alcançar eficiências volumétricas superiores a 100% através da compressão do ar que é aspirado pelo sistema de admissão. Como o ar é comprimido, ele ocupa menor volume, permitindo, portanto, a entrada de mais ar dentro do cilindro. Estes motores são chamados de turboalimentados ou sobrealimentados. Os motores convencionais, ou seja, que não são turbos, são chamados de motores aspirados ou, ainda, naturalmente aspirados. Esses tipos de motores dificilmente conseguem eficiências maiores do que 100%, porém através do Efeito de Sobrealimentação na Admissão (Intake Supercharge Effect) isso se torna possível. Esse é o efeito causado pelo ressonador em certas faixas de rotação e trata-se de um modelo matemático através do qual é possível calcular o comprimento ótimo dos coletores e dutos de escape de modo a fazer com que os ciclos de admissão e escape sejam mais eficientes. Pode-se observar na Figura 1 que para baixas velocidades de rotação, um conduto de admissão convencional possui um rendimento volumétrico inferior a um conduto ajustado com um ressonador de Helmholtz.

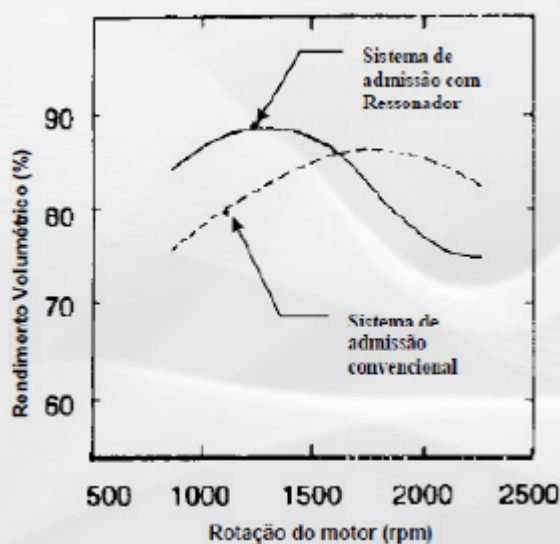


Figura 1: Rendimento volumétrico x rotação do motor.
Fonte: Fonte: Hanriot, 2001

METODOLOGIA

Os dados experimentais foram retirados do trabalho de Hanriot, 2001, utilizando-se um banco de fluxo, como pode ser visto na Figura 2, e serão utilizados para comparação com as simulações numéricas realizadas neste trabalho. O banco de fluxo é utilizado para analisar o escoamento de ar em sistemas de admissão e descarga de motores de combustão interna alternativos.

