

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA QUALIDADE

BERTIENE MARIA LACK BARBOZA
BRUNA LUPEPSA LATYKI

**REDUÇÃO DO TEMPO DE SETUP COMO ESTRATÉGIA DE
OTIMIZAÇÃO DA QUALIDADE DE UM PROCESSO PRODUTIVO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

PONTA GROSSA

2018

BERTIENE MARIA LACK BARBOZA
BRUNA LUPEPSA LATYKI

**REDUÇÃO DO TEMPO DE SETUP COMO ESTRATÉGIA DE
OTIMIZAÇÃO DA QUALIDADE DE UM PROCESSO PRODUTIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia da Qualidade, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Fábio José Ceron Branco

PONTA GROSSA

2018



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ
CÂMPUS PONTA GROSSA
Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção



TERMO DE APROVAÇÃO DE TCCE

Redução do Tempo de Setup como Estratégia de Otimização da Qualidade de um
Processo Produtivo

por

Bertiene Maria Lack Barboza
Bruna Lupepsa Latyki

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização (TCCE) foi apresentado em sete de dezembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Qualidade. As candidatas foram arguidas pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Fábio José Ceron Branco
Prof. Orientador

Prof. Dra. Joseane Pontes
Membro titular

Prof. Dr. Evandro Eduardo Broday
Membro titular

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

RESUMO

BARBOZA, Bertiene Maria Lack. **Redução do tempo de Setup como estratégia de otimização da qualidade de um processo produtivo**. 2018. 21 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Qualidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

Considerando o âmbito de gerenciamento de processos, controlar e otimizar o setup em um processo produtivo industrial é uma forma de melhorá-lo e satisfazer os clientes e fornecedores, além de torná-lo mais eficiente. O artigo propõe um novo sequenciamento de produção construído por um modelo matemático desenvolvido pela ferramenta do suplemento *solver*, no Excel, a qual mostra a redução na soma do tempo de setup da máquina para produzir determinados itens, se comparado com a situação real. As variáveis de decisão correspondem a ordenação da produção de cada um dos itens que compõem o *mix* de produtos da empresa, composto por 26 tipos diferentes. A cada setup, em que se muda o item a ser produzido é necessário passar por ajustes diferentes na máquina, e desta maneira foram estabelecidos pesos, em função de unidades de tempo de cada setup. Foi escolhido o melhor sequenciamento de setup encontrado pelo *solver*, com o menor tempo, com o valor de 1177,20 unidades de tempo. O histórico apresentava o tempo de setup de 1948,59 unidades de tempo, e assim pode-se concluir que a soma do tempo de setup proposto reduziu significativamente em 39,58% em relação ao tempo do histórico, possibilitando o aumento da capacidade produtiva do recurso considerado crítico para a empresa. Com a implementação proposta dos novos sequenciamentos acarretou em melhorias na produção adquirindo maior flexibilidade para troca de setup, considerando que o *mix* de produtos nesta linha é alto.

Palavras-chave: Setup. Otimização. Solver.

ABSTRACT

BARBOZA, Bertiene Maria Lack. **Reduction of the Time of Configuration as Strategy of Optimization of the Quality of a Productive Process**. 2018. 21 f. Monograph (Specialization in Quality Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2018.

Planning process management, controlling and optimizing the industrial configuration process is one way to improve customers and suppliers, further to making it more efficient. The article presents a new production sequencing built through a mathematical model developed on the supplement tool *solver*, in Excel, which is a selection in the configuration of the machine time for particular items, compared to a real situation. The decision variables correspond to a production order of each item that compound the set of products of the company, composed of 26 different types. At each setup, when the item to be produced is changed, it is necessary to go through different machine settings. Therefore, different weights, varying according to the time units of each setup, were established. The best configuration sequencing found by the *solver* with the shortest time was chosen, with a value of 1177.20 units of time. The history presented the set-up time of 1948.59 units of time, and thus it can be concluded that the sum of the setup time the program reduced by 39.58% in relation to the time of the scenario, allowing the increase of the productive capacity of the critical employee resource for a company. With a proposal to introduce new evolving data streams, most research has acquired greater flexibility for configuration switching, considering the superior online product mix.

