

Alocação de insumos na área de armazenagem com regras de sequenciamento: estudo de caso em uma distribuidora de bobinas de aço

Allocation of inputs in the storage area with sequencing rules: case study in a steel coil distributor

Cristiano Rubio de Oliveira Pinto¹

Henrique Ferreira Barros²

Adriano Maniçoba da Silva³

Eugenio De Felice Zampini⁴

Resumo

A área de produção e operações tem sido cada vez mais demandada por melhores resultados, os quais podem ser obtidos pela otimização de seus processos, sendo, para isto, necessário que haja sinergia com as demais áreas da organização. Nessa perspectiva, diversas atividades que a princípio são objetos de poucas pesquisas, entre elas a alocação de insumos na área de armazenagem, tornam-se importantes para esse fim. Desta forma, o objetivo desse estudo foi analisar o efeito da utilização de regras de sequenciamento na alocação de insumos na área de armazenagem visando o aumento da produtividade, uma vez que a melhor distribuição dos insumos no espaço destinado à estocagem pode reduzir os tempos ociosos das máquinas produtivas. Para tanto, foi analisado o processo de uma distribuidora de bobinas de aço e verificada a melhoria do resultado da utilização das máquinas decorrente de regras de sequenciamento implementadas na armazenagem dos insumos.

Palavras-chave: Regras de sequenciamento. Alocação de insumos. Estoques. Melhoria de produtividade. Bobinas de aço.

Abstract

The area of production and operation has been increasingly demanded for better results, which can be achieved by optimization of its processes and by the synergy with other areas of the organization. In this regard, various activities, that primarily are the subject of little research, such as the allocation of inputs in the storage area, become important. Thus, the aim of this study was to analyze the effect of using sequencing rules in the allocation of inputs in the storage shop, under the justification of increasing the volume of production. Therefore, it was analyzed the process of steel coils dealer and verified the improvement by the use of sequencing rules in the allocation of inputs. The technique used for this was the process simulation applied to sequencing rules.

Keywords: Sequencing rules. Allocation of inputs. Productivity improvement. Steel coils.

1 Instituto Federal de São Paulo – Campus Suzano
cristianorop@gmail.com

2 Instituto Federal de São Paulo – Campus Suzano
henrique.barros@prada.com.br

3 Instituto Federal de São Paulo – Campus Suzano
adrianoms@ifsp.edu.br

4 Instituto Federal de São Paulo – Campus Suzano
eugenio.zampini@ifsp.edu.br



1 Introdução

As empresas industriais têm enfrentado um ambiente complexo e de competição acirrada, haja vista a globalização da economia e a aceleração nos desenvolvimentos tecnológicos, sendo que nesse cenário as suas operações internas e seus processos devem estar cada vez mais alinhados entre si, com o objetivo de aumentar a produtividade e consequentemente a capacidade produtiva da organização.

Quando se trata do mercado de aços planos, onde é observado um processo de consolidação das grandes siderúrgicas nos últimos anos e consequente elevação do nível de competitividade entre as empresas desse segmento, integrar e equilibrar os processos operacionais, de forma estruturada, pode ser o diferencial que suporta a vantagem competitiva da empresa.

Silva, Tubino e Seibel, (2015) apontam o sequenciamento da produção como uma das oportunidades de pesquisa na área de linhas de montagem. Nessa perspectiva, diversas atividades que a princípio são objetos de poucas pesquisas, entre elas a alocação de insumos na área de armazenagem, tornam-se importantes para esse fim. Desta forma, o objetivo desse estudo foi analisar o efeito da utilização de regras de sequenciamento na alocação de insumos na área de armazenagem visando o aumento da produtividade.

O foco desse estudo foi abordar o aumento da produtividade através de uma melhor alocação dos insumos, no caso bobinas de aço processadas em um distribuidor de aços planos, no estoque, em função do sequenciamento de utilização dos mesmos pelos equipamentos produtivos, aumentando o aproveitamento dessas máquinas, ou seja, reduzindo os tempos improdutos.

A aplicação de métodos de simulação no sequenciamento das máquinas de corte de bobinas de aço fornece parâmetros para o desenvolvimen-

to de uma melhor alocação de bobinas de aço no estoque. Esse enfoque, condizente com o pensamento de uma produção enxuta conforme se encontra em Gu, Goetschalckx e McGinnis (2007), maximiza o tempo em que os equipamentos de corte estão efetivamente produzindo e consequentemente aumenta a produtividade dos mesmos. Esse estudo e aplicação da metodologia foram realizados em uma empresa de grande porte no ramo de distribuição de aços planos. A empresa atua na distribuição de bobinas e chapas de aços planos e faz parte de um grupo que possui uma das 5 maiores siderúrgicas integradas do mundo. Essa distribuidora tem uma produção mensal de 50.000t de aços planos em seus diversos SKUs (Stock Keeping Units) e conta com 400 funcionários alocados em 11 unidades no Brasil.

O estudo teve início com a observação da oportunidade de melhoria da produtividade da operação da empresa, através da sistematização dos processos de armazenagem com foco nas operações de recebimento e alocação da matéria-prima, frente as possibilidades apresentadas pela implementação de regras de sequenciamento, buscando assim um processo mais adequado de trabalho que resultasse em aumento do aproveitamento dos recursos existentes – pessoas, máquinas e materiais – com particular atenção aos equipamentos produtivos, máquinas de corte de bobinas. A partir de então, o excesso de movimentação das bobinas em estoque foi entendido como sendo um desperdício na ótica da manufatura enxuta (Campisi, 2013), ou seja, um problema nas operações logísticas da empresa, com o agravante de ampliar os erros de endereçamento, causando desorganização do estoque e ineficiência nas atividades, gerando atrasos na segregação e envio das matérias-primas a serem processadas pelos equipamentos de corte. A falta de padronização no recebimento das matérias-primas e o descarregamento sem definição de local adequado em função do fluxo do proces-

so produtivo foram identificados como sendo os pontos críticos para condução deste estudo, onde a aplicação de métodos de sequenciamento através de simulação apontou possibilidades de melhoria nesse processo.

A medição inicial foi realizada ao longo de duas semanas, durante doze dias úteis com período de doze horas diárias, compreendendo 2/3 da jornada diária. Foram coletados dados relativos a trezentas e três bobinas de aço processadas, sendo constatado que 16% dos processos de armazenagem e movimentação dessas bobinas resultaram em paradas de máquinas indesejadas, devido a falhas no processo de separação em estoque e envio para equipamento de corte. Com base no acompanhamento realizado, pode-se constatar a relação direta entre a ineficiência dos aproveitamentos das máquinas de corte e os processos de separação, alocação e movimentação das bobinas no estoque, ou seja: a precariedade, ou melhor, a inexistência das informações de sequenciamento recebidas para gestão dos estoques leva a parada dos equipamentos, que ficam aguardando o posicionamento das matérias-primas nos dispositivos de entrada para início do processamento.

2 Referencial teórico

O referencial teórico foi desenvolvido a partir do objetivo do estudo. A próxima seção trata da armazenagem e a seguir, é abordado o sequenciamento da produção. Por fim, a seção 2.3 aborda os conceitos importantes referentes à simulação.

