

TEORIA DAS RESTRIÇÕES E LEAN MANUFACTURING: UM CASO EXPLORATÓRIO EM UMA PLANTA PRODUTORA DE FOSFATO BICÁLCICO ATRAVÉS DA REAÇÃO DE NEUTRALIZAÇÃO DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO E ÁCIDO FOSFÓRICO

Victor Costa Macedo Ferraz – victorcmferraz@gmail.com
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

Tatiane Cristina Caires – tatiane.caires@gmail.com
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

Iris Bento da Silva – ibs@sc.usp.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP – SÃO CARLOS

Área: 1. ENGENHARIA DE OPERAÇÕES E PROCESSOS DA PRODUÇÃO

Sub-Área: 1.1 – GESTÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO E OPERAÇÕES

Resumo: ESTE ARTIGO CONSISTE NA CORRELAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES COM O LEAN MANUFACTURING, APLICANDO EM UM ESTUDO DE CASO ONDE DE MANEIRA INTEGRADA AMBOS FORAM UTILIZADOS PARA A MELHORIA CONTÍNUA OPERACIONAL DE UM SISTEMA PRODUTIVO. PARA ISSO, ATRAVÉS DA LITERATURA FOI BUSCADO IDENTIFICAR AS SIMILARIDADES E DIVERGÊNCIAS DAS DUAS ABORDAGENS QUANDO APLICADOS CONJUNTAMENTE. POSTERIORMENTE, O RESULTADO DESTA PESQUISA SERÁ APLICADO EM UM ESTUDO DE CASO DE UMA PLANTA DE PRODUÇÃO DE FOSFATO BICÁLCICO DE UMA EMPRESA SITUADA EM SÃO PAULO. A PRODUÇÃO CONSISTE NA REAÇÃO DE NEUTRALIZAÇÃO ENTRE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO A ÁCIDO FOSFÓRICO E ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS OBJETIVA-SE O AUMENTO DA EFICIÊNCIA PRODUTIVA DA PLANTA. COMO RESULTADO, O PRESENTE ESTUDO MOSTRA UMA ANÁLISE CRÍTICA COMPARATIVA DAS TEORIAS E COMO RESULTADO PRÁTICO APRESENTA GANHOS POTENCIAIS DA APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE MENOS 26% NOS TEMPOS DE CICLOS DO PROCESSO DE REAÇÃO.

Palavras chaves: LEAN MANUFACTURING; TEORIA DAS RESTRIÇÕES; EFICIÊNCIA PRODUTIVA; REAÇÃO DE NEUTRALIZAÇÃO; FOSFATO BICÁLCICO.

THEORY OF CONSTRAINTS AND LEAN MANUFACTURING: AN EXPLORATORY CASE IN A BICALLIC PHOSPHATE PRODUCING PLANT THROUGH THE CALCIUM HYDROXIDE NEUTRALIZATION AND PHOSPHORIC ACID

Abstract: *THIS ARTICLE CONSISTS IN THE CORRELATION OF THE THEORY OF CONSTRAINTS WITH LEAN MANUFACTURING, APPLYING IN A CASE STUDY WHERE IN AN INTEGRATED WAY BOTH WERE USED FOR THE CONTINUOUS OPERATIONAL IMPROVEMENT OF A PRODUCTIVE SYSTEM. FOR THAT, THROUGH THE LITERATURE, IT WAS SEARCHED TO IDENTIFY THE SIMILARITIES AND DIVERGENCIES OF THE TWO APPROACHES WHEN APPLIED TOGETHER. THEN THE RESULT OF THIS RESEARCH WILL BE APPLIED IN A CASE STUDY OF A BICALLIC PHOSPHATE PRODUCTION PLANT FROM A COMPANY LOCATED IN SÃO PAULO. PRODUCTION CONSISTS OF THE NEUTRALIZATION REACTION BETWEEN CALCIUM HYDROXIDE TO PHOSPHORIC ACID AND THROUGH THE APPLICATION OF THE METHODOLOGIES, THE OBJECTIVE IS TO INCREASE THE PRODUCTIVE EFFICIENCY OF THE PLANT. AS A RESULT, THIS STUDY SHOWS A CRITICAL COMPARATIVE ANALYSIS OF THEORIES AND AS A PRACTICAL RESULT PRESENTS POTENTIAL GAINS FROM THE APPLICATION OF METHODOLOGIES OF LESS 26% IN THE REACTION PROCESS CYCLING TIMES.*

Key words: *LEAN MANUFACTURING; THEORY OF RESTRICTIONS; PRODUCTIVE EFFICIENCY; NEUTRALIZATION REACTION; DICALCIUM PHOSPHATE.*

1. Introdução

Para que as empresas mantenham sua competitividade dentro do mercado, há uma busca incessante por redução de custos e aumento de capacidade produtiva. Para isso, torna-se essencial a aplicação de novos sistemas de produção que propiciem ganhos no sistema produtivo. Existem alguns tipos de sistemas de produção que propiciam essa melhoria. Dentre eles, os dois mais utilizados são a teoria das restrições e o *lean manufacturing*. Mas afinal, qual seria o melhor à ser utilizados? Posso usá-los de forma combinada?