Keywords: Setup. Optimization. Solver.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 PESQUISA OPERACIONAL	9
2.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR E NÃO LINEAR	10
2.3 SEQUENCIMENTOS DE SETUP	11
2.4 ENGENHARIA DA QUALIDADE	12
3 METODOLOGIA	13
3.1 SOLVER	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
REFERÊNCIAS	20

1 INTRODUÇÃO

Considerando o âmbito de gerenciamento de processos, controlar e otimizar o setup em um processo produtivo industrial é uma forma de melhorá-lo e conseqüentemente satisfazer os clientes e fornecedores, além de proporcionar um processo e ambiente mais eficiente.

As características de uma otimização de um processo devem resultar num aumento de produtividade e de capacidade operacional de uma máquina e até mesmo da indústria como um todo. Além disso, é fundamental promover uma adaptação mais eficiente da produtividade com o processo de modificação da matéria prima no produto final.

As indústrias se deparam atualmente em um ambiente de alta competição, devido à grande concorrência a rápida evolução tecnológica, modernização de equipamentos, e assim atender cada vez melhor seus clientes. Desta maneira, a demanda por melhoria nos processos produtivos é essencial. Como consequência, existe uma assídua busca por diferenciais competitivos, que vem através da otimização de etapas fundamentais do processo que irão influenciar significativamente no tempo e custo do processo.

Trabalhar com uma variável como o setup, que é o período de interrupção de um processo em que se reconfigura uma máquina para se fabricar outro produto ou mudar um planejamento de produção, tem sua importância, pois uma melhoria pode gerar importantes impactos no *Takt time* de um processo. Tais vantagens, como redução dos tempos de paradas, tem como consequência aumentar a capacidade de produção, reduzir prazos de entregas e, assim, tornar mais competitivo a linha produtiva em questão.

O uso de técnicas de pesquisa operacional na modelagem de processo empresariais vem se mostrando um fator decisivo para o desenvolvimento de políticas otimizadas de operações industriais. As modelagens empregam técnicas que possibilitam procedimentos operacionais complexos possam ser avaliados de maneira criteriosa, mostrando que recursos chaves podem ser utilizados de uma forma mais inteligente.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi analisar a produção de determinados itens de uma indústria, no intervalo de doze meses do ano de 2017.

Neste cenário, foram analisados os dados da produção de 26 tipos de itens diferentes, tais quais com demandas próprias a cada mês do ano.

Dada a demanda mensal definida pela análise dos dados históricos, foi importante definir com que sequência de produção a empresa deveria adotar, já que esta sequência exige a preparação da máquina a cada troca de item produzido. O artigo propõe um novo sequenciamento de produção através de um modelo matemático desenvolvido pela ferramenta do suplemento *solver*, no Excel, a qual mostra a redução no tempo de setup da máquina para produzir os itens, se comparado com a situação real.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento deste artigo é interessante abordar uma breve revisão sobre a programação de produção em pesquisa operacional que irão ocasionar a otimização de qualquer setor produtivo, também a utilização de métodos de programação matemática, como a programação linear e não linear, em especial o sequenciamento de setups. Ao final é abordado sobre engenharia de qualidade pois uma otimização de processo acarretará em melhorias nos aspectos de qualidade da indústria.

2.1 PESQUISA OPERACIONAL

De acordo com Oliveira (2010), a pesquisa operacional (PO) é a ciência aplicada formada por um conjunto de técnicas que visa à determinação das melhores condições de aproveitamento dos recursos em uma situação na qual estejam sob restrições: econômica, material, humana e a temporal. A pesquisa operacional é aplicada em múltiplas áreas em que se almeja melhorar a produção, seja reduzindo a perda de matéria prima, transporte otimizando rotas com menor tempo e custo de traslado, até mesmo num investimento na melhor bolsa de valores que se deseja investir.

A programação matemática, uma área da PO, investiga métodos de otimização (maximização ou minimização) de uma função objetivo com um número finito de variáveis de decisão sujeita a certas restrições. Tais restrições podem ser financeira, tecnológica, marketing, organizacional, entre outras.

