

PROPOSTA DE UM MODELO PARA SELEÇÃO DE PROJETOS DE MELHORIA DO FLUXO PRODUTIVO USANDO A ÁRVORE DE PERDA E TEORIA DAS RESTRIÇÕES.

GUSTAVO JOSÉ CAÇADOR - gustavo.cacador@solvingefeso.com
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ARARAQUARA - UNIARA

JEDERSON DONIZETE ZUCHI - jederson@sygnux.com.br
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ARARAQUARA - UNIARA

FABIO FERREIRA CARDOSO - fabiocard@uol.com.br
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ARARAQUARA - UNIARA

WALTHER AZZOLINI JÚNIOR - wazzolini@sc.usp.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP - SÃO CARLOS

JOSÉ LUÍS GARCIA HERMOSILLA - jlghermosilla@hotmail.com
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ARARAQUARA - UNIARA

Resumo: *OBJETIVO DESTE ARTIGO É PROPOR UM MODELO PARA A SELEÇÃO DE PROJETOS DE MELHORIA DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO QUE PERMITE REALIZAR SIMULAÇÕES ENVOLVENDO A DEMANDA DO PRODUTO E A DISPONIBILIDADE DE MÁQUINA ATRAVÉS DO OEE (OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS), COMO FERRAMENTA DE APONTAMENTO DA RESTRIÇÃO E O POTENCIAL “COST TAKE OUT” (REDUÇÃO DE CUSTO DE CONVERSÃO) QUE OS PROJETOS PROPORCIONARÃO. NESSE CONTEXTO A SELEÇÃO DE PROJETOS DE MELHORIA QUE PROPORCIONE IMPACTO POSITIVO NAS PERSPECTIVAS DE ATENDIMENTO DA DEMANDA, APROVEITAMENTO DOS RECURSOS DE MANUFATURA E REDUÇÃO DO CUSTO DE CONVERSÃO.*

Palavras-chaves: *TEORIA DAS RESTRIÇÕES, ÁRVORE DE PERDAS, OEE, CRT, UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS, COST TAKE OUT*

Área: *1 - GESTÃO DA PRODUÇÃO*

Sub-Área: *1.7 - GESTÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS*

PROPOSAL FOR A MODEL TO SELECT OF PROJECT TO IMPROVE THE PRODUCTION FLOW USING THE LOSS TREE AND THEORY OF CONSTRAINTS

Abstract: *OBJECTIVE OF THIS PAPER IS TO PROPOSE A MODEL FOR THE SELECTION OF PROJECTS TO IMPROVE MANUFACTURING PROCESSES TO PERFORM SIMULATIONS INVOLVING PRODUCT DEMAND AND THE AVAILABILITY OF MACHINE VIA OEE (OVERALL EQUIPMENT EFFECTIENESS) AS A TOOOL FOR POINTING THE RESTRICTION AND THE POTENTIAL “COST TAKE OUT” THAT PROJECTS PROVIDE. IN THIS CONTEXT THE SELECTION OF IMPROVEMENT PROJECTS THAT PROVIDE POSITIVE IMPACT ON THE PROSPECTS FOR MEETING DEMAND, UTILIZATION OF MANUFACTURING RESOURCES AND REDUCING THE COST OF CONVERSION.*

Keyword: *THEORY OF CONSTRAINTS, LOSS TREE, OEE, CRT, UTILIZATION OF RESOURCE*

1 Introdução

Muitos paradigmas da administração foram alterados com o impacto da globalização, que passou a exigir das organizações agilidade, velocidade e melhorias contínuas (KOSIERADZKA, KAKAL e KRUPA, 2011). Corroborando com esta afirmação, Durski (2003) salienta que as empresas devem não somente observar seu processo, como também o de seu concorrente como padrão de comparação.

Com o propósito de abordar a manufatura como parte de um sistema complexo (organização industrial) em um ambiente dinâmico (mercado global), Souza (2011) destaca a necessidade do aporte mais detalhado dos processos de fabricação das empresas contemporâneas a fim de melhorar o desempenho da produção e eliminar ou minimizar as restrições. Segundo Souza (2011), é necessário mapear as restrições a partir do uso de ferramentas adequadas de diagnóstico da operação desses processos produtivos destacando a importância do uso da ferramenta *Current Reality Tree* – CRT (Árvore da realidade atual (ARA) ou árvore de identificação das perdas).

Souza (2011) avalia que a ferramenta *Current Reality Tree* – CRT (Árvore da realidade atual (ARA) ou árvore de perdas) deve ser aplicada dentro de um contexto mais amplo da Teoria das Restrições no escopo do processo de raciocínio proposto por Goldratt. A ARA deve desempenhar o papel de colaborar com o delineamento de respostas mais precisas para as perguntas: “o que mudar”, “para o que mudar” e “como causar a mudança” através de suas cinco ferramentas básicas da Teoria das Restrições: Árvore da Realidade Atual, Diagrama de Dispersão de Nuvem, Árvore da Realidade Futura, Árvore de Pré-Requisitos e Árvore de Transição. Não é uma tarefa simples aplicar as ferramentas relacionadas com o objetivo de identificar focos de perdas e as causa-efeito dessas perdas. Sendo importante destacar que o conceito “perda”, no contexto apresentado, refere-se às atividades produtivas que não agregam valor ao produto.

Atividades que não agregam valor podem ser: movimentação de ferramentas ou materiais entre processos por longas distâncias, produção de itens desnecessários, perdas de tempo relacionadas ao processamento de matérias primas, componentes e produtos semi-acabados, assim como excessivos tempos de *setup* devido à prática de instruções de trabalho equivocadas de troca de ferramentas, dentre outros. (LIKER, 2008).

Embora outros tipos de perdas possam ser relacionados, esses representam os principais, quanto aos processos de fabricação da manufatura e que pode afetar o desempenho da produção pela falta de critério na seleção dos projetos de melhoria dos processos produtivos que o gestor deve priorizar com base nos resultados a serem obtidos do sistema produtivo e não de partes isoladas. A não avaliação sistêmica na seleção dos projetos de melhoria pode levar a organização a priorizar ajustes ou melhorias em atividades não agregadoras demonstrando incapacidade na remoção ou minimização de suas restrições/gargalos. (HAYES, *et. Al.*, 2005).

O processo de raciocínio a partir do primeiro passo com o uso da ferramenta *Current Reality Tree* – CRT (Árvore da realidade atual (ARA) ou árvore de perdas) auxilia na fase de diagnóstico dos processos de manufatura a fim de selecionar restrições efetivas desses processos por ordem de criticidade, o que deve permitir a elaboração de propostas de melhoria mais direcionadas às expectativas de ganho da indústria. Complementando essa afirmação, Bispo (1998) expõe que a gestão de processos, como descrito, deve contar com o apoio de um sistema de gestão capaz de controlar uma grande quantidade de variáveis, fato que exige suporte computacional para levantamento e controle dos dados, disponibilização de informações e simulações de cenários. No entanto, Zattar *et. al* (2010) observam que tais

recursos computacionais, *softwares* especialistas em gestão da produção, nem sempre são acessíveis, em função do seu custo elevado.