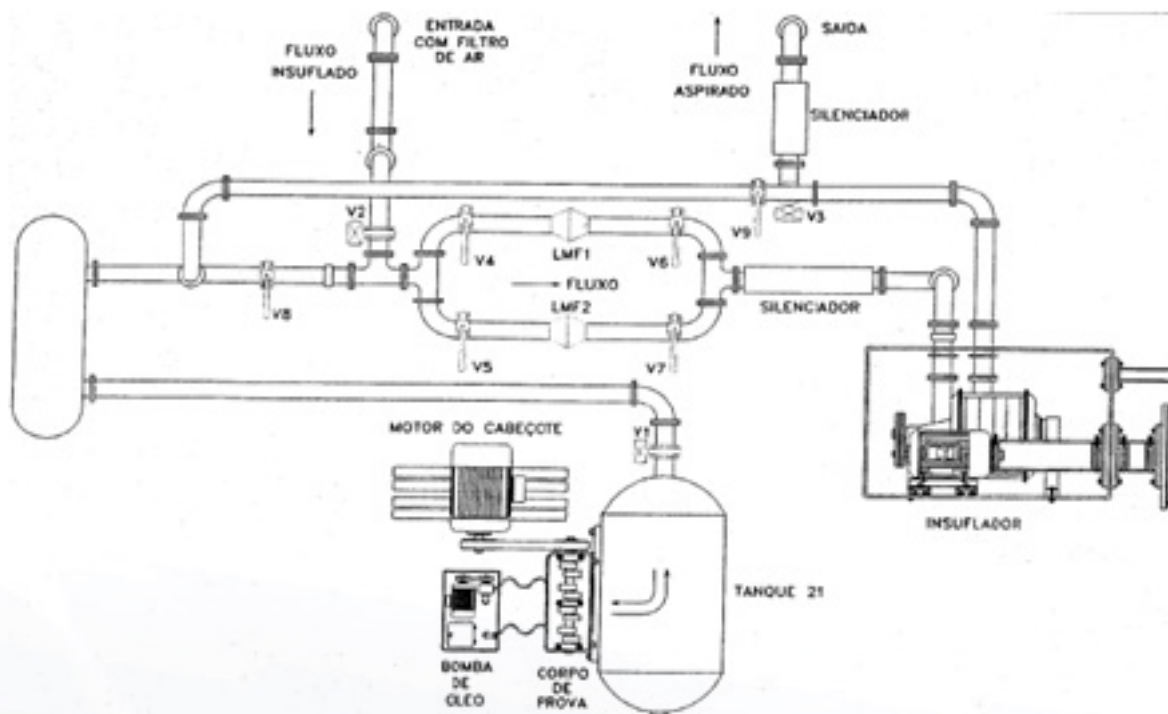


Figura 2: Esquema geral de um Banco de Fluxo

Fonte: Fonte: Hanriot, 2001

O AVL FIRE é uma das principais ferramentas de simulação CFD no campo da análise da combustão. O software é específico para motores, sendo especializado na previsão precisa de todos os processos relevantes para um motor de combustão interna, incluindo fluxo no bocal de injeção, injeção de combustível, combustão, emissão e pós-tratamento de gases de escape.

Este software utiliza a Metodologia de Volumes Finitos. Esta metodologia integra as equações diferenciais do problema em um volume conhecido, chamado volume de controle. É comumente usada em conjunto com malhas estruturadas. Como em qualquer outro método numérico, este método substitui as informações contínuas das equações diferenciais em valores discretos nos volumes de controle da malha, com a vantagem de garantir o balanço de massa, energia e quantidade de movimento.

Para criar a malha é necessário, primeiramente, desenhar a geometria em um programa CAD. Em seguida, a geometria é importada para o FIRE já no formato de uma superfície triangulizada. Na Figura 3, está representada à esquerda a geometria em CAD e à direita a superfície triangulizada já importada no software FIRE.