Existem três objetivos principais para elaborar-se modelos em programação matemática: procedimento de construção de um modelo mostra relacionamentos que, em geral, não são evidentes; em geral é possível analisar matematicamente um modelo, sugerindo novas tendências e procedimentos, que de outra forma não é evidenciado; experiências que não são possíveis ou desejáveis na realidade, podem ser efetuadas a partir do modelo reformulado (Willians, 1978).

A modelagem matemática de otimização compreende-se em uma demonstração de um sistema real através do uso de lógica e de ferramentas matemáticas, de forma que os melhores resultados de operação do sistema sejam capazes de serem determinados. Supõe-se n decisões a serem tomadas então se

associam a cada decisão uma variável denominada variável de decisão. Analisa-se o desempenho de um modelo associando uma função numérica das variáveis de decisão chamada de função objetivo.

As variáveis a serem estudadas no presente artigo representam a ordenação dos itens a serem produzidos, de modo a minimizar setups, que por sua vez, são dependentes da sequencia adotada. A soma dos setups é definida por todas as tarefas necessárias entre o momento em que se tenha completado a última unidade do lote anterior de um item e o momento em que se inicializa a primeira unidade do lote seguinte. Tipicamente, o tempo envolvendo estas tarefas são longos, os quais estimulam a produção em lotes maiores, e conseqüentemente, à superprodução e ao aumento dos desperdícios (Cas et al, 2015).

A soma dos setups, quando otimizada, pode reduzir seu tempo em até 90% com investimentos moderados, o procedimento de redução divide-se o setup em duas etapas, setup interno que ocorre quando o equipamento está parado, ou seja não produzindo, e setup externo, que são as atividades necessárias para a troca de conjuntos do equipamento e que podem ser realizadas antes de ele ser desligado ou após retomar a produção (Shingo, 2000).

2.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR E NÃO LINEAR

A programação linear (PL) é uma parte da pesquisa operacional que dispõe de uma elevada aplicação no ramo industrial, sendo vinculada ao planejamento de artifícios escassos que proporcionam as condições operacionais. Tendo em vista isto, a programação vem como uma colaboração na tomada de decisão para se chegar ao melhor objetivo, no caso a função ótima de recursos. A PL é modelada por meio de inequações, chamadas de restrições que são as limitações da indústria, representadas por $a_{11}x_1, a_{12}x_2, \dots, a_{1n}x_n$, e a função objetivo do problema pode ser de maximização ou minimização dependendo do objetivo, sendo representado por $c_1x_1, c_2x_2, \dots, c_{1n}x_n$ e a função não negativa de $x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$. Sendo que a PL sempre será com equações e inequações do tipo linear (Angelini, et al., 2017).

Outro importante elemento do modelo de PL é a função objetivo, que significa o comportamento do sistema, isto é, o quanto será gerado de lucro para se reduzir o tempo ou custo. Se o objetivo for maximizar o lucro, as restrições têm que garantir que essa solução seja de acordo com as limitações técnicas impostas pelo sistema da indústria.

Ainda mais complexos em termos de solução são os modelos de programação não-linear (PNL), caracterizado por apresentar qualquer tipo de não linearidade, seja na função objetivo ou em qualquer de suas restrições.

Há também os modelos determinísticos básicos existentes, como o de *mix* de produção, que determina a quantidade produzida de um conjunto de produtos *i* em um determinado período de tempo de forma que se maximize o lucro da empresa ou minimize o custo de produção. Outro modelo é o de seleção de processos, no qual as demandas de produtos são fixadas num determinado horizonte de planejamento e os produtos tem vários processos possíveis de serem utilizados, sendo que os custos e a quantidade de recursos necessários dependem do processo escolhido. A união dos dois modelos constitui um modelo de *mix* de produção com processos alternativos, um dos modelos de programação matemática mais aplicados no meio industrial, neste tipo de modelo, a suposição de produção ser igual à demanda apresentada no modelo de seleção de processos é substituída pela relação de oportunidade de venda e produção mínima do modelo de *mix* de produção (Johnson e Montgomery, 1974).

2.3 SEQUENCIAMENTOS DE SETUP

A produtividade e eficácia dos processos uma indústria dependem de maneira crítica do roteiro de produção, sendo necessário que os recursos disponíveis sejam utilizados de modo racional durante a execução das diversas tarefas (Ku et al, 1987).