2.1 Armazenagem

Sobre o espaço físico para o armazenamento das matérias-primas, é importante observar a previsão de demanda, pois, quando essa é conhecida pela empresa, torna-se possível otimizar a ocupação de toda a área disponível com os produtos

certos para os clientes certos, visando melhorar os processos subsequentes. Pozo (2016) destaca que muitas empresas justificam o fato de espaços físicos para armazenagem relativamente grandes com os argumentos de que são fortes facilitadores de reduções de custos de transportes, devido ao maior aproveitamento dos veículos e que grandes estoques auxiliam em todo processo de marketing e atendimento aos clientes, além de facilitarem os processos de compras da área de suprimento.

Dias (2015), por sua vez, afirma que a armazenagem é constituída por um conjunto de funções empregadas em tarefas tais como: carregamento, descarga, recepção, arrumação e conservação de matérias-primas, de produtos acabados ou semiacabados. Esse processo, que envolve mercadorias, apenas produz resultado quando é realizada uma operação com o objetivo de acrescentar valor ao produto.

Para Tadeu (2008), um dos setores mais importantes na gestão fabril é a área de armazenagem, onde os estoques estão em guarda momentânea. A atividade da armazenagem está relacionada, em um primeiro momento, com a guarda de recursos materiais. É importante destacar que as áreas de recebimento e expedição estão relacionadas à conferência e alocação de mercadorias. Além disso, o manuseio de materiais é uma atividade extremamente importante, levando em consideração que os produtos devem ser recebidos, movimentados, estocados, classificados e montados, a fim de atender às exigências dos clientes. A administração operacional da logística se baseia no movimento e na estocagem de materiais e produtos, conforme apresentado por Bowersox, Closs, Cooper e Bowersox (2013).

A armazenagem, quando efetuada de maneira correta, pode trazer muitos benefícios, os quais impactam diretamente na produtividade. Porém, muitas empresas, nos dias atuais, estão diminuindo as necessidades de estoque e conseqüentemente

de armazenagem, beneficiando-se da ferramenta do Just-In-Time, conforme sugerido por Vokurka e Lummus (2000).

2.2 Sequenciamento da produção

Conforme Pinedo (2012), o sequenciamento da produção ou “scheduling” trata da alocação de recursos escassos para atividades onde o tempo tem um papel preponderante, sendo esse um processo de tomada de decisão com a finalidade de otimizar um ou mais objetivos.

Para Watanabe, Ida e Gen (2005), uma das principais dificuldades enfrentadas pelas empresas, quando se trata de produtividade, é o sequenciamento ou agendamento mais adequado, ou seja, a melhor forma de atender várias necessidades simultaneamente.

Krajewski, Ritzman & Malhotra (2013) destacam quatro principais métodos de sequenciamento da produção: “First Come First Served”, quando a prioridade é atribuída pela ordem de entrada dos pedidos; “Shortest Processing Time”, sendo que a prioridade ocorre em função do menor tempo de processamento do pedido; “Earliest Due Date”, onde as ordens de produção são ordenadas em função da proximidade do prazo final comprometido com a entrega do pedido; e “Least Changeover Cost”, que minimiza os custos de preparação e ajuste, “set up”, das máquinas.

2.3 Simulação

A simulação foi utilizada neste trabalho como ferramenta para identificar qual modelo seria mais adequado para sequenciamento da produção, pois, na busca de maior eficiência é necessário que a entrada da matéria prima

esteja alinhada com o processamento e liberação ao cliente final.

Chwif e Medina (2014) reforçam que através da simulação é possível prever, com elevado nível de confiabilidade, os comportamentos produtivos, desde que os dados tenham certa exatidão e os parâmetros de aplicação sejam respeitados.

Segundo Silva, Costa, Silva e Pereira (2012), uma das principais vantagens da técnica é poder lidar com problemas maiores e integrá-los às diversas restrições do sistema, as quais podem ser incorporadas ao modelo de simulação. A simulação é uma importante ferramenta para solucionar problemas encontrados nos sistemas de produção das empresas, pois, há cada vez mais a necessidade de atender diversas necessidades simultaneamente.

Dentre os principais tipos de simulação, pode-se destacar a simulação discreta (Lúcio, Costa, Silva, & Paula, 2017), que objetiva acompanhar a variabilidade que entidades sofrem ao longo do tempo, e a simulação Monte Carlo (Costa, Silva, Santos, Maniçoba & de Paula Ferreira, 2016), cuja finalidade é analisar a variabilidade de um determinado fenômeno a partir de diversos cenários.

Para este estudo, adotou-se o processo de simulação Monte Carlo baseado nos passos indicados na Figura 1 (Harrell, Ghosh, & Bowden, 2011, p. 10):

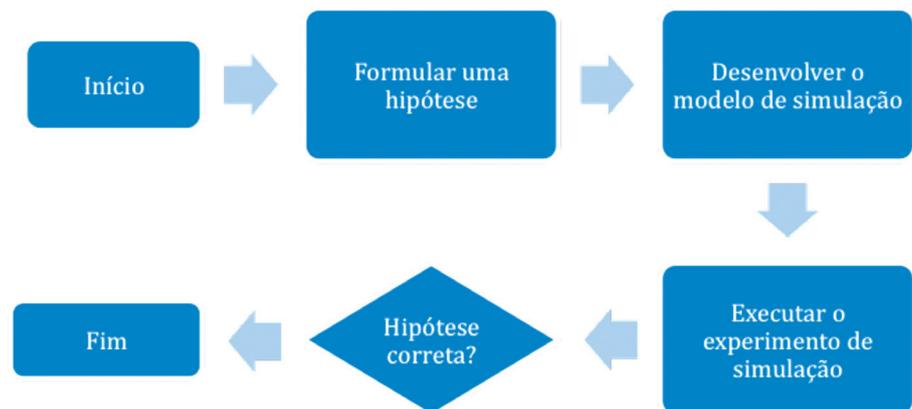


Figura 1: O processo de simulação

Fonte: Adaptado de Harrell, Ghosh e Bowden (2011, p. 10).

3 Metodologia

Com o objetivo de se examinar o benefício da utilização de regras de sequenciamento para a alocação de insumos em estoques na produtividade dos equipamentos operacionais que se abastecem de tais itens, foi realizado esse estudo de caso, no qual foi analisado o processo de recebimento de matérias-primas, vindas de um armazém externo localizado em Manoel Feio, por uma empresa de distribuição de aços planos, localizada na cidade de Mogi das Cruzes, ambas no estado de São Paulo.

O levantamento dos dados das quantidades de movimentações das bobinas do ponto armazenado ao equipamento de corte, bem como os tempos em que cada equipamento de corte ficou ocioso devido à demora no abastecimento, foi realizado através de tabelas com registros efetuados pelos próprios operadores das atividades referentes aos processos estudados.