Em uma grande parcela de empresas, durante a manufatura dos mais diversos itens, uma grande massa de dados é gerada. No entanto, essa massa de dados, sem uma devida consolidação, não tem valor agregado, pois estão em seu estado bruto (Fortulan e Gonçalves Filho, 2005). Para Heidrich (2005) a utilização de *softwares* de MRP (*Material Requirements Planning*) se destaca como fator estratégico para a gestão dos dados, embora não é suficiente e adequado. Existem também os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD), que são uma classe de sistemas que permitem fornecer ao gestor informações, das mais variadas formas, para auxiliar na tomada de decisão. (Heinzle, Gauthier, Fialho, 2010).

Há, portanto, que se avaliar a precisão dos dados dos processos de fabricação apontados, assim como possuir um sistema confiável de apontamento desses processos, com dados e informações necessárias para a construção dos respectivos cenários com o uso do processo de raciocínio proposto por Goldratt. Uma alternativa para a coleta dos dados e informações dos processos de fabricação com ênfase nos recursos de manufatura, é o OEE (*overall equipment effectieness*). Nesse artigo utilizar-se-á o OEE (*overall equipment effectieness*) como ferramenta de apontamento dos dados e informações de processo da restrição, que para Hansen (2008) é a ferramenta responsável por medir os índices de disponibilidade, qualidade e performance de um equipamento.

O objetivo deste artigo é propor um modelo para a seleção de projetos de melhoria de processos de fabricação que permite realizar simulações envolvendo a demanda do produto e a disponibilidade de máquina através do OEE (*overall equipment effectieness*), como ferramenta de apontamento da restrição e o potencial “*cost take out*” (redução de custo de conversão) que os projetos proporcionarão. O trabalho parte de processos hipotéticos na empresa XYZ, com demandas e custos associados a partir do uso da ferramenta *Current Reality Tree* – CRT (Árvore da realidade atual (ARA) ou árvore de identificação das perdas), para efeito de discussão da integração das variáveis e dos princípios para seleção. Nesse contexto a seleção de projetos de melhoria que proporcione impacto positivo nas perspectivas de atendimento da demanda, aproveitamento dos recursos de manufatura e redução do custo de conversão deve considerar a seleção de projetos que garantam a integração das três perspectivas:

- a) Atendimento à Demanda e Expectativa Comercial;
- b) Aproveitamento dos Recursos (Equipamentos, Mão de Obra, Material e insumos como, por exemplo, Energia Elétrica); e
- c) Redução do Custo de Conversão (“*Cost Take Out*”)

As ferramentas e estudos que devem ser considerados e integrados para seleção de projetos de melhoria para atender as 03 perspectivas são:

- a) Estudo da Capacidade de Produção (TOC – *Theory of Constraints*);
- b) Desdobramento das ineficiências dos equipamentos;
- c) Potencial de redução com base no delineamento da ferramenta *Current Reality Tree* – CRT (Árvore da realidade atual (ARA) ou árvore de identificação das perdas) Valorizada.

O artigo tratará, em sua seção 02, a revisão bibliográfica da teoria das restrições, árvore de perdas, fatores críticos para a implementação de projetos de melhoria; na seção 03, demonstrar a aplicação da árvore de perdas para a seleção de projetos de melhoria e, na seção 04, as conclusões.

2 Revisão da Literatura

2.1 Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições (*Theory of Constraints* – TOC) indica que o recurso gargalo

restringe a capacidade de uma operação para fazer dinheiro e, a melhor maneira de maximizar a renda é explorar plenamente o uso do recurso de manufatura, entretanto os autores concluem que o nível ótimo de utilização deve ser inferior a 100% e qualquer tentativa de aumentar a utilização do recurso para além do nível ótimo traz resultados desastrosos para a empresa (CHAKRAVORTY e ATWATER, 2006 ; CHAKRAVORTY e ATWATER, 2002). A TOC transmite a ideia de que qualquer sistema gerencial em uma empresa é limitado e que sempre oculta uma capacidade de produtividade ou melhoria a ser implementada. (Marton e Paulová, 2010).

2.2 Current Reality Tree – CRT (Árvore da realidade atual (ARA) ou árvore de identificação das perdas)

As empresas simplesmente não podem alterar sua política de preço por modificação na estrutura de custos, mas sim elaborar a política de redução de custos, para atender a expectativa de preços, esta sistemática passou a ser uma ferramenta para buscar um melhor posicionamento estratégico e desempenho, dadas as limitações de preço e volume solicitado pelo mercado e as restrições e perdas de processo, definindo qual o custo máximo suportável de forma a atingir o retorno desejável (MARTINS, 2000).

Árvore de perdas é uma abordagem baseada na busca pela competitividade na indústria. A aplicação dessa metodologia tem como foco principal os processos produtivos, onde dá ênfase a maximização da produção pela eliminação das perdas conduzindo a manufatura a apoiar vantagem competitiva à organização industrial, tendo em vista que gera aumento na produtividade, na qualidade e em especial na redução de custos de produção. Contudo, deve ser capaz de atender ao objetivo de otimização dos processos de fabricação com a eliminação das perdas (Aragão, 2007). Nesse contexto o objetivo das empresas segundo Folador e Mattos (2007), é a eliminação total das perdas, todavia, para que esse objetivo possa ser alcançado é necessário atacar a causa raiz das anomalias detectadas e que provocam a perda de desempenho dos recursos da manufatura.

Para os autores o controle das anomalias (quebras ou interrupções eventuais) é o diferencial para que a empresa obtenha ganhos, tanto de produtividade como também da qualidade dos produtos fabricados como de segurança na operação. É fato, devido a competitividade imposta às indústrias contemporâneas, que não se pode nos dias atuais conviver com paradas de produção por quebras, especialmente porque máquinas requerem volumosos investimentos realizados na aquisição e manutenção do ativo.

É importante consequentemente ter em mente, que empresas não podem mais se dar ao luxo de ter perdas e desperdícios acima do tolerável em seus processos se quiserem continuar mantendo seus produtos ou serviços no mercado. Com o propósito de apoiar a identificação das anomalias como exposto, de acordo com Souza (2011), a *Current Reality Tree – CRT* (Árvore da realidade atual (ARA) ou árvore de identificação das perdas) busca demonstrar esquematicamente as correlações lógicas de causa-efeito entre os diversos problemas relacionados às perdas enfrentados no chão de fábrica. Souza (2011) define ARA como um diagrama que descreve as relações de causa-efeito na realidade do problema, evidenciando os efeitos indesejáveis (restrições).