A teoria das restrições (TOC - *Theory of Constraints*) está baseada no livro “A Meta” do Israelense Eliyahu Goldratt. Esta teoria prioriza as atividades de melhoria e entende que cada processo tem uma única restrição e que o fluxo total do processo só pode ser melhorado quando a restrição for melhorada.

Já o *lean manufacturing* (traduzido como manufatura enxuta) e também chamado de Sistema Toyota de Produção é uma filosofia de gestão focada na redução dos desperdícios. O conceito principal proposto é que ao eliminar esses desperdícios, a qualidade melhora e diminui-se o tempo e custo de produção. (ROMEIRO FILHO, 2010).

No estudo de caso, a teoria das restrições e os conceitos de *lean manufacturing* serão aplicados de maneira combinada em uma planta produtora de Fosfato Bicálcico, através da reação de neutralização de Hidróxido de Cálcio e Ácido Fosfórico. O fosfato dicálcico, também é conhecido como fosfato de cálcio dibásico, que é uma das formas do fosfato de cálcio utilizado na produção de suplementos nutricionais.

O Fosfato Bicálcico, produzido na planta em questão, é um produto intermediário e principal componente dos produtos finais produzidos no mesmo complexo fabril. A produção de Fosfato Bicálcico nesta fábrica, em volume, é o responsável por grande parte do custo de conversão da planta. Dessa forma, a melhoria da eficiência do processo produtivo deste produto intermediário, apresenta grande potencial de ganho financeiro para a empresa e aumenta sua competitividade no mercado.

Esse artigo apresentará uma análise comparativa entre o *lean manufacturing* e a teoria das restrições através de revisão bibliográfica e apresentação dos pontos de convergência e divergência de ambas. Em sequência, uma abordagem integrada das duas metodologias focará na identificação dos gargalos produtivos e nos desperdícios da planta objeto do estudo de caso, para propor melhorias que incrementem eficiência e produtividade.

2. Referencial Teórico

2.1. Teoria das Restrições (*Theory of Constraints – TOC*)

Desenvolvida nos anos 80 pelo físico Eliyahu M. Goldratt e divulgada no livro *A Meta* em 1984, é um desenvolvimento que facilita a tomada de decisões organizacionais nas quais existem restrições.

Para Goldratt (1984), uma restrição é algo que limita ou até impede a ação de uma empresa em direção aos seus objetivos.

Existem assim dois tipos básicos de restrições: físicas e não-físicas. As restrições físicas, em geral, estão relacionadas aos recursos palpáveis, como máquinas, instalações, veículos, etc. Já as não-físicas são aquelas não palpáveis, que são as atividades demandadas por um produto, processos ou comportamentos.

Em um cenário cada vez mais competitivo, o objetivo primordial de uma empresa é o lucro e sua sustentabilidade no futuro. A teoria das restrições está fortemente ligada a contabilidade gerencial. E quando corretamente aplicada, pode gerar resultados positivos como aumento do ganho, redução dos níveis de inventário e de despesa operacional, melhorando assim a *performance* organizacional. (INMAN, 2009).

Portanto, as restrições estabelecidas inicialmente pela organização podem mudar ao longo do tempo, pois ao ser solucionada automaticamente outra é encontrada e assim por diante. É um processo de melhoria contínua, no qual a busca por ganhos nas mais diversas áreas deve ser incessante.

Para a implementação da teoria das restrições em uma empresa, as mudanças culturais devem ser bastante significativas e estas encontram grandes barreiras para serem modificadas.

Segundo Goldratt (1993), a teoria das restrições apresenta cinco os passos para aplicação nas empresas à fim de obter resultados satisfatórios.