Para se medir o tempo de movimentação das bobinas de aço, da área de armazenagem até o ponto de consumo na produção, utilizou-se um apontamento manual através de uma tabela, onde um observador, que não participava dos processos de produção ou de abastecimento, anotava o número da ordem de produção, os tempos inicial e final da movimentação de cada bobina de aço por ponte rolante em que essa fosse transportada, ou seja, caso fosse necessária à movimentação que uma mesma bobina ao longo de toda a extensão da área de armazenagem, essa bobina seria movimentada por todas as quatro pontes rolantes existentes no galpão de estocagem e nesse caso seria anotado o tempo inicial e final de movimentação em cada uma delas, incluindo os tempos de espera entre um transporte e outro, sendo a soma desses valores o tempo total daquela movimentação. Se a bobina percorresse a extensão entre a armazenagem e o

ponto de consumo utilizando apenas uma ponte, o tempo correspondente a essa única movimentação comporia o tempo total da movimentação. O tempo entre o desacoplamento da bobina de uma ponte rolante até o acoplamento na ponte rolante seguinte foi apontado como tempo da segunda etapa.

Esse levantamento foi realizado ao longo de duas semanas, durante os seus dez dias úteis e no período de oito horas diurnas, compreendendo 2/3 da jornada diária, com a coleta de dados de movimentações de trezentos e três bobinas escolhidas de modo aleatório e distribuídas de forma mais homogênea possível ao longo das oito horas diárias. Observa-se que, independente do turno em que os dados foram coletados, manhã, tarde ou noite, a tendência dos resultados seria a mesma, pois questões ambientais como clima, luz natural e outros não influenciam significativamente a variável medida. Esses dados, tabulados em planilhas, compuseram a base de dados de tempos e movimentos do processo de abastecimento da produção. Essas informações formaram a base de dados para a análise estatística do processo, realizada por meio de ferramentas e técnicas que serão apresentadas na seção seguinte.

Concomitantemente, foram aplicadas simulações de métodos de sequenciamento para identificar o modelo mais adequado ao negócio. As simulações modelaram, nesse ambiente, uma máquina de corte de bobinas a partir de uma lista de 125 pedidos em produção com as seguintes condições estabelecidas:

- a) A disponibilidade total da máquina durante o período simulado, não sendo prevista nenhuma parada para intervenção de manutenção corretiva;
- b) A máquina estaria, a todo o momento, abastecida com a matéria-prima, desconsideran-

do previsões para paradas por falta de alimentação da máquina;

- c) O funcionamento da máquina de 24 horas diárias durante 7 dias por semana, assim como acontece na jornada corrente da empresa.

A simulação foi realizada por meio de planilha eletrônica onde foram dispostos os pedidos já processados e entregues pela empresa. Para considerar o pedido simulado como atendido dentro do prazo, esse deveria ter sua data simulada de conclusão anterior à data real em que foi entregue. Para que um pedido possa ser entregue em um determinado dia a sua produção deveria ocorrer até às 10 horas da manhã desse dia, de modo que o pedido pudesse ser entregue até às 17 horas no cliente.

Foram realizadas simulações com quatro métodos de sequenciamento sendo eles:

- a) LCFS (First Come First Served): nesse método a prioridade é dada pela data de recebimento do pedido, ou seja, o pedido recebido primeiro será o primeiro a ser produzido;
- b) SPT (Shortest Processing Time): a prioridade é dada pelo menor tempo de processamento total. É classificada em ordem crescente de tempo. Sua utilização visa reduzir o tamanho das filas e o aumento do fluxo;
- c) EDD (Earliest Due Date): a prioridade se inicia pelas ordens com prazo de entrega mais próxima do vencimento. Com isso, procura-se reduzir atrasos;

- d) LCC (Least Changeover Cost): as ordens de produção são priorizadas de modo a minimizar os custos com o *set-up*, ou seja, com o ajuste de máquina.

Para a realização dessas simulações Monte Carlo, os dados coletados foram tabulados em planilha eletrônica onde foram simulados diversos cenários das diferentes metodologias de sequenciamento. A partir dessas simulações, obtiveram-se os resultados apresentados a seguir.

4 Resultados

4.1 Alocação do estoque

O ponto de partida da pesquisa foi a observação do processo físico de recebimento e estocagem das matérias-primas, tanto em relação à movimentação realizada como à maneira que este processo era efetuado por seus responsáveis, no setor de estoque da empresa. No Gráfico 1 pode-se observar dados referentes às movimentações efetuadas no estoque, considerando estas movimentações o estado inicial da empresa.

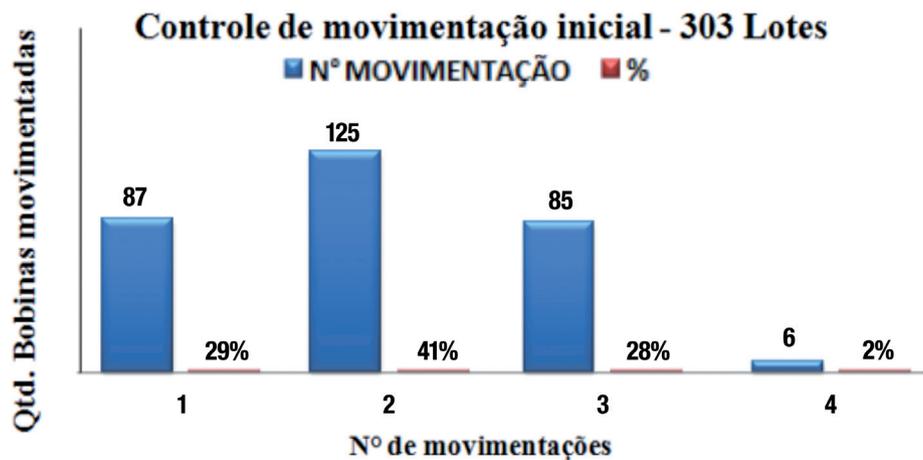


Gráfico 1: Número de movimentações de cada lote de matérias-primas
Fonte: Os autores

Com base nesses dados, foi identificado que 71% das unidades eram movimentadas de duas a

quatro vezes até chegarem ao ponto de consumo. Essas movimentações eram realizadas por meio de quatro pontes rolantes posicionadas sequencialmente ao longo da área de recebimento de matérias-primas, localizada paralelamente ao ramal ferroviário por onde é realizado o transporte dessas matérias-primas do armazém externo de Manoel Feio até a empresa objeto de estudo.

Nas Figuras 2 e 3, é possível observar a disposição das máquinas na produção e a área de recebimento e armazenagem ao longo do prédio.

No início do estudo, observou-se que as matérias-primas recebidas via transporte ferroviário eram descarregadas e armazenadas aleatoriamente, conforme retiradas dos vagões do trem de carga, não havendo nessa operação qualquer análise sobre o destino das mesmas. Então, as bobinas de aço ficavam posicionadas de forma arbitrária sem correlação alguma com a posição para a qual eram posteriormente transportadas para dar início ao processo produtivo. Na Figura 4, é apresentado o



Figura 3: Vista das áreas de recebimento e armazenagem

Fonte: Os Autores.