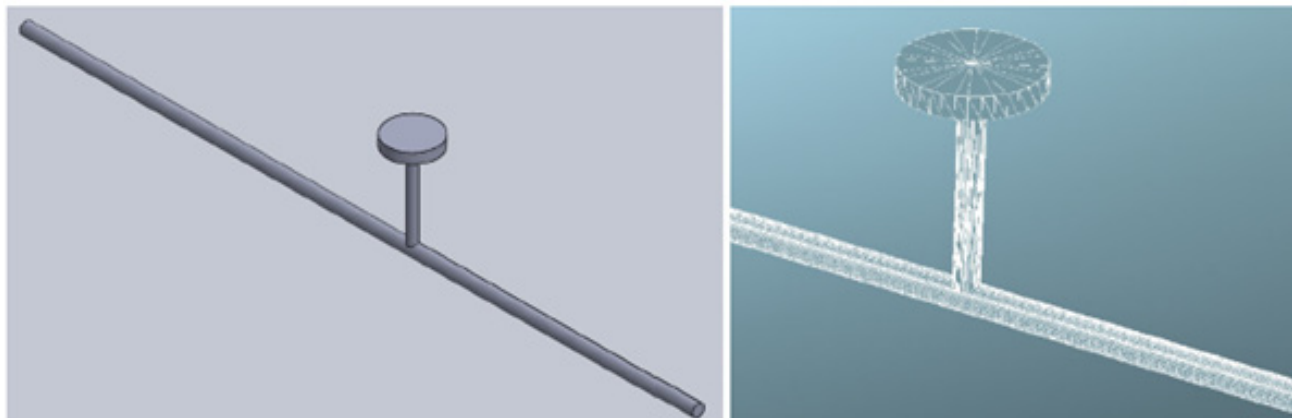


Figura 2: Esquema geral de um Banco de Fluxo

Fonte: Fonte: Hanriot, 2001

Para gerar a malha a partir da superfície importada, foi utilizado o FIRE FAME Hexa, que é uma ferramenta de geração automática de malha computacional. Para os parâmetros utilizados foram geradas 50915 células, divididas entre células hexaédricas, prismáticas, piramidais e tetraédricas. A Figura 4 mostra a malha gerada próximo ao ressonador.

Figura 4: Detalhe da malha gerada no ressonador e em suas proximidades.



Com isso, foram consideradas nas simulações apenas duas condições de contorno do tipo Inlet/Outlet. Uma para a entrada (Inlet) e outra para a saída (Outlet), que na verdade é a porta da válvula de admissão. A condição de contorno da saída foi obtida experimentalmente no trabalho de Hanriot, 2001. Para a saída, os dados foram colhidos para o ciclo de 720° e, então, montou-se uma tabela com os valores de pressão em função do ângulo do eixo comando de válvulas e inseriu-se como condição de contorno.

Os dados experimentais são fornecidos a partir de medições feitas após vários ciclos completos de admissão de ar, isto é, quando a física do problema está estabilizada. Para que a solução numérica possa representar o mais fielmente possível o que foi feito experimentalmente, cada solução deveria ter sido simulada com dois ciclos de 720° , entretanto, devido ao custo computacional, foi simulado apenas um ciclo. Isto é necessário devido aos fenômenos ressonantes não estabilizados presentes nos primeiros resultados, gerando perturbações que distorcem os gráficos plotados. Outro fator é que no primeiro ciclo o fluido está em repouso, com as mesmas propriedades em todo o domínio. Esta característica leva a um resultado que não condiz com a realidade do experimento.

O fluido foi tratado como compressível, desse modo é possível observar os efeitos das ondas de pressão. O modelo de turbulência utilizado foi o $k-\epsilon$, o qual foca nos mecanismos que afetam a energia cinética turbulenta (k) a partir do pressuposto de que a viscosidade turbulenta é isotrópica, ou seja, a relação entre a tensão de Reynolds e a taxa média de deformações é a mesma em todas as direções.

Quanto aos métodos de diferenciação, foi utilizado o método Upwind de primeira ordem para a turbulência e para a energia. Para a continuidade foi utilizado um método de ordem superior e para o momentum foi utilizada uma mistura entre o Upwind de primeira ordem e métodos de ordem superior.

Durante uma simulação, o software precisa saber quando terminar a simulação para o caso de estado estacionário e quando saltar para o próximo passo de tempo para o caso de um problema transiente. Existem duas maneiras pelas quais o Solver pode fazer esta decisão: pelo número de iterações ou pelo valor do resíduo. Foram utilizados como critério de convergência um número máximo de 100 iterações por passo de tempo ou um resíduo normalizado de 0.0001.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a simulação, é possível monitorar os valores de pressão, velocidade, resíduo, energia cinética, entre outros, a cada iteração em cada posição selecionada previamente. Dessa forma, para o primeiro passo de tempo ($0,5$ graus) terão de 5 a 100 iterações, assim como para o segundo passo de tempo e assim por diante, até que seja alcançado o critério de parada. Como o software não nos mostra o resultado final para cada passo de tempo, foi desenvolvido um código no Excel VBA para filtrar apenas os valores das últimas iterações de cada passo de tempo.