1. **Identificar corretamente a restrição do sistema.** A restrição pode ser o tempo disponível ou a capacidade de uma máquina, de um departamento ou de uma estação de trabalho;
2. **Explorar a restrição.** Neste passo, é necessário extrair o máximo possível do recurso identificado como restrição ou “gargalo” com os recursos já disponíveis naquela etapa do processo;
3. **Subordinar o sistema à restrição criada.** Os recursos e estoques devem ser gerenciados de modo a prover exatamente o necessário para atingir os objetivos

definidos para a restrição. Este passo pode implicar na ociosidade de recursos que não são restrições;

4. **Romper ou elevar à restrição.** Através da melhoria contínua das operações, da aquisição de capacidade ou de flutuações na demanda, por exemplo, a restrição do sistema pode ser rompida ou elevada;
5. **Identificar uma nova restrição,** buscando um novo processo de melhorias contínuas e otimização dos resultados.

2.2. Lean Manufacturing

O *lean manufacturing* é também conhecido por Sistema Toyota de Produção e foi criado no Japão após a Segunda Guerra Mundial. Trata-se do conjunto de ferramentas e técnicas que auxiliam na identificação e eliminação dos desperdícios melhorando a qualidade e permitindo reduzir o tempo e o custo de produção. Na década de 60, o mercado exigia maior flexibilidade e juntamente com o crescimento dos concorrentes demandava um novo sistema de produção que foi, portanto, desenvolvido pelo engenheiro Taiichi Ohno e sua equipe (OHNO, 1997).

Este novo sistema de produção enxuta, visa eliminar sistematicamente os desperdícios buscando produzir o produto final na quantidade certa e no momento correto (*Just-in-Time*), conforme demanda do cliente.

Como guia para a eliminação de perdas pode-se identificar sete tipos de desperdícios (superprodução, espera, transporte, processamento, estoque, movimento e retrabalho) instituídos pelo STP - Sistema Toyota de Produção (OHNO, 1997; SHINGO, 1996).

Assim, as perdas por superprodução, transporte, processamento, estoque e retrabalhos estão relacionadas à função processo, de modo que visam controlar o fluxo do objeto de trabalho no tempo e espaço. Quanto às perdas por espera e movimentação se relacionam a função operação, pois estão focadas na análise do sujeito de trabalho (pessoas e equipamentos) (ANTUNES, 2008).

3. Método

3.1 Estudo de caso

O método de pesquisa adotado neste trabalho foi o estudo de caso, que é um tipo de pesquisa empírica que investiga um fenômeno contemporâneo em seu contexto real (YIN, 2003).

3.2. Descrição do Processo Produtivo

A planta opera 7 dias por semana, 24 horas por dia divididas em três turnos. As matérias primas utilizadas no processo são o Ácido Fosfórico (H_3PO_4) e o Hidróxido de Cálcio ($Ca(OH)_2$). O Ácido Fosfórico é recebido em caminhões tanque com capacidade de 20 m³, aproximadamente 35 toneladas, e descarregado em um conjunto de 19 tanques que somam um estoque de aproximadamente 5.000 toneladas de ácido. O hidróxido de cálcio é produzido por outra planta dentro do complexo fabril que alimenta dois silos com capacidade de 300 toneladas cada via transportes pneumáticos, constituindo um estoque pulmão de 600 toneladas de hidróxido de cálcio.

O Ácido Fosfórico e o Hidróxido de Cálcio são dosados num reator de pás rotativas e a batelada possui um tempo total padrão de 125 segundos divididos em 4 etapas: adição de Hidróxido de Cálcio no reator em 5 segundos; adição de Ácido Fosfórico em 65 segundos; mistura com duração de 40 segundos e descarga do produto final em 20 segundos.

Existem 8 reatores idênticos dispostos em paralelo, cada um sendo alimentado por uma balança de Ácido Fosfórico e uma balança de Hidróxido de Cálcio dedicada. Cada reator possui capacidade de produção de 5 ton/h.

Após a etapa de reação, os 8 reatores são divididos em duas linhas alimentadas por 4 reatores cada. Um sistema de roscas transportadoras direcionam a produção de linha para secadores rotativos idênticos que tem por função extrair umidade do Fosfato Bicálcico produzido. Depois de seco, o fosfato proveniente da linha 2 é levado para a etapa de moagem através de um transportador helicoidal. O fosfato proveniente da linha 1 não passa por moagem no primeiro momento, porém se sua granulometria não estiver de acordo com a especificação, este será capturado na etapa de peneiramento e devolvido ao processo imediatamente antes do moinho da linha 2. A partir da rosca transportadora que recebe o fosfato moído, o processo retorna a configuração de uma linha única. Em sequência, encontra-se um elevador de canecas que irá que descarrega o fosfato em peneiras classificadoras de granulometria.