De acordo com a Figura 1 a construção da ARA parte de um efeito indesejável em um ponto ou recursos de manufatura específico identificando a necessidade de intervenção. A partir do recurso selecionado em específico a ARA tem sua ramificação estendida para os demais recursos do sistema de produção dando uma visão sistêmica. A partir da extensão da ramificação da ARA torna-se mais evidente através da interdependência entre os recursos identificar o mais crítico e responsável pela anomalia de maior impacto do desempenho do sistema de manufatura como um todo e não de um recurso especificamente.

Goldratt (1994 *apud* Souza, 2011) expõe que a ARA pode ser representada por diagramas a partir de um conjunto de “n” relações de interdependência que caracterizam a causalidade. O objetivo principal da ARA é apoiar o reconhecimento dos problemas-raízes de um determinado sistema permitindo a identificação de quais entidades, dentre as relacionadas que expressam situações indesejáveis ou disfunções, portanto, possuindo apenas setas saindo. Nesse caso as entidades que expressam tais situações, geralmente estão localizadas na parte de baixo da árvore como a fonte causadora de todos os efeitos indesejáveis (EIs) observados.

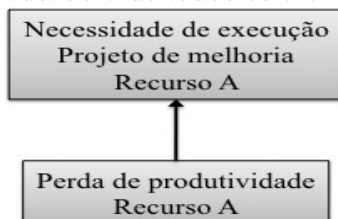


FIGURA 01 – Relação de causalidade representada através da ARA. Fonte: Próprio Autor

2.3 Fatores críticos para implementação de projetos de melhoria.

Parte dos projetos de melhoria não atinge seus objetivos por falta de comprometimento da equipe, gestão inapropriada e em muitos casos pela falta de se ter um objetivo a ser atingido, dessa maneira, é de extrema importância que o gestor apresente de forma clara as metas e resultados esperados com a implementação de tais melhorias. (Tanaka, Muniz e Neto, 2012). Como Attadia e Martins (2003) observam, a melhoria continua é basicamente um conceito simples, com baixo nível de investimento.

Em estudo realizado em empresas industriais, Mendes, Oprime e Pimenta (2010) levantaram que as principais razões da baixa aceitação na implementação e manutenção de projetos de melhorias foram a falta de treinamento em ferramentas de identificação e solução de problemas, falta de incentivo a sugestões e consequentemente comprometimento dos colaboradores, assim como a não comunicação face a face entre o gestor da produção e o chão de fábrica.

Já para Alves, Ferraz e Souza (2007), o fator crítico para implementação de um projeto de melhoria é aquele que pode influenciar negativamente o sucesso do mesmo, como a falta de liderança, de motivação, de treinamento, de foco e de disponibilidade dos envolvidos.

3.1 Contextualização

Como referenciado anteriormente, os modelos de priorização de projetos de melhorias tomam como base a variável demanda para sua alocação, no entanto, este artigo discutirá a proposição da expansão deste critério, entendendo que essa condição conduz à melhores resultados para a organização. Um agravante inerente aos processos de tomada de decisão organizacionais, segundo Carli, Delamaro e Salomon (2010) é a falta de confiabilidade de seus sistemas de informação, comprometendo tanto as ações que envolvem a escolha e operacionalização de seus projetos de melhoria, como a avaliação de suas metas empresariais, utilizadas como balizadores desta sistemática.

Auxiliando nesse processo de alocação de projetos de melhorias, Jonsson e Lesshammar (1999) afirmam que o OEE pode ser aplicado de diferentes formas, permitindo uma medição simplificada do desempenho operacional e assim contribuindo para a geração de indicadores que poderão ser utilizados como balizadores para os projetos de melhoria continua (Kaizen). Por esse motivo, foi utilizado o OEE nesta pesquisa, com o intuito de levantar individualmente os índices de perdas por máquina.

Através do índice do OEE é possível efetuar o cálculo de quanto uma determinada máquina pode produzir, tendo em vista seu próprio índice. A título de ilustração pode-se

afirmar que se o ciclo máquina teórico corresponde a 60 unidades por hora para um determinado equipamento que tenha um índice OEE de 50%, é razoável esperar que sua produção horária seja de 30 unidades por hora para os ciclos produtivos subsequentes.

3.2 – Simulação

Como exemplo, a empresa XYZ é composta por quatro processos produtivos, Extrusão, Laminação, Impressão e Acabamento, para a confecção de um determinado produto. A empresa é composta por 08 equipamentos, sendo uma extrusora, uma laminadora, duas impressoras e quatro máquinas para acabamento em corte.

Além do mais, o OEE foi utilizado neste caso para fazer a medição do índice de eficiência de cada um dos equipamentos. A empresa XYZ possui condições de conduzir anualmente 09 projetos Kaizens, divididos em 03 ondas, 01 onda por quadrimestre, para lançamento de 03 projetos simultâneos.

Considerando que, o total de horas disponíveis para a produção em cada máquina é de 8.760 horas (365 dias x 24h), e que as paradas planejadas totalizam 2.328 horas ((52 domingos x 24 horas) + (13 Feriados x 24h) + (52 semanas x 3h de Refeições/dia x 6 dias por semana) + (12 horas de preventivas/mês x 12 meses)), obtêm o total de 6.432 horas realmente disponíveis para a produção. Na FIGURA 02 a Demanda Prevista para o ano é de 1.600.000 Kg, e cada linha possui as seguintes características.

Na FIGURA 03 é apresentado a correlação entre as perdas de eficiência de produção, com o respectivo custo de conversão.

Item	Setor	Máquina	Escala de turno	Nº de Turnos	Unid. Efetiva	Núm. Func. Turno	Número de Manutentores por Evento (Corretiva)	Saturação Desejada	OEE	"throughput" Volume Médio Kg/h (Disponível)	Demanda Prevista para o Processo (Volume)	Horas Calendário	Horas Planejadas (Disp.)	Paradas Planejadas			
														Total das Paradas Planejadas	Finais de Semanas	Refeições	Manutenção Preventiva
1	Extrusão	Extrusora 01	6x1	3	Kg	4,0	2,0	90%	56%	240,000	1.600.000	8.760	6.432	2.328	1.248	936	144
2	Laminação	Laminadora 01	6x1	3	Kg	4,0	2,0	90%	62%	250,000	1.600.000	8.760	6.432	2.328	1.248	936	144
3	Impressão	Impressora 01	6x1	3	Kg	3,0	2,0	90%	51%	130,000	700.000	8.760	6.432	2.328	1.248	936	144
4	Impressão	Impressora 02	6x1	3	Kg	4,0	2,0	90%	53%	140,000	900.000	8.760	6.432	2.328	1.248	936	144
5	Acabamento	Acab 01	6x1	3	Kg	2,0	1,0	90%	60%	93,000	500.000	8.760	6.432	2.328	1.248	936	144
6	Acabamento	Acab 02	6x1	3	Kg	2,0	1,0	90%	52%	78,000	450.000	8.760	6.432	2.328	1.248	936	144
7	Acabamento	Acab 03	6x1	3	Kg	2,0	1,0	90%	60%	89,000	350.000	8.760	6.432	2.328	1.248	936	144
8	Acabamento	Acab 04	6x1	3	Kg	3,0	1,0	90%	55%	80,000	300.000	8.760	6.432	2.328	1.248	936	144