Da Figura 5 até a Figura 8 são mostradas comparações entre a pressão encontrada experimentalmente por Hanriot, 2001 e a pressão encontrada numericamente com o código mencionado no capítulo anterior em cada ponto do domínio.

É possível observar que, à medida que o ponto analisado se afasta da porta da válvula (P1), os valores encontrados numericamente passam a diferir cada vez mais dos valores encontrados experimentalmente, principalmente para o primeiro ciclo (0 a 360°). Isto se deve, provavelmente, aos seguintes fatores:

- Os resultados experimentais são colhidos após o motor elétrico responsável pelo movimento do eixo comando de válvulas estar ligado por 15 minutos. Dessa forma, a parte transiente inicial de aceleração dos gases não interfere nas medições.
- O refinamento da malha pode ter sido insuficiente. A malha apresenta pouco mais de 50.000 volumes.
- O passo de ângulo de $0,5$ graus do eixo comando de válvula pode estar grande a ponto de não captar alguns fenômenos do escoamento. Diminuí-lo pode aumentar a acurácia da solução.

Além das razões citadas, é importante lembrar que a simulação trata de forma discretizada um problema que, na verdade, é contínuo. Por essa razão, a cada passo de tempo, ao longo de todo o domínio, pequenas diferenças entre a velocidade real da onda e a velocidade calculada numericamente são acumuladas. Dessa forma, é justificável que os resultados encontrados numericamente para a posição P1 (mais próxima da válvula de admissão), apresentem maior semelhança com os resultados experimentais do que aqueles da posição P10 (mais distante da válvula de admissão), por exemplo.

Observa-se ainda que os dois resultados não apresentam grandes defasagens, levando a conclusão de que, como o tubo utilizado na simulação tem o comprimento muito próximo do tubo experimentalmente, a velocidade com que a onda de pressão viaja está próxima da velocidade real do meio.

A diferença de amplitude entre os dois modelos pode indicar que o código está dissipando os valores de pressão durante os cálculos. Este fato pode ser devido ao valor de viscosidade dinâmica utilizada para o ar.

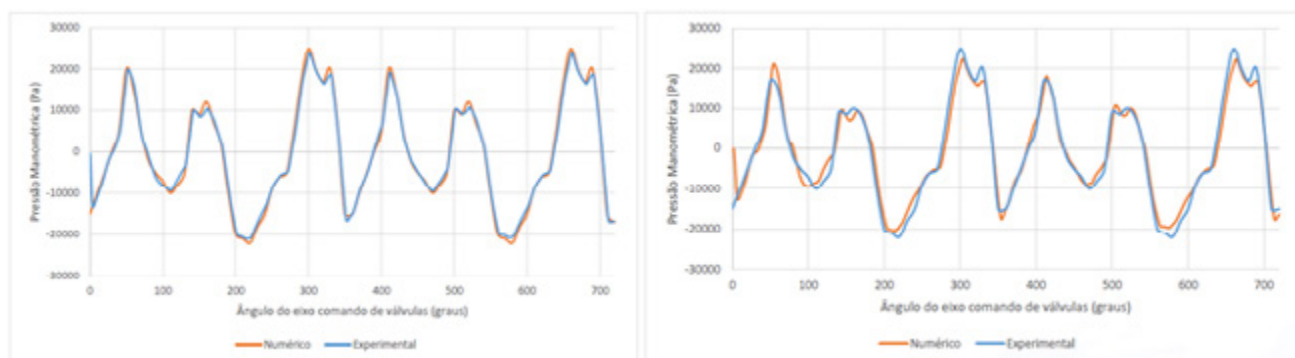


Figura 5: Pressão nas posição 1 (ponto P1) à esquerda e posição 2 (ponto P2) à direita.