O produto conforme passa para a etapa de resfriamento e o produto rejeitado retorna para o sistema de roscas antes da etapa de moagem. O resfriamento do produto classificado é realizado por um único resfriador de tambor rotativo. Uma vez resfriado, o Fosfato passa por outro elevador de canecas que descarrega numa moega de capacidade de 3 toneladas. Esta moega pode direcionar o produto final para duas vias. A primeira é um transporte pneumático que irá transportar o fosfato para os silos de armazenamento de produto acabado. A segunda é

uma estação de ensaque de “Big Bags”. Veja na Figura 1 o fluxograma simplificado do processo para entendimento do todo.

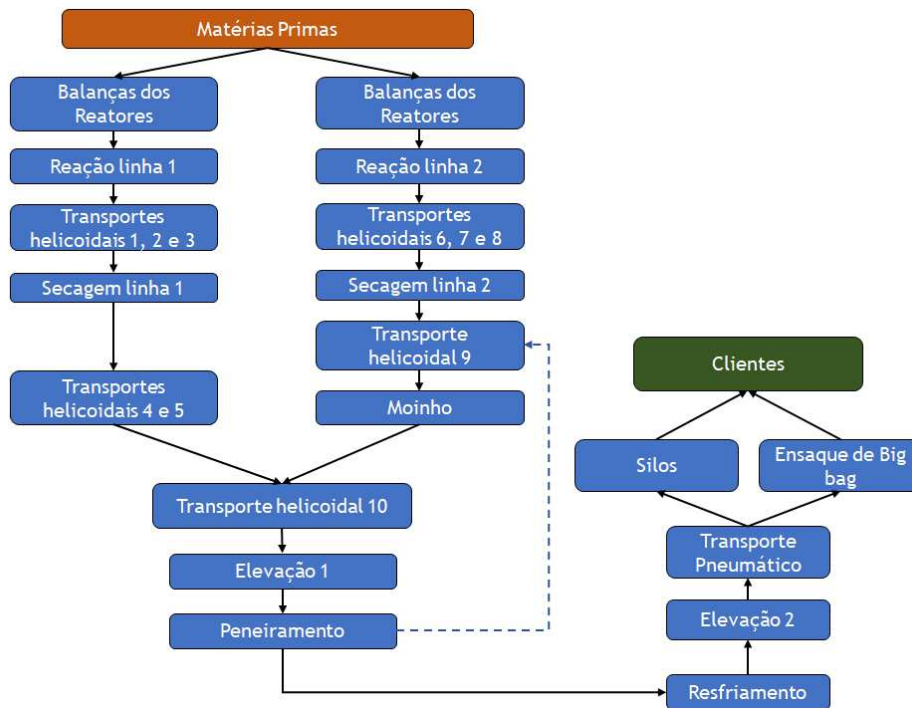


FIGURA 1 – Fluxograma Simplificado do Processo. Fonte: Os autores (2020).

Segue abaixo a Tabela 1 com as respectivas capacidades dos equipamentos.

TABELA 1 – Capacidades de Processamento

Equipamentos	Capacidade
Reatores	5,0 ton/h
Balanças de ácido	12,0 ton/h
Balanças de Hidróxido de cálcio	21,6 ton/h
Transportador Helicoidal 1	48,6 ton/h
Transportador Helicoidal 6	48,6 ton/h
Transportador Helicoidal 2	42,6 ton/h
Transportador Helicoidal 7	42,6 ton/h
Transportador Helicoidal 3	37,9 ton/h
Transportador Helicoidal 8	37,9 ton/h
Transportador Helicoidal 4	35,5ton/h
Transportador Helicoidal 9	25,4 ton/h
Transportador Helicoidal 5	35,5 ton/h
Transportador Helicoidal 10	132,2 ton/h
Secadores	33,0 ton/h
Resfriador	50,0 ton/h
Elevador de Canecas 1	48,0 ton/h
Elevador de Canecas 2	48,0 ton/h
Transporte Pneumático	45,0 ton/h
Peneiras	42,0 ton/h
Moinho	32,0 ton/h
Sistema de Ensaque	18,6 ton/h

Fonte: Os autores (2020)

3.3. Aplicação da Teoria das Restrições (*Theory of Constraints*)

A aplicação da teoria das restrições para o estudo de caso se deu através da aplicação de cinco passos propostos por Goldratt: identificar a restrição, explorar a restrição, subordinar o sistema à restrição, melhorar a restrição e identificar a nova restrição.

A respeito das restrições políticas impostas ao processo, pode-se destacar três fatores principais. O primeiro diz respeito ao cumprimento rígido das políticas de segurança do trabalho da empresa que tornam alguns processos morosos. O segundo e terceiro dizem respeito à demanda do produto pelos seus clientes e fornecedores de matéria primas, respectivamente. Estes fatores são extrínsecos ao processo e não serão analisados neste estudo.