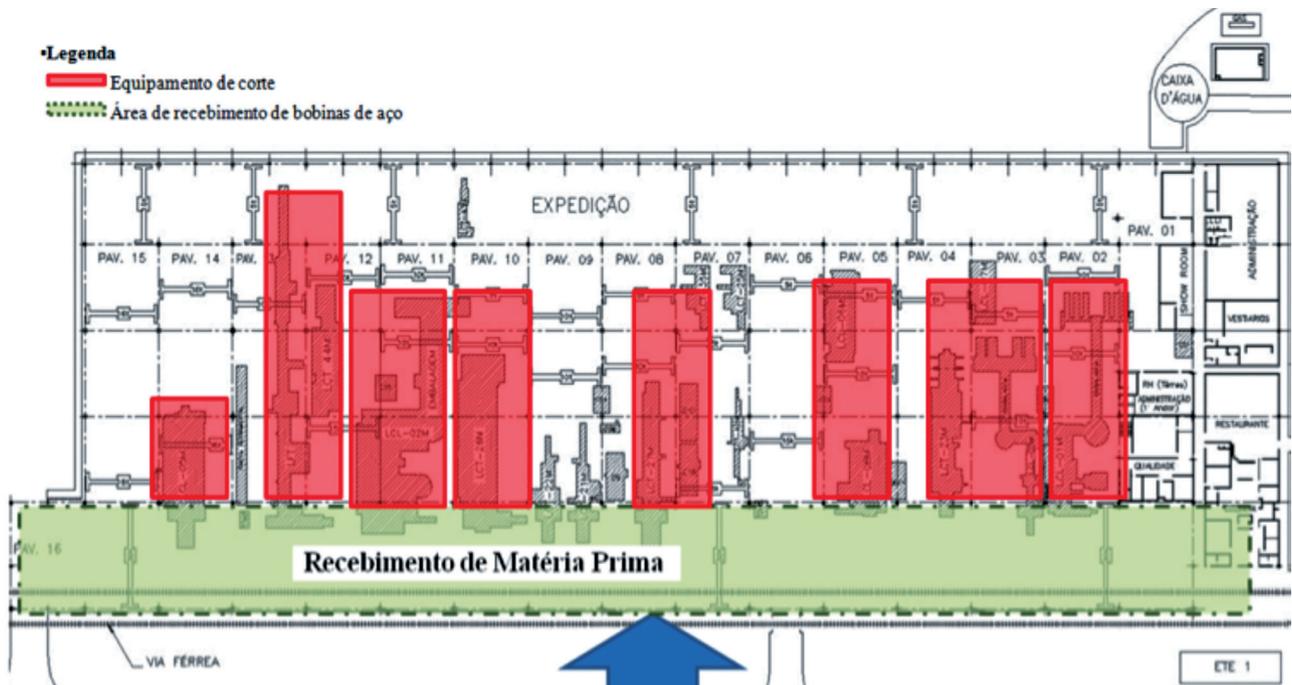


Figura 2: Layout da produção e área de recebimento e armazenagem

Fonte: Os Autores.

fluxo da solicitação das matérias-primas até o seu descarregamento.

Essas movimentações de descarga adicionadas às outras, necessárias para posicionarem as bobinas nas máquinas para início de processamento, compõem o tempo de abastecimento de cada uma das dez máquinas, onde o material é processado, e impactam diretamente no “setup”, ou tempo de preparação, uma vez que ocorre uma espera improdutiva pela chegada das matérias-primas para início de ajuste do equipamento. Então, o posicionamento distante dos pontos de utilização das bobinas e os excessos de movimentações aumentam o risco de paradas de máquinas por desabastecimento. Para mitigar esse risco, o processo de movimentação era muito intenso, com movimentações incessantes das pontes rolantes, que por sua vez geravam outros riscos como

avarias nos materiais, abastecimento incorreto e maior desgaste dos equipamentos de movimentação, com consequente aumento da manutenção dos mesmos.

Frente a essa situação, definiu-se um grupo de trabalho para identificar as oportunidades e trazer melhorias ao processo de recebimento, armazenagem e abastecimento da produção. A ferramenta básica para o desenvolvimento dos trabalhos do grupo foi o ciclo PDCA (Plan, Do, Check and Act) com suas etapas de planejamento, execução, conferência e correção. Os planos de ação, definidos após as rodadas de planejamento, foram estabelecidos no formato 5W2H (What, Why, When, Where, Who, How and How Much), com a premissa de que não havendo informações sobre custos para implementação das ações, o segundo H do modelo, que se refere aos custos, não seria

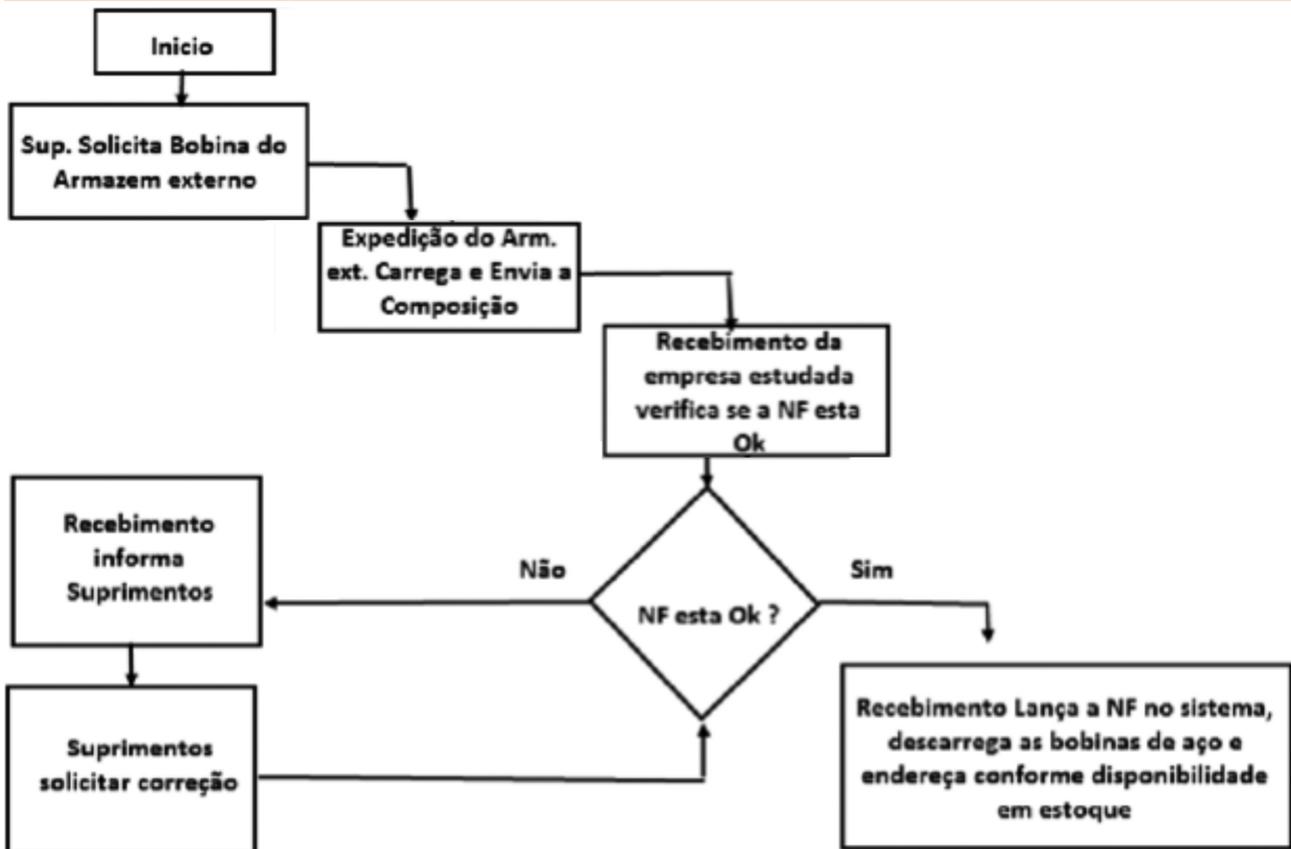


Figura 4: Recebimento de bobina de aço do armazém externo.