FIGURA 02 – Informações do formato de planejamento, número de operadores,

OEE, "throughput" volume médio produzido por hora, considerado a eficiência de cada equipamento, Demanda prevista para o próximo período e o tempo disponível para produção de cada equipamento. Fonte: Próprio Autor

Descrição da Perda de Eficiência		Custo de Conversão				
		Mão de Obra Operacional	Mão de Obra Manutentor	Pç Rep. Corretiva	Energia Elétrica	PERDA MATERIAL
		R\$/h	R\$/h	R\$ Absoluto	R\$/h	R\$/ABSOLUTO
1	Início e Fim de Turno	X			X	
2	Setup	X				X
3	Manutenção Corretiva	X	X	X		X
4	Falta de Material	X				
5	Perda de Velocidade	X			X	
6	Retrabalho	X			X	
7	Qualidade Insatisfatória	X			X	X

FIGURA 03 – Demonstra a apropriação entre as perdas de eficiência de produção, com o custo de conversão. O custo de conversão é identificado no plano de contas no setor de controladoria. Fonte: Próprio Autor

Na FIGURA 04 observa-se os valores do plano de contas apropriado por equipamento.

Máquinas	Mão de Obra Operacional	Mão de Obra Manutentor	Pç Rep. Corretiva	Energia Elétrica	PERDA MATERIAL TOTALIZADO
	R\$/h	R\$/h	R\$ Absoluto	R\$/h	R\$/ABSOLUTO
Extrusora 01 - 0	20,00	30,00	100.000,00	?	307.200,00
Laminadora 01 - 0	20,00	30,00	150.000,00	?	512.500,00
Impressora 01 - 0	25,00	30,00	190.000,00	?	271.700,00
Impressora 02 - 0	25,00	30,00	210.000,00	?	215.600,00
Acab 01 - 0	15,00	30,00	90.000,00	?	154.275,00
Acab 02 - 0	15,00	30,00	75.000,00	?	119.350,00
Acab 03 - 0	15,00	30,00	50.000,00	?	162.690,00
Acab 04 - 0	15,00	30,00	35.000,00	?	119.625,00

FIGURA 04 – Demonstra a apropriação do plano de contas por equipamentos, que será aplicado nas respectivas ineficiências identificadas na FIGURA 03. Fonte: próprio autor

No caso apresentado não será apropriado em cada Perda de Eficiência o consumo excedente de energia elétrica, pois como premissa adotada pela empresa XYZ, a forma de apropriação do referido custo é por rateio, pois não é realizada a medição individual por equipamento. O rateio poderá distorcer o custo da perda, desta forma como premissa no estudo atual não será considerada, até que o departamento de manutenção faça a medição de consumo real de energia elétrica por hora ou que defina pelo consumo teórico de energia por hora, analisando o consumo de cada um dos motores dos equipamentos. Uma vez demonstrado quais são os custos de conversão apropriados as das perdas de eficiência dos processos, analisar-se-á agora o cenário produtivo atual por máquina incluindo a questão da demanda vinculada aos índices encontrados pelo OEE para cada um dos equipamentos.

Na FIGURA 05 estão as necessidades produtivas considerando o índice através do OEE e a saturação desejada. Já é possível visualizar na FIGURA 05 quais os possíveis locais para lançamento dos projetos de Kaizen. O processo da Extrusora 01 não consegue atender a demanda, sendo necessário na configuração atual, trabalhar em regime de horas extras, aumentando o custo de conversão ou lançar projetos Kaizens suficientes para atender a saturação desejada de 90%.

Na FIGURA 05 as barras escuras representam a capacidade teórica de entrega, considerando o tempo disponível de produção. O verde escuro representa a entrega real considerando o OEE atual e o vermelho escuro o quando o processo perde pela ineficiência. A leitura da área clara representa o potencial de entrega teórica das paradas programadas, considerando a mesma lógica das barras verdes e vermelhas escuras. A linha Laranja representa a demanda para cada equipamento. Quando a linha da demanda esta na barra verde escura, significa que a empresa possui capacidade para atender a demanda e quando esta fora sinaliza a necessidade dos projetos, ou hora extra, e até mesmo ruptura comercial (devido ao não atendimento das entregas). Os equipamentos Laminadora 01 e Impressora 02 precisam de projetos *Kaizen* para buscar a saturação desejada.

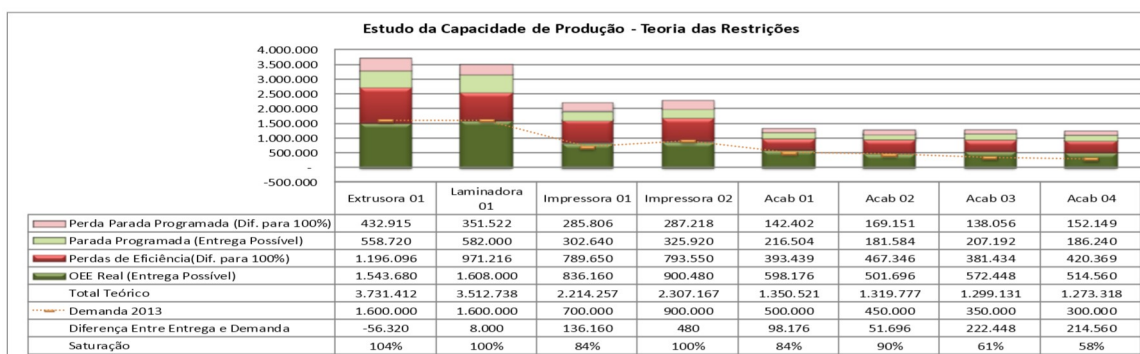


FIGURA 05: Cenário atual considerando Impacto da Demanda na disponibilidade dos equipamentos e o “throughput” de produção. Fonte: Próprio autor

Na FIGURA 06 é possível identificar o tempo de cada ineficiência de produção, anualizado, por equipamento e por voz.