Em sequência, para a identificação da restrição física foram levantados junto à empresa os valores de capacidade dos equipamentos e descrição do processo produtivo.

3.4. Aplicação do *Lean Manufacturing*

Segundo Womack e Jones (1996) o *lean manufacturing* baseia-se em 5 princípios fundamentais que são: i) definir o que é valor, por produto, e sob a ótica do cliente; ii) identificar o fluxo de valor para cada produto; iii) fazer o valor fluir sem interrupções; iv) puxar; v) buscar a perfeição.

Como no processo estudado apenas um produto é fabricado, cada etapa da produção será considerada como cliente da operação anterior e a análise será focada em identificar supérfluos em cada etapa que não agreguem valor aos requisitos demandados cliente.

Para identificar os fatores bloqueadores da manufatura enxuta, serão buscados os sete tipos de desperdício instituídos pelo Sistema Toyota de Produção, quais sejam: superprodução, espera, transporte, estoque, movimentação, processamento e retrabalho.

4. Análises e Discussões

A planta de produção objeto deste estudo tem seu início caracterizado por um processo batelada, até a etapa de reação, e continua como um processo contínuo, por isso para a porção do processo em batelada, o tempo de ciclo de cada etapa é a duração do processamento de uma batelada pelo equipamento ou sistema, e para a porção contínua do processo o tempo de ciclo de cada etapa é dado pela razão entre a massa da batelada e a capacidade de processamento do equipamento, respectivamente.

A Tabela 2 a seguir apresenta o tempo de ciclo determinado para cada etapa do processo. É importante notar que, como algumas etapas do processo são constituídas por equipamentos semelhantes distribuídos num arranjo em paralelo, o tempo de ciclo de cada etapa será dividido pelo número de componentes em paralelo, por exemplo, o tempo de ciclo

da etapa de secagem será metade do tempo necessário para um secador processar uma batelada, pois existem dois secadores dispostos em paralelo.

TABELA 2 – Tempos de Ciclo

Etapa	Tempo de Ciclo	Tempo de Ciclo
Enchimento da Balança de Hidróxido de cálcio	15	1,9
Dosagem de Hidróxido de cálcio	5	0,6
Enchimento da Balança de Ácido	70	8,8
Reação	155	19,4
Transporte 1	13,2	6,6
Transporte 2	15	7,5
Transporte 3	16,9	8,5
Transporte 4	18	9
Transporte 5	18	9
Transporte 6	13,2	6,6
Transporte 7	15	7,5
Transporte 8	16,9	8,5
Transporte 9	18	9
Secagem	19,4	9,7
Transporte 10	4,8	4,8
Elevação 1	13,4	13,4
Peneiramento	15,3	15,3
Moagem	12	12
Resfriamento	12,8	12,8
Elevação 2	13,4	13,4
Transporte Pneumático	14,2	14,2
Ensaque	34,5	34,5

Fonte: Os autores (2020)

Deve-se destacar também que, neste estudo premissas foram adotadas para a análise das restrições deste processo:

- Premissa 1: Considerou-se que a planta estava em regime pleno de operação, isto é com todos os equipamentos da planta funcionando;
- Premissa 2: Os tempos de ciclo das etapa em batelada foram obtidos através de cronoanálise e os tempos das etapas contínuas foram obtidos utilizando a capacidade de processamento dos equipamentos, com exceção do ensaque de *big bag* que também teve o seu tempo de ciclo aferido por cronoanálise;
- Premissa 3: Na etapa de moagem considerou-se que 10% do material processado seja rejeitado pela peneira;
- Premissa 4: A batelada tem massa igual à 178 kg;
- Premissa 5: A etapa de reação é composta pelas operações de dosagem do ácido no reator que dura 75 segundos, reação com mistura dos reagentes que dura 60 segundos e descarga que dura 20 segundos. Estes tempos referem-se aos valores aferidos na cronoanálise e não nos tempos padrões estabelecidos em projeto.

Analisando a Tabela 2, tem-se a primeira impressão de que a etapa de ensaque é o gargalo do processo, no entanto, o ensaque nesta planta é realizado “por oportunidade”, isto é, nos momentos em que o cliente principal deste processo está com baixa demanda ou parado para manutenção preventiva. Isto é possível porque a operação de ensaque não inviabiliza a

operação de transporte pneumático para o cliente principal, de forma que as duas operações, geralmente, são realizadas simultaneamente.

O dito cliente principal da planta de fosfato é um outro processo desta mesma fábrica e, apesar de sua demanda média ser da ordem de 25 ton/h, sua demanda pode variar entre 10 ton/h e picos de 50 ton/h. Desta maneira, como a operação de ensaque é realizada em momentos de baixa ou média demanda do cliente final, o tempo de ciclo do ensaque não representa verdadeiramente um gargalo para produção. A Figura 2 representa a última descrição.