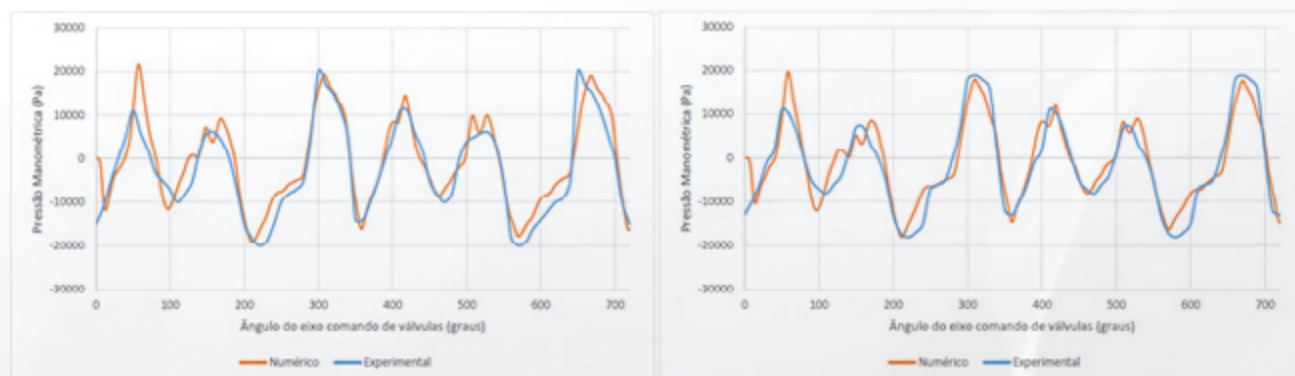
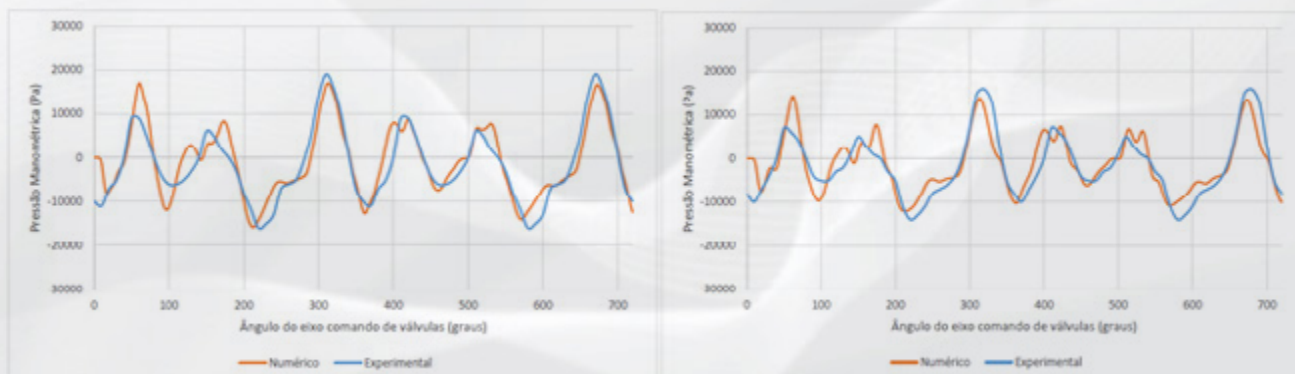


Figura 6: Pressão nas posição 4 (ponto P4) à esquerda e posição 5 (ponto P5) à direita.