Descrição das Vozes de Ineficiência de Processos	Extrusora 01 -	Laminadora 01 -	Impressora 01 -	Impressora 02 -	Acab 01 -	Acab 02 -	Acab 03 -	Acab 04 -
1 Início e Fim de Turno	204	200	300	240	210	250	230	210
2 Setup	800	950	900	830	1.020	1.010	1.100	1.290
3 Manutenção Corretiva	700	750	600	550	860	680	920	700
4 Falta de Material	400	200	300	120	120	220	210	330
5 Perda de Velocidade	1.200	1.500	828	1.399	1.100	600	750	500
6 Retrabalho	-	-	-	-	240	260	310	220
7 Qualidade Insatisfatória	320	410	380	280	330	310	340	290

FIGURA 06 – Apropriação dos tempos por voz de ineficiência de produção anualizada em horas. Fonte: Próprio autor

Na FIGURA 07 é possível identificar a valoração das perdas de ineficiências, considerando os tempos de paradas da FIGURA 06, com os custos de conversão da FIGURA 04 e as informações de número de funcionários por equipamento, manutentores por eventos de manutenção corretiva. Possibilitando Valorar a Árvore de perdas.

Na FIGURA 07, é demonstrado a valoração das perdas de ineficiência da Extrusora 01, exemplo a voz da perda por ineficiência de “início e Fim de Turno”, considera o tempo da parada em horas, multiplicado pela tripulação, número médio de operadores no equipamento por turno e o custo hora da mão de obra Operacional, sendo $(204 \text{ horas/ano} \times 4 \text{ operadores} \times \$20,00) = \$16.320,00$, já a perda de manutenção corretiva será, $((700 \text{ horas/ano} \times 4 \text{ operadores} \times \$20,00) + (700 \text{ horas/ano} \times 2 \text{ manutentores por evento} \times \$30,00) + (\$100.000,00 \text{ de peças de reposição})) = \$198.000,00$.

Descrição da Parada	Total de Horas de Máquina Parada Pelo Motivo no Período de Estudo	Número Médio de Operadores no Equipamento Por Turno	Número Médio de Manutentores por evento de Corretiva	Custo de Conversão					
				Mão de Obra Operacional	Mão de Obra Manutentor	Pç Rep. Corretiva	Energia Elétrica	PERDA MATERIAL TOTALIZADO	Potencial de Redução do Custo de Conversão
				20,00	30,00	100.000,00	0,00	307.200,00	
1 Início e Fim de Turno	204,00	4,00	2,00	16.320,00			-		16.320
2 Setup	800,00	4,00	2,00	64.000,00					64.000
3 Manutenção Corretiva	700,00	4,00	2,00	56.000,00	42.000,00	100.000,00			198.000
4 Falta de Material	400,00	4,00	2,00	32.000,00					32.000
5 Perda de Velocidade	1.200,00	4,00	2,00	96.000,00			-		96.000
6 Retrabalho	-	4,00	2,00	-			-		-
7 Qualidade Insatisfatória	320,00	4,00	2,00	25.600,00			-	307.200,00	332.800

FIGURA 07 – Apropriação dos tempos por voz de ineficiência de produção anualizada da Extrusora 01, para elaborar a Árvore de Perdas Valoradas. Fonte: Próprio autor

A FIGURA 08 demonstra o impacto das perdas de ineficiência em horas de todos os equipamentos, totalizando 28.791 horas/ano e as 03 principais ineficiências (Setup, Perda de Velocidade e Manutenção Corretiva) representam 74% de todas as paradas, porém é necessário o desdobramento por equipamento para selecionar os projetos necessários para atender a demanda e a saturação de 90%, determinada pela empresa XYZ e identificar o potencial de redução do custo de conversão.

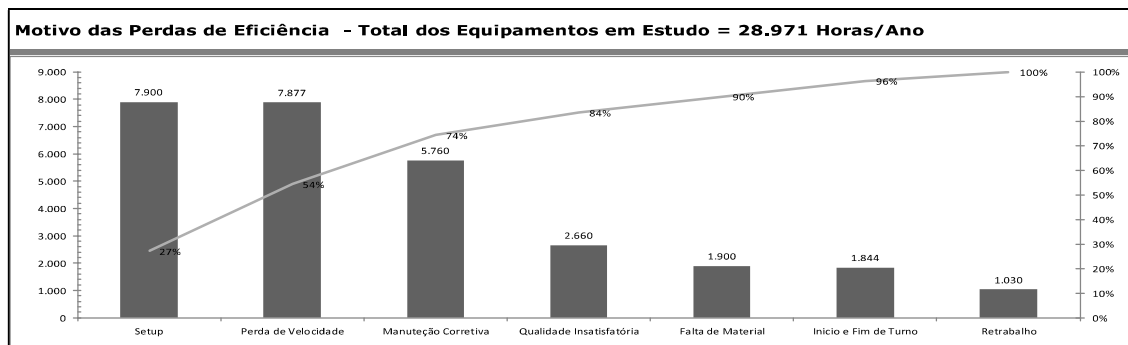


FIGURA 08 – Demonstração da representatividade das principais ineficiências da empresa em horas (disponibilidade). Fonte: Próprio autor

A FIGURA 09 demonstra o impacto das perdas de ineficiência valoradas, Árvore de perdas valoradas, de forma monetária de todos os equipamentos, totalizando \$ 4.705.860,00 e as 03 principais ineficiências (Qualidade Insatisfatória, Manutenção Corretiva e Perda de Velocidade) representam 85% de todas as paradas, porém é necessário o desdobramento por equipamento para selecionar os projetos. Outro ponto a observar é que a perda por Setup em horas era a primeira voz em horas e passa a ser a quarta em custos, e a Qualidade Insatisfatória de quarta voz em horas passa a ser a primeira em custos.

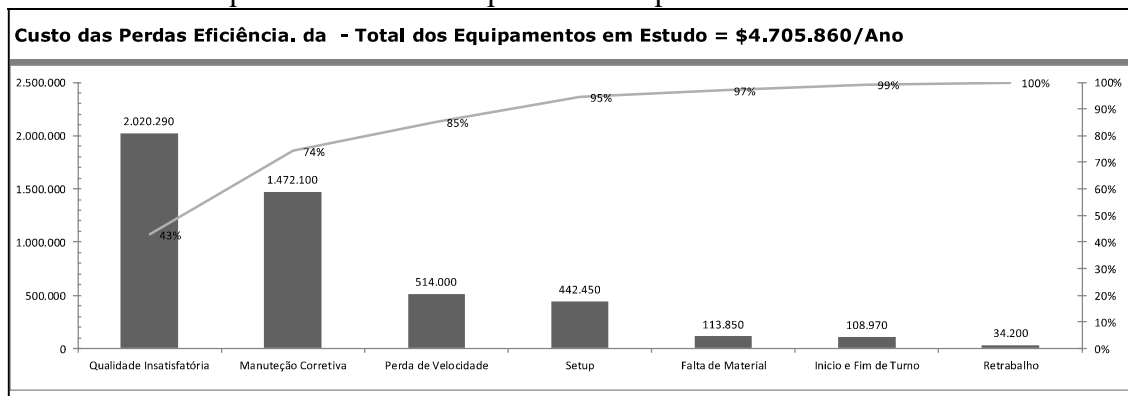


FIGURA 09 – Demonstração da representatividade das principais ineficiências da empresa monetariamente. Fonte: Próprio autor