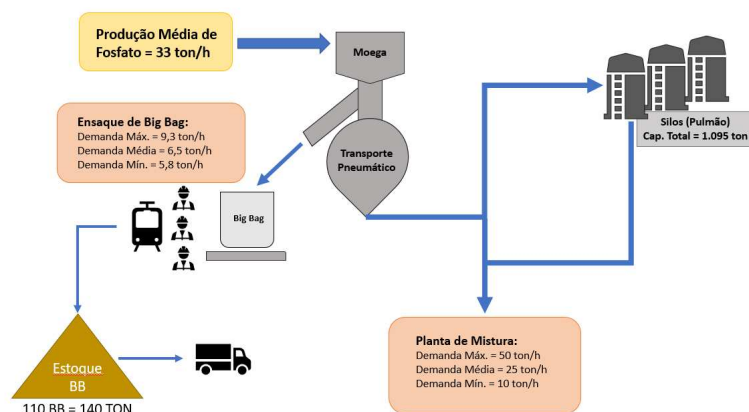


FIGURA 2 – Processo de Ensaque. Fonte: Os autores (2020).

Sendo assim, considerou-se como real gargalo deste processo a etapa de reação. Logo, se a cada 19,4 segundos, tempo de ciclo da reação, o gargalo processa 178 kg de fosfato bicálcico, pode-se afirmar que a capacidade desta planta está limitada à 33,03 ton/h.

Do ponto de vista do *lean manufacturing* pode-se afirmar que existe desbalanceamento entre etapas do processo. Esse desbalanceamento é notado pela diferença na altura das barras do gráfico da Figura 3, que representam os tempos de ciclo de cada etapa.

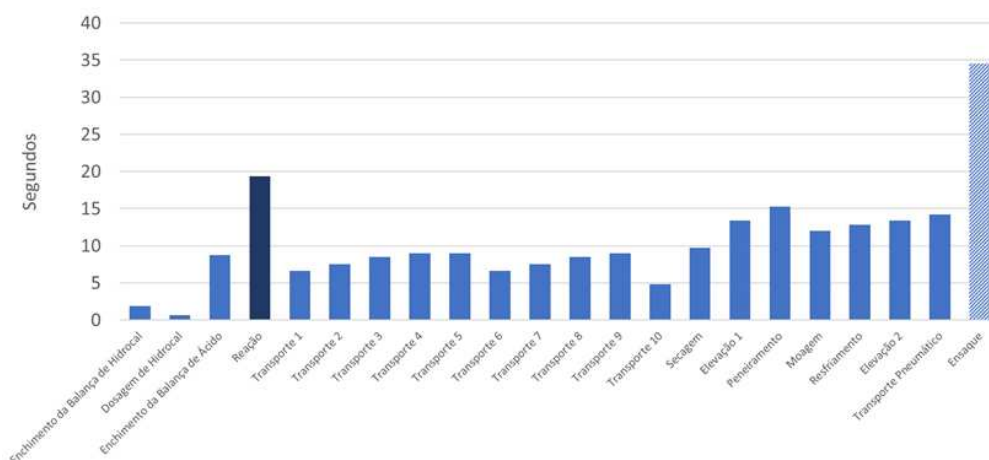


FIGURA 3: Tempo de Ciclo por Etapa do Processo. Fonte: Os autores (2020).

Nitidamente, os transportes helicoidais que recebem a carga dos reatores tem capacidade de transporte maior do que a capacidade de processamento dos reatores, logo os transportes esperam os reatores com preciosos segundos ociosos entre bateladas. Mesmo que os reatores não trabalhassem em fase, descarregando o fosfato simultaneamente.

Por se tratar de um processo composto por linhas fechadas, com alto grau de mecanização e de pouca interação direta com os operadores, não ficaram evidentes desperdícios significativos em transporte e movimentação. De fato, para o volume que produz, a planta não ocupa grande extensão dentro da fábrica, não sendo viável a instalação de transportadores mecânicos mais compactos e eficientes sem alterar a maior parte do layout.

Os silos que comportam 1.095 toneladas funcionam basicamente como pulmões protetores da produção em casos de paradas não programadas na planta do fosfato ou como complemento para as demandas de pico do cliente principal. Tendo em vista que paradas não planejadas nesta planta costumam ser longas devido à complexidade e dimensão de alguns equipamentos, os silos se fazem extremamente necessários para a proteção da produção no cliente principal e não configuram desperdício por estoque excessivo. Perdas por superprodução também não são relevantes, pois os silos só encontram-se cheios quando ocorrem quebras que provocam paradas longas na planta cliente.