Fonte: Os Autores.

utilizado. Na Figura 5 e na Tabela 1 são apresentados os resultados do PDCA e 5W2H.

Após o trabalho de análise, foi definida a reorganização do layout de armazenagem de modo que as matérias-primas fossem estocadas e agru-

padadas em função da posição da máquina que as utilizaria. Esse local de estoque de cada grupo de matérias-primas situa-se o mais próximo do seu destino, de modo que, com apenas uma movimentação, por meio de uma ponte rolante, ela

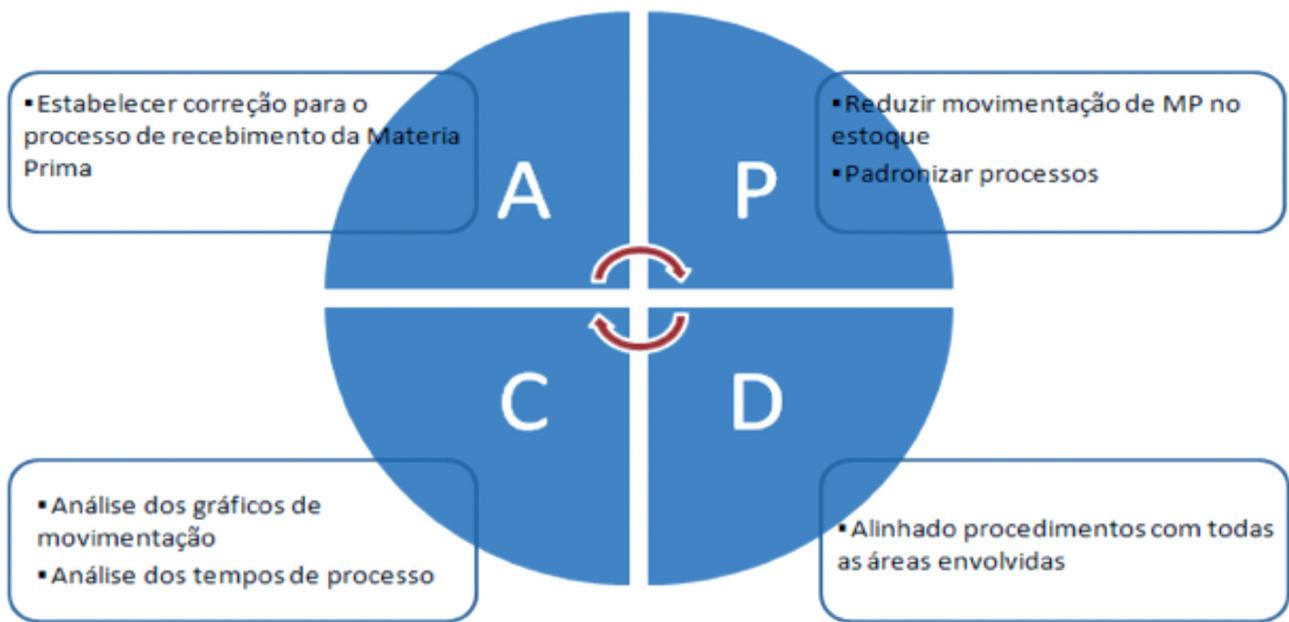


Figura 5: PDCA – Processo de recebimento e Movimentação de estoque

Fonte: Os Autores.

Contramedidas	Responsável	Prazo	Local	Justificativa	Procedimento
1. Criar um controle para retorno de material do depósito de Manoel Feio	Leonardo	Diário até às 17h	Rede (I)	Para ter um controle único e comum entre as áreas envolvidas (PDM, PCP e Produção) que auxilie no alcance da meta	Preencher planilha com bte, material, combo, processo, solicitante, cliente, data de solicitação, status, NF e modal
2. Preencher na planilha de controle as máquinas onde os materiais serão processados	José Francisco	Diário até às 17h30min	Rede (I)	Para informar a máquina os materiais serão processados facilitando a identificação de onde os materiais devem ser armazenados	Preencher a máquina de corte.
3. Identificar na planilha o bte e a utilização	Robson	Diário	Rede (I)	Para direcionar os veículos para descarga nos locais mais próximos onde os materiais serão utilizados	Verificar na planilha onde o material será processado e direcionar os veículos para descarga
4. Controlar número de movimentações do bte	Robson	Diário	Estoque de MP	Para controlar o número médio de movimentações de um bte do estoque até o equipamento de corte	Preencher na planilha de Planejamento de Produção quantas movimentações foram feitas no bte do estoque até o equipamento onde será cotado
5. Padronizar processos	Fran	22/6	Procedimentos	Para estabelecer procedimento padrão nos processos visando redução de tempo nos mesmos	Estabelecer procedimentos padrões para carga de MP e entrada física e fiscal do material
6. Reduzir tempo de entrada do material no estoque	Leonardo	Diário	Rede (I)	Para melhorar a assertividade e o atendimento ao cliente	Controlando o número de solicitações para que a "fila" não ultrapasse os 3 dias (materiais a serem retirados x recebimento de caminhões/dia), se o número de solicitações for maior que a capacidade de recebimento em 3 dias, o número de caminhões recebidos por dia deve ser aumentado

Tabela 1: 5W1H – Processo de recebimento e Movimentação de estoque

Fonte: Os Autores.

possa ser disponibilizada no seu ponto de consumo. Porém, para isso era necessário que o carregamento do armazém externo de Manoel Feio seja realizado na ordem determinada pela equipe de programação da logística, obedecendo à sequência que corresponde à localização da máquina, ao longo do galpão, onde as bobinas de aço são processadas.

A programação foi encaminhada para expedição do armazém externo através de planilha que determina a sequência de carregamento, cuja metodologia de cálculo é apresentada na próxima seção (4.2) deste estudo, de modo que a descarga aconteça da maneira planejada.

Com o carregamento efetuado seguindo o sequenciamento da planilha de programação, conforme Figura 6, foi possível o descarregamento e armazenagem das bobinas de aço de maneira agrupada e próximo ao ponto de consumo, reduzindo assim a quantidade de movimentação do material, conforme estabelecido no plano de ação do grupo de trabalho. Para isso, definiu-se o layout delimitando

a área de armazenagem que cada lote de material deve ocupar de acordo com o equipamento no qual o material deve ser processado.

Após a implementação das ações de alteração do layout, do modelo de programação e do processo de recebimento e armazenagem, foi realizado um acompanhamento para verificar se a quantidade de movimentação dos lotes de bobinas de aço havia diminuído, sendo que os resultados estão apresentados no Gráfico 2.