A FIGURA 10 demonstra o impacto das perdas de ineficiência em horas por equipamento, em que a Laminadora 01, Acab 01, Acab 03, Extrusora 01 e Acab 04 e Impressora 02 representam 77% do total de paradas, porém quando avalia-se a FIGURA 05, é possível observar que as máquinas de Acabamento não são prioritárias por disponibilidade, pois conseguem atender a demanda. Observando-se apenas o desdobramento da disponibilidade, sem analisar o estudo de capacidade, pode proporcionar a escolha equivocada de projetos de melhorias.

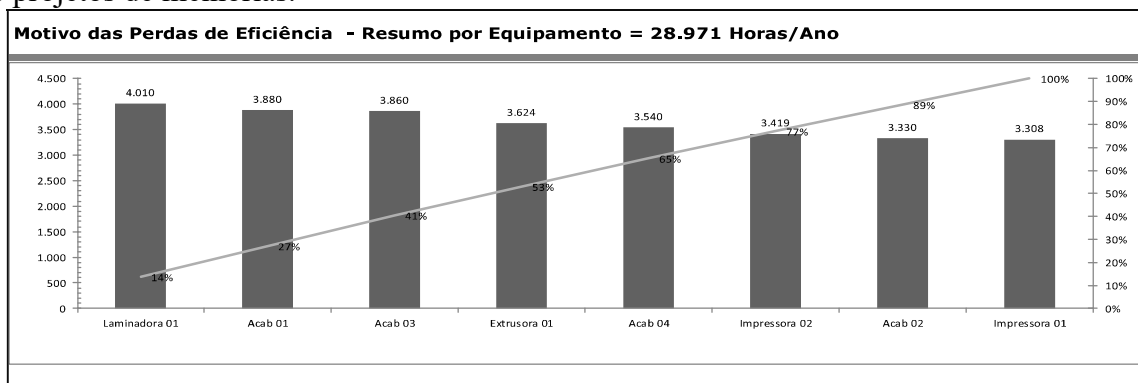


FIGURA 10 – Demonstra a representatividade das principais ineficiências da empresa em horas de disponibilidade. Fonte: Próprio autor

A FIGURA 11 demonstra o impacto monetário das perdas de ineficiência equipamento, em que a Laminadora 01, Impressora 02, Impressora 01, Extrusora 01, Acab 01 representam 79% do total dos custos, porém quando é avaliado a FIGURA 10, a Laminadora 01 é apresenta a principal perda em hora e em custos e na FIGURA 05, apesar de conseguir atender a demanda, apresenta a saturação de 100%, sendo necessário buscar a saturação desejada de 90%.

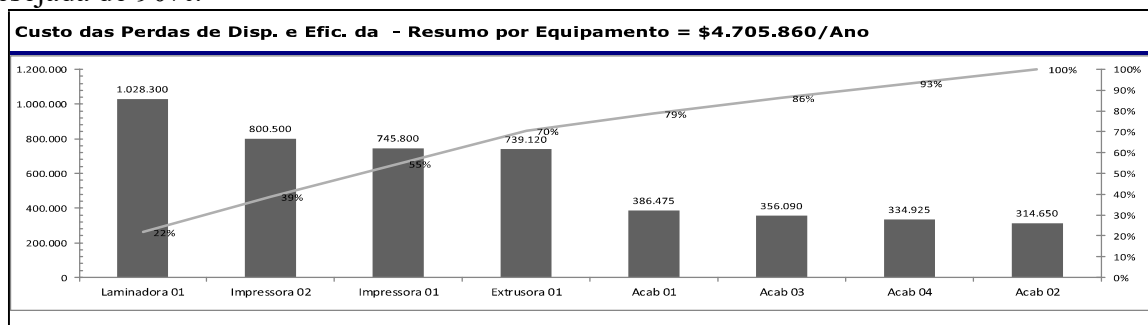


FIGURA 11 – Demonstra a representatividade das principais ineficiências monetária da empresa. Fonte: Próprio autor

Na FIGURA 12 é demonstrado o resumo das perdas de eficiência em horas por equipamento, bem como o custo apropriado. Na realidade a FIGURA 12 compila os dados das FIGURAS 06 e 07, proporcionando ao gestor do processo produtivo simular a redução da perda de cada equipamento e o potencial resultado, como ganho de disponibilidade para atender a demanda e saturação desejada, identificada na FIGURA 05 e a redução do custo de conversão.

Na FIGURA 12 é possível determinar o potencial de redução, criar cenários para lançamento de projetos kaizen avaliando o impacto na capacidade de entrega (TOC), ganho de disponibilidade, reduzindo as perdas de improdutividades e potencializando a redução do custo de conversão, integrado à árvore de perdas valorizadas.