Pode-se, no entanto, considerar que existe oportunidade na redução da taxa de fosfato reprocessado na peneira, já que 10% do material processado na peneira retorna para moagem. Seria, portanto, recomendada uma análise junto ao time de qualidade para avaliar se um possível aumento da malha das peneiras causaria prejuízo à qualidade do produto final, pois se viável, tal aumento poderia aumentar um pouco a vazão de saída da planta. Outra sugestão, seria adicionar um moinho na linha 1, permitindo que todo o material que chegue na peneira já tenha passado por um processo de moagem prévio.

Uma análise pautada na teoria das restrições direciona seu olhar para etapa gargalo, a reação, e neste ponto do estudo, percebe-se a complementariedade entre as abordagens da teoria das restrições e *lean manufacturing*, posto que a abordagem da produção enxuta direciona um olhar claro para a etapa da produção que apresenta desperdício por reprocesso, mas apenas com as análises das capacidades e tempos de ciclo, proposta pela teoria das restrições, fica claro que antes de propor melhorias ao sistema de peneiramento deve-se melhorar a etapa de reação, pois esta é o atual gargalo deste processo.

Seguindo então a lógica proposta por Goldratt (1984), deve-se explorar a etapa de reação propondo mudanças que diminuam o seu tempo de ciclo e permitam que um outro gargalo venha à tona.

Como já mencionado, a etapa de reação ocorre inicia-se com a dosagem do ácido sobre o hidróxido de cálcio, seguida por um período de mistura dos reagentes e finalmente pela descarga do fosfato produzido.

Analisando o tempo total deste ciclo, percebe-se que a cronoanálise demonstrou um período de reação maior do que o esperado, com base nos dados do projeto da planta.

A etapa de dosagem de ácido tem duração aproximadamente 15% maior do que o esperado. Os operadores da planta relataram que sedimento presente no ácido fosfórico adere as paredes das linhas de ácido reduzindo a vazão da matéria prima para dentro do reator.

Uma opção interessante seria criar uma rotina de inspeção e limpeza das linhas, com execução planejada e alinhada ao plano de produção, de forma a minimizar o acúmulo de sedimento nas tubulações e reduzir o tempo de dosagem ao seu patamar esperado. Uma proposta um pouco mais complexa, porém de igual ou maior eficácia, seria agir junto ao fornecedor do ácido para a redução dos teores de sedimento, neste caso envolvendo o departamento de compras da empresa e o time do Controle de Qualidade da fábrica. Vide Figura 4.

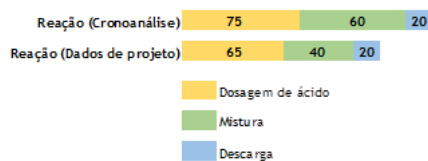


FIGURA 4: Tempo das subetapas em segundos. Fonte: Os autores (2020).

A segunda parte da etapa de reação consiste na mistura dos reagentes que deveria ocorrer por 40 segundos. A duração desta etapa está diretamente vinculada com os teores de fósforo, água e impurezas no ácido fosfórico utilizado. De maneira geral, ácidos menos concentrados demandam mais tempo para que a reação seja completa e o vapor de água, produzido na reação, seja expelido pelo sistema de exaustão.

De maneira recorrente o tempo de reação tem durado 60 segundos, 50% a mais do que o esperado. Agir direto no fornecedor da matéria prima, mais uma vez, seria uma opção muito interessante, no entanto, um estudo precisa ser realizado pelo departamento de controle de qualidade da empresa, para refinar as tolerâncias para a especificação de recebimento do ácido, uma vez que pequenas variações na especificação da matéria prima demonstraram grande impacto na produção.

Outra alternativa, seria instalar uma estação de triagem e tratamento do ácido antes de utilizá-lo no processo. Para isso, mais uma vez o departamento de engenharia deve ser

envolvido para avaliar se o capital necessário para este investimento seria interessante do ponto de vista de viabilidade econômica.

A terceira parte da etapa de reação, diz respeito a descarga do fosfato produzido no sistema de transporte helicoidal subjacente. A duração desta etapa esta de acordo com o esperado, porém existe também desperdício vinculado à espera.

Apenas 5 segundos são necessários para que todo o fosfato deixe o reator e entre no sistema de transporte, uma vez que a comporta do reator é aberta. Porém, o acionamento da comporta exige 15 segundos para abertura e fechamento total elevando o tempo desta sub etapa para 20 segundos. A troca do mecanismo de abertura e fechamento por um sistema de ação mais rápida também auxiliaria a redução do tempo de ciclo da etapa de reação. Sistemas de abertura e fechamento mais modernos poderiam reduzir este tempo em cerca de 50%.