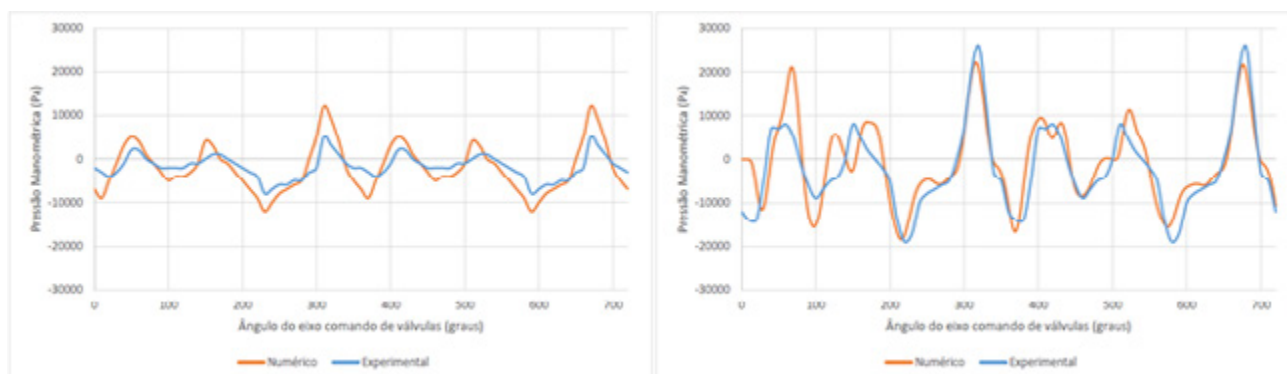


Figura 8: Pressão nas posição 10 (ponto P10) à esquerda e posição R (ponto PR) à direita.

A posição PR localizada no interior da câmara do ressonador é uma região um pouco mais crítica para a simulação numérica. Isto se deve ao fato de esta posição estar localizada fora do eixo longitudinal, levando à presença mais acentuada de efeitos multidimensionais. A Figura 9 mostra o campo de velocidades, para o ângulo de 500 graus, através de um corte feito em um plano passando pelo centro do domínio e mostra a tridimensionalidade do fenômeno estudado (Detalhes B e C).

Na Figura 10, é possível observar em detalhe, o encontro de duas ondas. Enquanto uma se move para a direita, outra está se movendo para a esquerda. A sobreposição das ondas resulta, em certo ponto do domínio, em velocidade nula, ou seja, a soma das amplitudes da onda que está indo com a da onda que está voltando resulta nula.

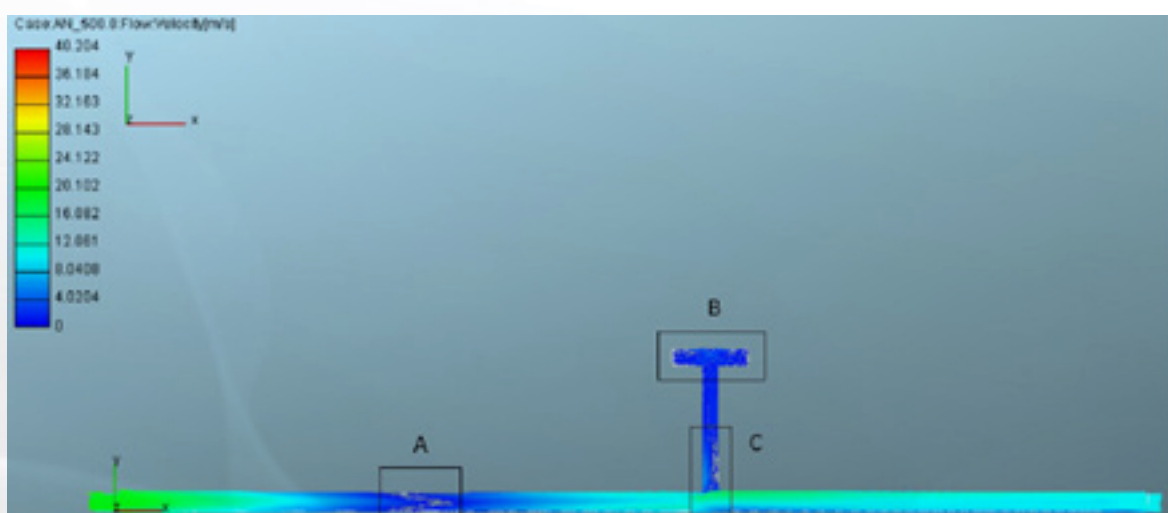


Figura 9: Campo de velocidades na posição 500 graus.