Descrição da Parada	Simulação			Situação Atual			Redução Potencial			Resumo Potencial		
	Meta (%)	Nome do Projeto	Onda de Projeto	Total de Horas de Máquina Parada	Volume	Custo Apropriado	Total de Horas de Máquina Parada	Volume	Potencial de Redução de Custo \$	Ganho Potencial em Disp. (horas)	Ganho Potencial em Volume	Ganho Potencial de Redução de Custo
Extrusora 01 - Início e Fim de Turno				204	48.960	16.320	-	-	-			
Extrusora 01 - Setup	30%	Proj 01	Quadrimestre 01	800	192.000	64.000	240	57.600	19.200			
Extrusora 01 - Manutenção Corretiva	35%	Proj 02	Quadrimestre 02	700	168.000	198.000	245	58.800	69.300			
Extrusora 01 - Falta de Material				400	96.000	32.000	-	-	-	1.001	240.240	221.940
Extrusora 01 - Perda de Velocidade	35%	Proj 03	Quadrimestre 01	1.200	288.000	96.000	420	100.800	33.600			
Extrusora 01 - Retrabalho				-	-	-	-	-	-			
Extrusora 01 - Qualidade Insatisfatória	30%	Proj 04	Quadrimestre 01	320	76.800	332.800	96	23.040	99.840			
Laminadora 01 - Início e Fim de Turno				200	50.000	16.000	-	-	-			
Laminadora 01 - Setup				950	237.500	76.000	-	-	-			
Laminadora 01 - Manutenção Corretiva				750	187.500	255.000	-	-	-			
Laminadora 01 - Falta de Material				200	50.000	16.000	-	-	-	648	162.000	205.590
Laminadora 01 - Perda de Velocidade	35%	Proj 05	Quadrimestre 02	1.500	375.000	120.000	525	131.250	42.000			
Laminadora 01 - Retrabalho				-	-	-	-	-	-			
Laminadora 01 - Qualidade Insatisfatória	30%	Proj 06	Quadrimestre 02	410	102.500	545.300	123	30.750	163.590			
Impressora 01 - Início e Fim de Turno				300	39.000	22.500	-	-	-			
Impressora 01 - Setup				900	117.000	67.500	-	-	-			
Impressora 01 - Manutenção Corretiva				600	78.000	271.000	-	-	-	114	14.820	90.060
Impressora 01 - Falta de Material				300	39.000	22.500	-	-	-			
Impressora 01 - Perda de Velocidade				828	107.640	62.100	-	-	-			
Impressora 01 - Retrabalho				-	-	-	-	-	-			
Impressora 01 - Qualidade Insatisfatória	30%	Proj 09	Quadrimestre 03	380	49.400	300.200	114	14.820	90.060			
Impressora 02 - Início e Fim de Turno				240	33.600	24.000	-	-	-			
Impressora 02 - Setup				830	116.200	83.000	-	-	-			
Impressora 02 - Manutenção Corretiva	35%	Proj 07	Quadrimestre 03	550	77.000	298.000	193	26.950	104.300			
Impressora 02 - Falta de Material				120	16.800	12.000	-	-	-	682	95.501	153.265
Impressora 02 - Perda de Velocidade	35%	Proj 08	Quadrimestre 03	1.399	195.860	139.900	490	68.551	48.965			
Impressora 02 - Retrabalho				-	-	-	-	-	-			
Impressora 02 - Qualidade Insatisfatória				280	39.200	243.600	-	-	-			
Acab 01 - Início e Fim de Turno				210	19.530	6.300	-	-	-			
Acab 01 - Setup				1.020	94.860	30.600	-	-	-			
Acab 01 - Manutenção Corretiva				860	79.980	141.600	-	-	-			
Acab 01 - Falta de Material				120	11.160	3.600	-	-	-			
Acab 01 - Perda de Velocidade				1.100	102.300	33.000	-	-	-			
Acab 01 - Retrabalho				240	22.320	7.200	-	-	-			
Acab 01 - Qualidade Insatisfatória				330	30.690	164.175	-	-	-			
Acab 02 - Início e Fim de Turno				250	19.500	7.500	-	-	-			
Acab 02 - Setup				1.010	78.780	30.300	-	-	-			
Acab 02 - Manutenção Corretiva				680	53.040	115.800	-	-	-			
Acab 02 - Falta de Material				220	17.160	6.600	-	-	-			
Acab 02 - Perda de Velocidade				600	46.800	18.000	-	-	-			
Acab 02 - Retrabalho				260	20.280	7.800	-	-	-			
Acab 02 - Qualidade Insatisfatória				310	24.180	128.650	-	-	-			
Acab 03 - Início e Fim de Turno				230	20.470	6.900	-	-	-			
Acab 03 - Setup				1.100	97.900	33.000	-	-	-			
Acab 03 - Manutenção Corretiva				920	81.880	105.200	-	-	-			
Acab 03 - Falta de Material				210	18.690	6.300	-	-	-			
Acab 03 - Perda de Velocidade				750	66.750	22.500	-	-	-			
Acab 03 - Retrabalho				310	27.590	9.300	-	-	-			
Acab 03 - Qualidade Insatisfatória				340	30.260	172.890	-	-	-			
Acab 04 - Início e Fim de Turno				210	16.800	9.450	-	-	-			
Acab 04 - Setup				1.290	103.200	58.050	-	-	-			
Acab 04 - Manutenção Corretiva				700	56.000	87.500	-	-	-			
Acab 04 - Falta de Material				330	26.400	14.850	-	-	-			
Acab 04 - Perda de Velocidade				500	40.000	22.500	-	-	-			
Acab 04 - Retrabalho				220	17.600	9.900	-	-	-			
Acab 04 - Qualidade Insatisfatória				290	23.200	132.675	-	-	-			

FIGURA 12 – Simulação de redução das perdas para atender a necessidade de atendimento comercial e redução de gargalos de processo e o potencial resultado financeiro, reduzindo o custo de conversão. Fonte: Próprio autor

No exemplo a empresa XYZ criou o cenário lançando 09 projetos, divididos em 03 ondas quadrimestrais, em que a Extrusora 01 recebera 03 projetos simultâneos na primeira onda (quadrimestre 01), buscando retirar as restrições e alterando o status do equipamento de Gargalo para condição de conseguir atender a demanda. No quadrimestre 02 será lançado um quarto projeto na Extrusora 01, buscando a saturação desejada.

Conforme a coluna de resumo potencial da FIGURA 12, os projetos da Extrusora 01 potencializam a disponibilidade de 1.001 horas/ano, acréscimo em volume de 240.240 Kg/ano e redução do custo de conversão em \$ 221.940,00/ano; para a Laminadora 01, a disponibilidade será de 648 horas/ano, acréscimo em volume de 162.000 Kg/ano e redução do custo de conversão em \$ 205.590,00; para a Impressora 01, disponibilidade de 114 horas/ano, acréscimo em volume de 14.820 Kg/ano e redução do custo de conversão em \$ 90.060,00; e para a Impressora 02, a disponibilidade de 682 horas/ano, acréscimo em volume de 95.501 Kg/ano e redução do custo de conversão em \$ 153.265,00.

Com o cenário determinado para lançamento de projetos, será possível atender a demanda e a saturação desejada de 90%, além de reduzir o custo de conversão em \$ 670.855,00/ano.

A FIGURA 13 demonstra o acréscimo de volume e a futura saturação dos equipamentos, no estudo de capacidade futura, em relação a demanda comercial.

Com o processo foi possível simular o cenário necessário para lançamento de projetos de melhoria, para atender a demanda comercial, eliminando os processos gargalos atual (TOC), bem como o atendimento a saturação desejada e o resultado da redução do custo de conversão.