Percebe-se então que existe um potencial de redução do tempo de ciclo da restrição deste processo da ordem de 26%, se adotadas medidas nas três fases da etapa de reação. Se recuperado todo este tempo perdido, a etapa de reação teria o seu tempo de ciclo reduzido à 14,4 segundos e não mais seria o gargalo deste processo. Pode-se então afirmar que a nova capacidade produtiva da planta estaria limitada pela nova restrição, que pode ser facilmente identificada pela Tabela 2. Neste caso o tempo de ciclo da etapa de peneiramento limitaria a capacidade da planta à 41,9 toneladas por hora.

5. CONCLUSÃO

Dettmer (2001) afirma que tanto a teoria das restrições quanto o *lean manufacturing* possuem o objetivo comum de aumentar lucros, ambas tem o fator qualidade como essencial e preconizam a produção em lotes menores, visando o fluxo contínuo e aumento de capacidade.

No referido estudo, aplicou-se a teoria das restrições para identificar o gargalo, afim de “atacá-lo” em busca de aumentar os lucros.

Através do uso do *lean manufacturing*, que visa minimizar as perdas afim de também aumentar os lucros, duas perdas foram identificadas no processo gargalo de reação. Perda por espera, devido ao desbalanceamento entre as etapas do processo e perda por reprocessamento.

Como a possibilidade de se atuar no reprocessamento dependia da alteração das malhas das peneiras e, como não havia estudo prévio demonstrando que esta mudança não afetaria a qualidade do produto e os ganhos talvez não fossem expressivos, aplicou-se ambas abordagens para enfim definir que deve-se atuar nas perdas por espera no processo de reação.

Foram então propostas à empresa mudanças no processo que poderiam diminuir os tempos nas três subetapas da reação, resultando num tempo de ciclo final 26% menor que o atual.

Conclui-se que a teoria das restrições tem como vantagem a identificação do gargalo, apresentando onde se deve priorizar os esforços para a melhoria do processo, como identificou os gargalos de ensaque e reação no processo do referido estudo. A teoria das restrições subjuga a produção ao gargalo e busca melhorá-lo. Porém, sua desvantagem é que foca na restrição sem, num primeiro momento, atuar nas perdas e melhorias das demais etapas do processo. Estes demais processos que a princípio são deixados de lado, podem apresentar oportunidades que forneçam resultados rápidos com retorno financeiro e menor esforço.

Já o *lean manufacturing* possui como vantagem o apontamento das perdas no processo direcionando o olhar para as possibilidades de perdas, como no referido estudo, direcionou as perdas por espera e reprocesso. No entanto, o mapeamento dos sete desperdícios do processo não induz, durante sua aplicação, em qual ponto do sistema deve-se aplicar os primeiros esforços priorizando um ponto de desperdício em relação aos demais.

Por fim, evidencia-se que tanto a teoria das restrições quanto o *lean manufacturing* possuem elementos complementares e concordantes que, quando usados conjuntamente, podem evidenciar oportunidades e auxiliar na otimização de recursos para obter ganhos de *performance* maiores do que os possivelmente alcançados com suas aplicações isoladas.

Referências

- ANTUNES, Junico. Sistemas de Produção: Conceitos e práticas para o projeto e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Editora Bookman, 2008.
- DETTMER, W. (2001) Beyond Lean Manufacturing: Combining Lean and the Theory of Constraints for Higher Performance. Goal System International. Port Angeles, WA, USA.
- GOLDRATT, E. M., & Cox, J. F. A Meta. São Paulo: Nobel, 1984.
- INMAN, R. A., SALE, M. L., & GREEN JUNIOR, K. W. Analysis of the relationships among TOC use, TOC outcomes, and organizational performance. International Journal of Operations e Production Management, Vol. 29 No. 4, pp. 341-356, 2009.
- OHNO, T. O sistema Toyota de produção – Além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- ROMEIRO FILHO, E. et all. Projeto do Produto. Rio de Janeiro, Elsevier, 2010.
- SHINGO, Shingeo. O Sistema Toyota de produção do ponto de vista da Engenharia de Produção. 2ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- WANKE, Peter. Gestão de estoques na cadeia de suprimentos: decisões e modelos quantitativos. São Paulo: Atlas, 2003.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. A Máquina que mudou o mundo. Rio de Janeiro: Campus, 1992.
- YIN, R.K. Case study research: design and methods. Thousand Oaks, CA: Sage (2003).