Pode-se verificar, então, que houve uma acentuada redução no número de movimentações, onde a porcentagem de bobinas, que sofrem apenas uma movimentação, aumentou de 29% para 72%. Ao mesmo tempo, as situações em que ocorrem duas movimentações tiveram uma redução de 61% e as de três movimentações, uma redução de 57%. As situações que exigiam quatro movimentações, ocasiões em que todas as pontes rolantes existentes eram acionadas e que configuravam a pior condição em relação à quantidade de movimentos, foram eliminadas.

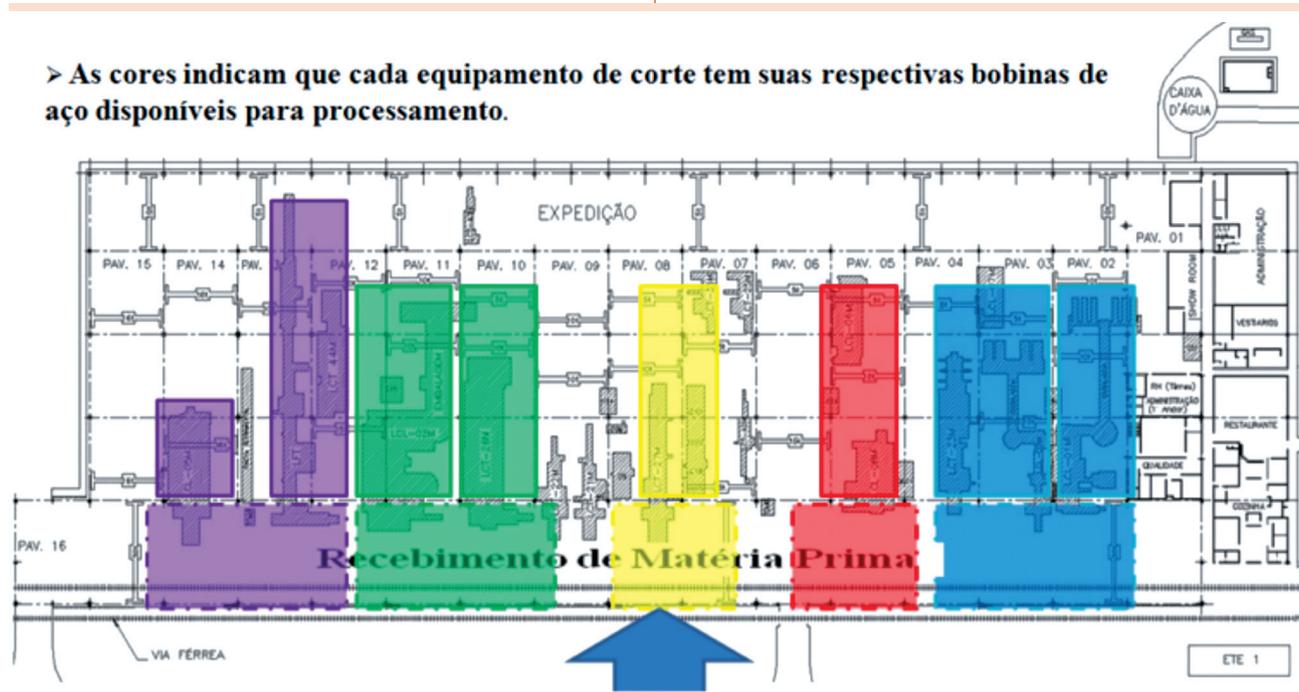


Figura 6: Layout utilizado depois da execução do plano de Ação.
Fonte: Os Autores.

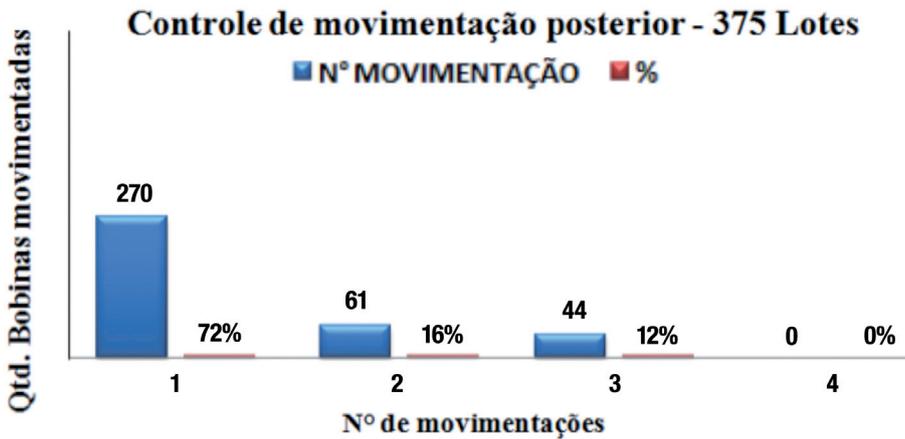


Gráfico 2: Quantidade de movimentações do lote de matéria-prima até seu ponto de consumo
 Fonte: Os Autores.

4.2 Método de sequenciamento

A agenda de ordens de produção analisada e estudada tinha as seguintes características:

- 125 ordens de produção;
- Pedidos de 31 clientes diferentes;
- Necessidade de processamento de 480.575 kg de material;
- Necessidade de 961,15 horas de disponibilidade de máquina, mão de obra e demais recursos.

O método de sequenciamento utilizado como padrão pela empresa estudada era o EDD. Desta forma, o agendamento das ordens de produção ocorre priorizando as ordens cujos prazos de entrega estejam mais próximos do vencimento e com isso minimiza-se os atrasos de entrega aos clientes. Na amostra da simulação, 10 das 125 ordens ficam prontas com atraso, sendo que isso representa uma proporção de 8%. Esse método é o que apresenta menor número de atrasos, conforme se pode verificar na Tabela 2, na comparação com os demais utilizados no estudo.

Para avaliar opções de eficiência no processo produtivo, foram aplicadas as simulações dos métodos de sequenciamento de produção

FCFS, SPT, EDD e LCC. A escolha desses métodos ocorreu pela facilidade de aplicá-los no processo atual de programação, sem a necessidade de grandes adequações e, também, por serem métodos que abrangem indicadores de desempenho como atraso, tempo de processamento e custo.

Na avaliação do desempenho de cada método de sequenciamento, foram utilizados os indicadores:

- Average flow time (média do tempo de fluxo da tarefa), com o cálculo da seguinte fórmula: $[soma\ do\ flow\ time / n^\circ\ de\ ordens]$;
- Average number of job in system (média do n° de ordens de produção no sistema), com o cálculo da seguinte fórmula: $[soma\ do\ flow\ time / soma\ do\ processing\ time]$;
- Average job lateness (média do tempo de atraso por ordem de produção), com o cálculo da seguinte fórmula: $[soma\ do\ lateness / n^\circ\ de\ ordens]$.

Para o método FCFS, foi executada a seguinte simulação:

- Número de ordens de produção: 125;

Método	Pedidos atendidos no prazo	Pedidos atendidos com atraso	Proporção de atraso
FCFS	92,00	33,00	26%
SPT	98,00	27,00	22%
EDD	115,00	10,00	8%
LCC	89,00	36,00	29%

Tabela 2: Comparação de atraso entre métodos de sequenciamento de produção.
 Fonte: Os Autores.