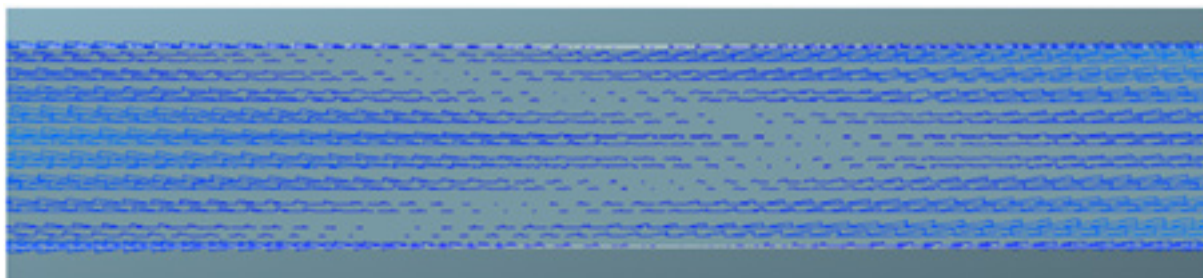


Figura 10: Detalhe A do campo de velocidades.

Na Figura 11 é possível observar mais detalhadamente a mudança de direção do escoamento na região do ressonador. É possível notar, ainda, a formação de vórtices nas extremidades da câmara do ressonador. Esse comportamento multidimensional afeta o fenômeno estudado e se difere do resto do domínio, onde o escoamento é predominantemente unidimensional.

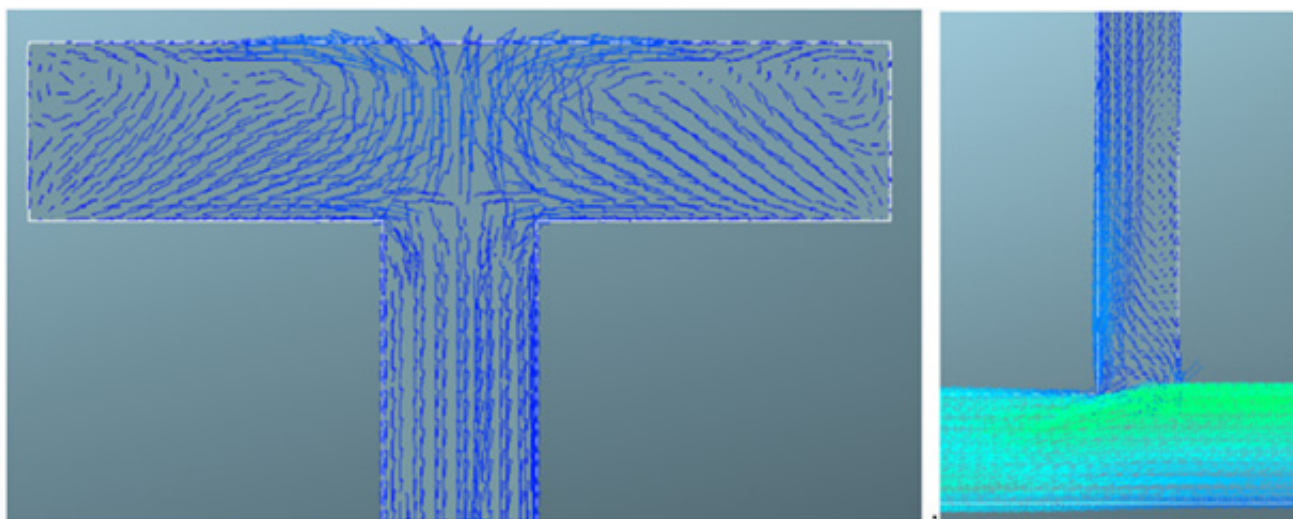


Figura 11: Detalhes B (esquerda) e C (direita) do campo de velocidades.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estudado o comportamento das ondas de pressão na admissão de um motor de combustão interna com a presença de um ressonador comparando os resultados numéricos encontrados pelo software comercial AVL Fire com os resultados experimentais encontrados por Hanriot, 2001 utilizando um Banco de Fluxo.