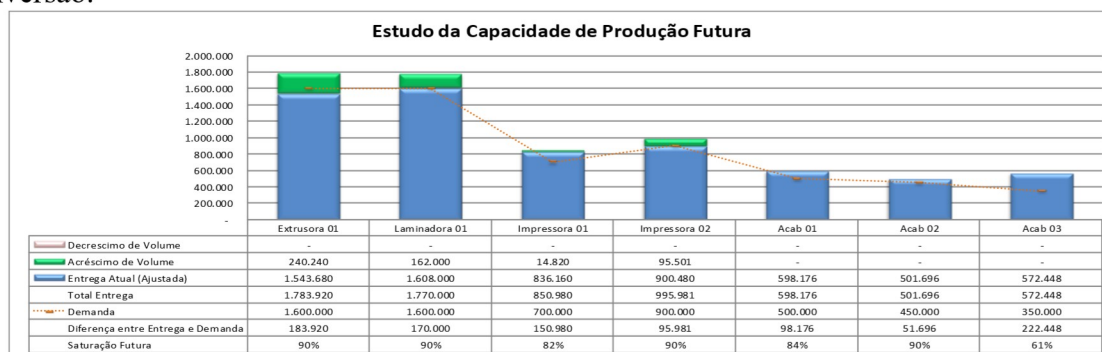


FIGURA 13 – Capacidade de entrega futura em volume de produção e a respectiva saturação dos equipamentos, considerando a demanda comercial. Fonte: Próprio autor

4.0 Conclusão

Pode-se considerar que toda restrição de processo, quando identificada, é uma oportunidade de melhoria e redução de custos a partir do aumento do índice de desempenho. Destaca-se que para identificar as restrições e oportunidades é necessário a definição da árvore de perdas com o propósito de obter um diagnóstico mais preciso dos recursos mais críticos que necessitam de intervenção para auxiliar na priorização das oportunidades de melhorias de modo a não desperdiçar esforços e recursos financeiros, visando não só a mitigação das restrições, mas também maior competitividade.

Na Simulação apresentada no artigo é possível identificar a restrição do processo, Extrusora 01, bem como quais são as perdas de processo, geradas na árvore de perdas, proporcionam a disponibilidade necessária e também a oportunidade de balanceamento dos processos. Quanto maior a integração dos dados de processo, coleta de perdas e planejamento, demanda, será menor a exigência em relação ao *Knowhow* do gestor para identificação das restrições e para oportunidades de melhoria.

Contudo, as simulações realizadas neste artigo apoia a possibilidade de trabalhos futuros com foco no desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão (SAD) com o propósito de disponibilizar um aplicativo computacional que pode ser parametrizado para simular outras restrições, além das apresentadas pelo artigo, como espaço físico para armazenamento dos estoques, custo de armazenamento e movimentação, necessidade de abastecedores, entre outros custos e limitadores de processo.

5.0 Referências

- ALVES, A.F.A.; FERRAZ, T.C.P.; SOUZA, L.G.M., Identificação De Fatores Críticos Que Influenciam o Desempenho De Projetos De Melhoria Contínua, XXVII Enegep, 2007.
- BISPO, C.A.F. “Uma Análise da nova Geração de sistemas de Apoio à Decisão”, São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.
- ARAGÃO, I.R. A Redução De Perdas Num Processo Produtivo Através Da Implantação Da Sistemática Da Árvore De Perdas, Revista Produção OnLine, Universidade Federal Santa Catarina, 2007.
- ATTADIA, L.C.L.; MARTINS, R.A. Medição de desempenho como base para evolução da melhoria contínua, Revista Produção, V. 13, nº 2, 2003.
- CARLI, P.C.; DELAMARO, M.C.; SALOMON, V.A.P. Identificação e Priorização dos Fatores Críticos de Sucesso na Implantação de Fábrica Digital, Revista Produção, V. 20, nº 4, 2010.
- CHAKRAVORTY, S.S ; ATWATER, J.B. Bottleneck Management: Theory and Practice, Production Planing & Control: The Management Of Operations, 2006.
- CHAKRAVORTY, S.S.; ATWATER, J.B. A Study of utilisation of capacity constrained resorces in drum: buffer-rope systems. Prod. Op. Manage, 2002.
- DURSKI, G.R., Avaliação do desempenho em cadeias de suprimentos. Revista da FAE, Curitiba, V. 6, nº 1, 2003.

- FOLADOR, A., J.; MATTOS, S.M.M, A Importância Da Gestão De Perdas Para Fortalecer a Competitividade e Melhorar a Produtividade Das Empresas No Século XXI, Revista Capital Científico, V. 5, nº 1, 2007.
- FORTULAN, M.R. ; GONÇALVES F.E.V. “Uma proposta de aplicação de Business Intelligence no Chão de Fábrica”, Revista Gestão e Produção, V. 12, p55-66, 2005.
- HANSEN, R.C., Eficiência Global dos Equipamentos, Porto Alegre: Editora Bookman, 2008.
- HAYES, R.; PISANO, G.; UPTON, D.; WHEELWRIGHT, S., Produção, Estratégia e Tecnologia em Busca da Vantagem Competitiva, Porto Alegre: Editora Bookman, 2005.
- HEIDRICH, P.H.L. Contribuição Do MRP Na Gestão Estratégica Da Manufatura, 2005.
- HEINZLE, R.; GAUTHIER, F.A.O.; FIALHO, F.A.P., Semântica nos Sistemas de Apoio a Decisão: O Estado da Arte, Revista da Unifebe., 2010.
- JONSSON, P. & LESSHAMMAR, M, Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - The role of OEE. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 19, nº 1, pp-55-78, 1999.
- KOSIERADZKA, A, KAKOL, U e KRUPA, A, The Development of Production Management Concepts, Polônia, - Warsaw University Technology, Warsaw Foundation of Management, Vol 3, nº 2, 2011.
- LIKER, J.K, O Modelo Toyota 14 Princípios de Gestão do Maior Fabricante do Mundo, Porto Alegre: Editora Bookman, 2008.
- MARTINS, E. Contabilidade de Custos, São Paulo: Editora Atlas, 2000.
- MARTON, M.; PAULOVÁ, I., Applying The Theory Of Constraints In The Course Of Process Improvement, Slovak University Of Technology In Bratislava, 2010.
- MENDES, G.H.S.; OPRIME, P.C.; PIMENTA, M.L., Fatores Críticos Para a Melhoria Contínua em Indústrias Brasileiras, Universidade Federal São Carlos, 2010.
- SOUZA, Fernando B. Uma análise das implicações da teoria das restrições ao processo de gestão da demanda, Tese de Livre Docência, 2011.
- TANAKA, Wilson, Y.; MUNIZ, Jorge J.; FARIA, Antônio N. Fatores Críticos para Implantação de Projetos de Melhoria Contínua segundo Líderes e Consultores Industriais, Sistemas & Gestão Revista Eletrônica, V. 7, número 1, 2012.
- ZATTAR, Isabel C.; FERREIRA, João C. E.; RODRIGUES, João G. G; SOUSA, Carlos H. B. A multi-agent system for the integration of process planning and scheduling using operation-based time-extended negotiation protocols, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Volume 23, 2010.