- Quantidade total de produção: 480.575 Kg;
 - Processing time: 961,15 horas;
 - Flow time: 60.617,47 horas;
 - Lateness: 9.528,00 horas;
- Foram obtidos os seguintes resultados:
Average flow time = = 484,94 horas por ordem;
Average number of job in system = = 63,07;
Average job lateness = = 76,22 horas por ordem.

Para o método **SPT** foi executada a seguinte simulação

- Número de ordens de produção: 125;
 - Quantidade total de produção: 480.575 Kg;
 - Processing time: 961,15 horas;
 - Flow time: 33.190,31 horas;
 - Lateness: 7.872,00 horas;
- Foram obtidos os seguintes resultados:
Average flow time = = 265,52 horas por ordem;
Average number of job in system = = 34,53;
Average job lateness = = 62,98 horas por ordem.

Para o método **EDD** foi executada a seguinte simulação:

- Número de ordens de produção: 125;
 - Quantidade total de produção: 480.575 Kg;
 - Processing time: 961,15 horas;
 - Flow time: 65.754,49 horas;
 - Lateness: 696,00 horas;
- Foram obtidos os seguintes resultados:
Average flow time = = 526,04 horas por ordem;
Average number of job in system = = 68,41;
Average job lateness = = 5,57 horas por ordem.

Para o método **LCC** foi executada a seguinte simulação:

- Número de ordens de produção: 125;
 - Quantidade total de produção: 480.575 Kg;
 - Processing time: 961,15 horas;
 - Flow time: 51.636,55 horas;
 - Lateness: 13.488,00 horas.
- Foram obtidos os seguintes resultados:

Average flow time = = 413,09 horas por ordem;
Average number of job in system = = 53,72;
Average job lateness = = 107,90 horas por ordem.

5 Discussão dos resultados

A partir das informações levantadas é possível observar que houve significativa melhoria no processo de alocação, movimentação dos materiais recebidos, abastecimento da produção e consequente redução do tempo em que as máquinas ficaram aguardando matérias-primas para iniciarem o processamento, devido à diminuição da quantidade de materiais com número excessivo de movimentações. Essa considerável redução dos tempos de paradas dos equipamentos de corte pode ser observada nas Figuras 7 e 8.

Conforme se encontra em Slack, Chambers e Johnston (2002), o processo produtivo é um pilar extremamente importante para a empresa, e deve ser alvo de constante melhoria, onde pontos falhos das atividades desenvolvidas devem ser corrigidos e os demais otimizados continuamente. Esse estudo evidenciou que a redução do tempo de separação e da quantidade de movimentação de bobinas de aço por pontes rolantes tem influência direta no aumento da produtividade dos equipamentos de corte da empresa.

Em relação ao processo de sequenciamento de produção, comparando os indicadores de performance estabelecidos, verifica-se que o método SPT, onde se priorizam as ordens de menor tempo de processamento, apresenta melhor desempenho de “average flow time” e “average number of job”, enquanto o método EDD, onde a priorização se dá em virtude do prazo de entrega mais próximo prometido ao cliente, apresenta melhor desempenho no indicador “average lateness”, como pode se observar na Tabela 3.

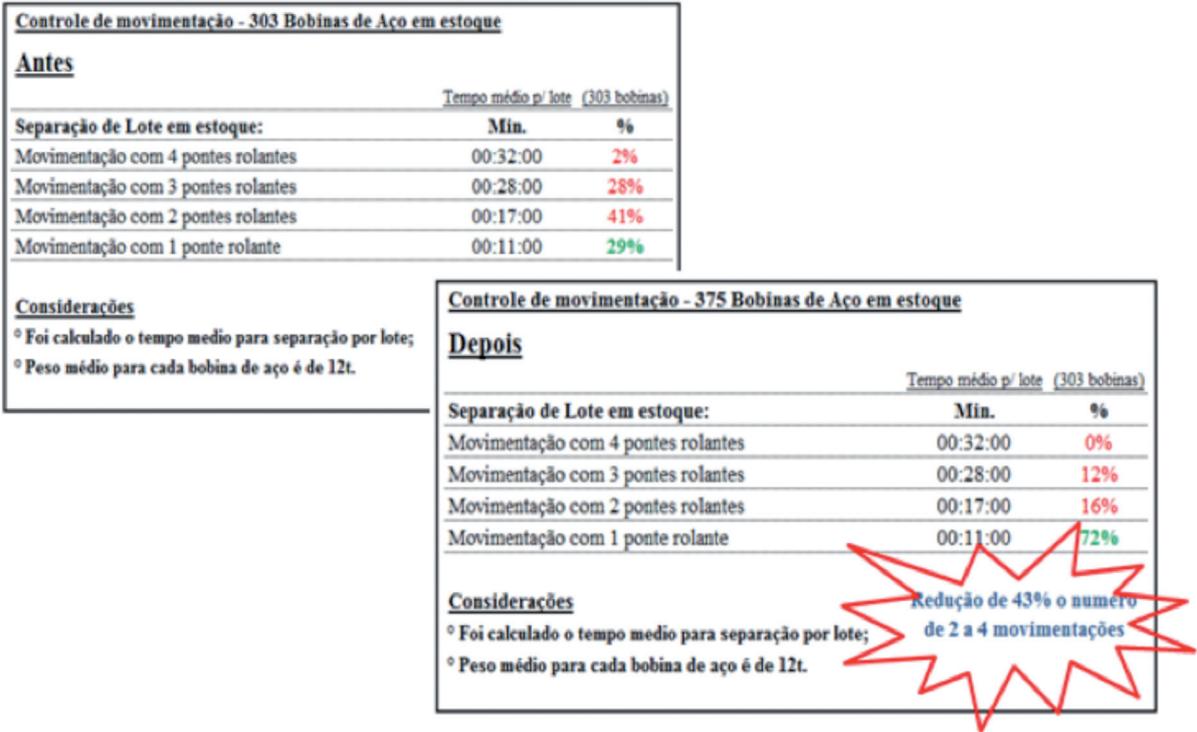


Figura 7: Controle de movimentações: Antes e Depois
Fonte: Os Autores.