A pressão na porta da válvula, obtida no trabalho experimental de Hanriot, 2001, foi inserida como condição de contorno na simulação. Assim, foi possível comparar os valores de pressão ao longo do domínio para 720° de rotação do eixo comando de válvulas.

É possível observar que os gráficos numéricos e experimentais apresentam certa concordância no que diz respeito à fase, mas se diferem um pouco nos valores de amplitude. Entretanto, como foi explicado, não se pode descartar a validade do método, sendo necessário fazer mais simulações refinando a malha, diminuindo o passo de tempo e melhorando as condições iniciais do problema.

Por fim, é importante ressaltar que os fenômenos que ocorrem no banco de fluxo são diferentes daqueles observados em um motor real, uma vez que o banco de fluxo simula uma depressão constante entre a atmosfera e o tanque enquanto que no motor, além do movimento das válvulas, há ainda o movimento descendente do pistão, o qual gera uma variação de pressão dentro do cilindro. Contudo, o banco de fluxos ainda é uma importante ferramenta de estudo dos fenômenos pulsantes, permitindo-nos entender um pouco mais sobre o assunto.

REFERÊNCIAS

ASME, The American Society of Mechanical Engineers, 1964.

AVL Fire User's Guide.

BRUNETTI, Franco, Motores de Combustão Interna – Volume 1. Blucher, Ltda, 2012

BRUNETTI, Franco, Motores de Combustão Interna – Volume 2. Blucher, Ltda, 2012

COSTA, Rodrigo Caetano, Efeitos do Comprimento do Conduto de Admissão na Performance de um Motor de Combustão Interna, I Jornada Científica e VI FIPA do CEFET Bambuí, Bambuí, MG, Brasil, 2008.

FALCÃO, Carlos Eduardo Guex, Análise Numérica Comparada a Dados Experimentais de Ondas de Pressão Na Admissão de Ar de um Motor de Combustão Interna, Tese de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRGS, RS, Brasil, 2010.

FILHO, Paulo Pendido, Os Motores a Combustão Interna: para curso de máquinas térmicas, engenheiros, técnicos e mecânicos em geral que se interessam por motores, Lemi, 1983.

GUIMARÃES, Leonardo da Mata, Análise de Escoamento Dinâmico em Coletores de Admissão de Motores de Combustão Interna com Variador de Fase, Tese de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PUC Minas, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2008.

HANRIOT Sérgio de Moraes, Estudo dos Fenômenos Pulsantes do Escoamento de Ar nos Condutos de Admissão em Motores de Combustão Interna, Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2001.

HANRIOT, Sérgio de Moraes, Análise do Comportamento das Ondas de Pressão no Coletor de Admissão de um Motor de Combustão Interna com a Presença do Ressonador, Proceeding of 11º ENCIT, 2006.

HANRIOT, Sérgio de Moraes, Estudo Experimental do Ressonador de Helmholtz no Coletor de Aspiração de um Motor de Combustão Interna Alternativo, XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Águas de Lindoia, SP, Brasil, 1999.

MOURA, Thomas Maciel, Análise Numérica dos Fenômenos de Onda em Coletores de Admissão de Motores de Combustão Interna, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, SP, Brasil, 2014.

PEREIRA, Leonardo Vinícius Mendes, Análise Experimental da Defasagem de Abertura das Válvulas de Admissão em Motores de Combustão Interna. Belo Horizonte: Engenharia Mecânica - PUC Minas. Dissertação de Mestrado, 2004.

PEREIRA, Leonardo Vinícius Mendes, Estudo Experimental da Influência de um Ressonador de Volume Variável na Massa de Ar Admitida por um Motor de Combustão Interna, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2008.