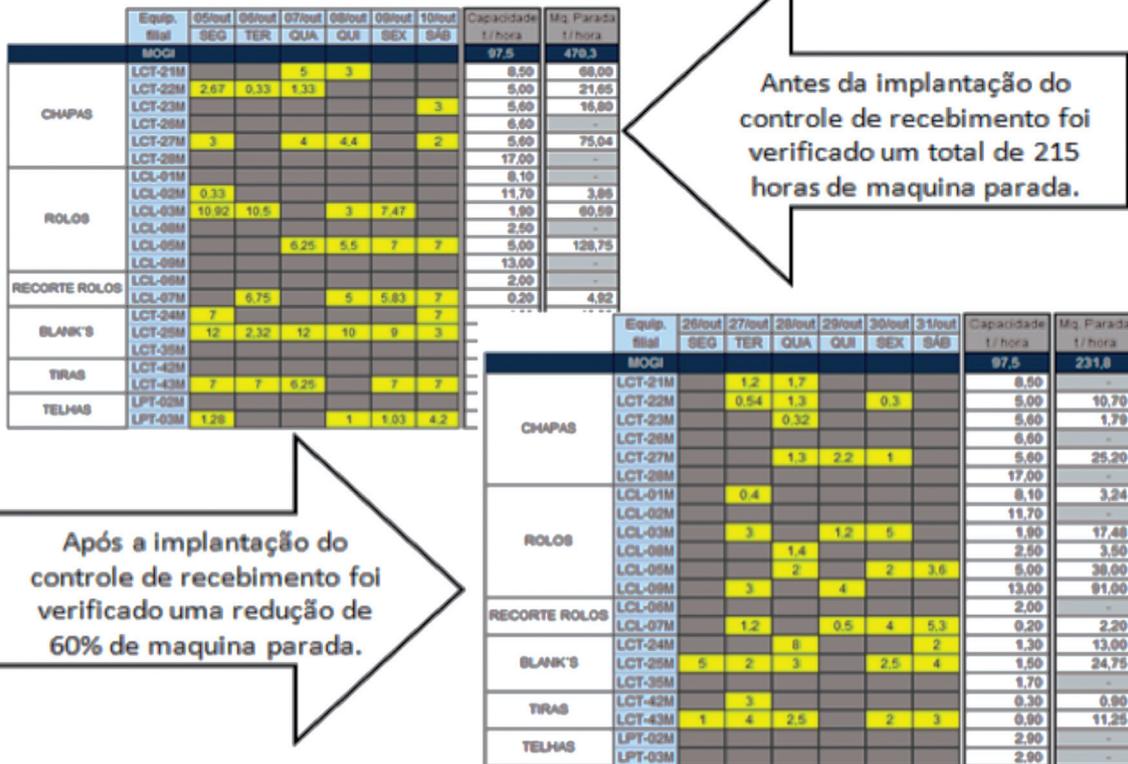


Figura 8: Controle de parada de máquina: Antes x depois. - (Pontos em destaque: máquina parada)
Fonte: Os Autores.

	Average flow time	Average number of job in system	Average job lateness
FCFS	484,94	63,07	76,22
SPT	265,52	34,53	62,98
EDD	526,04	68,41	5,57
LCC	413,09	53,72	107,90

Tabela 3: Comparativo de desempenho entre os métodos de sequenciamento de produção

Fonte: Os Autores.

6 Considerações finais

Verifica-se que a aplicação de conceitos de organização, do agrupamento de SKUs, do alinhamento estratégico de atividades e da integração entre a programação da demanda e a sequência de produção possibilitam otimizar a operação traçada na estratégia da empresa, aumentando a produtividade na medida em que o processo de movimentação interna funciona de forma a realizar menores quantidades de deslocamentos das matérias-primas e dispender o menor tempo com essas atividades. Isso é possível através ao posicionamento desses materiais na área destinada aos estoques utilizando-se métodos de sequenciamento. Esses resultados obtidos são fundamentais para a competitividade da empresa, uma vez que tem influência direta no nível de serviço prestado ao cliente no que se refere a tempo, custo e qualidade do produto.

A metodologia de sequenciamento da produção que apresentou melhor desempenho foi a EDD (Earliest Due Date), principalmente no indicador “average job lateness”. Verifica-se que esta metodologia apresenta aderência à estratégia da empresa devido à opção estratégica da organização em priorizar o atendimento ao cliente. Entretanto, como sugestão para pesquisas futuras, seria interessante verificar o resultado que seria obtido pela empresa em relação ao prazo de entrega e a lucra-

tividade do negócio se fosse utilizado o sequenciamento STP (Shortest Processing Time), que obteve melhores resultados quanto ao “average flow time” e “average lateness”, associado a utilização de estoques dirigidos aos clientes, de modo a mitigar possíveis atrasos nas entregas.

Referências

- Bowersox, D. J., Closs, D. J., Cooper, M. B. & Bowersox, J. C. (2013). *Gestão logística da cadeia de suprimentos* (4a ed.). Porto Alegre: AMGH, 472 p.
- Campisi, V. (2013, May). Using lean to add value, achieve operational excellence. *Plant Engineering*, 67(4), p. 21.
- Chwif, L, Medina, A. C. (2014). *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações* (4a ed.). São Paulo: Elsevier.
- Costa, R. O., Silva Santos, R., Maniçoba da Silva, A., & de Paula Ferreira, W. (2016). Dimensionamento do lote no MRP com sequenciamento de itens: aplicação em uma empresa de fabricação de PVC. *Exacta*, 14(4).
- Dias, M. A. P. (2015). *Administração de materiais: uma abordagem logística* (6a ed.). São Paulo: Atlas.
- Gu, J., Goetschalckx M., & Mcginnis L. F. (2007). Research on warehouse operation: a comprehensive review. *European Journal of Operation Research*, 177(1):1–21.
- Harrell, C., Ghosh, B. K., & Bowden, R. O. (2011). *Simulation using promodel* (4a ed.). Boston: McGraw-Hil.
- Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. K. (2013). *Operations management: processes and supply chains* (vol. 1). New York, NY: Pearson.
- Lúcio, W. S., Costa, L. S., Silva, A. M., & Paula, W. F. (2017). Discrete simulation applied to the production process of electronic components. *Independent Journal of Management & Production*, 8(5), 596-613.
- Pinedo, M. (2012). *Scheduling: theory, algorithms, and systems* (4a ed.). New Jersey: Prentice-hall.
- Pozo, H. (2016). *Administração de recursos materiais e patrimoniais: uma abordagem logística* (7a ed.). São Paulo: Atlas.
- Silva, E. B. D., Costa, M. G., Silva, M. F. S. & Pereira, F. H. (2012). Avaliação de regras de sequenciamento da produção em ambientes Job shop e Flow shop por meio de simulação computacional. São Paulo: *Exacta*, 10(1), 70-81.

Silva, G. G. M. P. D., Tubino, D. F., & Seibel, S. (2015). *Assembly lines: existing work and avenues for future research*. *Production*, 25(1), 170-182.

Slack, N.; Chambers, S., & Johnston, R. (2002). *Administração da produção* (2a ed.). São Paulo: Atlas.

Tadeu, H. F. B. (Org.) (2008). *Logística empresarial: perspectivas e oportunidades*. Belo Horizonte: FUNDAC-BH.

Vokurka, R.J., Lummus, R. R. (2000). The Role of Just-In-Time in Supply Chain Management. *The International Journal of Logistics Management*, 11(1), pp.89-98.

Watanabe, M., Ida, K., & Gen, M. (2005). A genetic algorithm with modified crossover operator and search area adaptation for the job-shop scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 48(4), p. 743-752.

Recebido em 9 mai. 2017 / aprovado em 21 ago. 2017

Para referenciar este texto

Pinto, C. R. O., Henrique Ferreira Barros, H. F., Adriano Maniçoba da Silva, A. M., & Zampini, E. De F. Alocação de insumos na área de armazenagem com regras de sequenciamento: estudo de caso em uma distribuidora de bobinas de aço. *Exacta*, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 67-81, 2018.