O meio industrial divide-se em plantas multiproduto e plantas multipropósito, sendo as plantas de multiprodutos as tarefas são executadas em uma mesma sequência de produção. A principal característica das plantas multiproduto é a relação de prioridade linear entre os estágios de produção. Em diversos processos industriais que operam em batelada, por exemplo, o tempo para preparar uma máquina às vezes é maior que o tempo de processamento, portanto, não se pode desprezar o tempo de setup. A programação de produção em ambiente flowshop considerando tempos de setup é bastante comum em plantas químicas, como por exemplo, indústria de tintas, de polpas de frutas, de tingimento de tecidos, de tintas e de detergente. Nestes setores industriais, o tempo de preparação das máquinas é relevante e precisa ser considerado na programação (Simons Jr., 1992).

É importante ressaltar que existem dois tipos de tempos de setups de máquinas, sendo o primeiro quando o tempo de setup depende somente da tarefa a ser executada independentemente da sequência. O segundo é o tempo de setup que depende tanto da tarefa a ser executada quanto daquela que foi processada anteriormente, portanto dependente da sequência.

Quando o sequenciamento de tarefas envolve uma única máquina e quando são considerados tempos de setup, o problema de minimização do tempo de processamento equivale a encontrar a sequência de tarefas que leva ao mínimo *total setup times*, uma vez que o somatório dos tempos de processamento das tarefas é constante. Assim, o problema passa a ser semelhante ao clássico problema do caixeiro viajante (Baker, 1974).

É importante destacar que o problema tratado neste artigo é os sequenciamentos dependentes da sequência, já que o setup é determinado pelo tipo de item produzido e pelo que item a ser produzido em seguida.

2.4 ENGENHARIA DA QUALIDADE

A melhoria contínua é capaz de ser determinada dentro da Gestão da Qualidade, pois proporciona um aumento do grau de ajuste do produto a demanda. Desta forma a gestão da qualidade tem como um dos exemplos de melhoria de contínua a otimização de processos que abrange esforços para a minimização de custo, reduzir defeitos, eliminar perdas ou falhas em suma racionalizar tempo de execução (Paladini, 2012).

A gestão da qualidade no processo produtivo é um componente operacional que sofre impactos visíveis em decorrência de uma otimização do processo. Um modelo gerencial diz que o centro de sua atenção no processo produtivo, deve se contar desde que a qualidade deve ser gerada a partir exatamente de operações do processo produtivo, que é o que o artigo propõe (Rich, 2012).

3 METODOLOGIA

O artigo analisou os dados de uma produção industrial durante todo o ano de 2017. A indústria produziu 26 diferentes itens os quais foram colocados em uma máquina e precisam de um setup a cada troca de produto.

O trabalho se enquadra em Pesquisa Experimental com Estudo de Caso, pois a programação linear foi aplicada na produção da indústria do ano passado. Para a realização do estudo, foram necessárias técnicas de coleta de dados como: pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, analisando os relatórios de observação sistemática do sistema de produção. As ferramentas utilizadas para analisar e interpretar os dados coletados foram os relatórios criados a partir do suplemento *solver*.

Para o desenvolvimento desta pesquisa utilizou dois computadores diferentes, com a mesma versão do Excel, com o suplemento *solver*, para realizar a comparação dos tempos em que se deixou o programa fazer a busca de combinações de sequenciamento.

Foram criadas planilhas com as informações existentes sobre a produção do ano passado, assim foram avaliadas as variáveis de decisão, que irão gerar otimização do sequenciamento de produção, a quantidade a ser produzida de cada produto, bem como as restrições do sistema além de uma matriz a qual cruzou as combinações que exigem tempos de setup dependentes da sequência.

3.1 SOLVER

O problema típico de programação linear contém: Variáveis de decisão (são as alternativas); Função objetivo (maximizar ou minimizar) e Restrições do sistema (critérios que devem ser obedecidos) (Neto, Zanella, 2007).

As variáveis de decisão são quando produzir de cada um dos itens que compõem o *mix* de produtos da empresa, composto por 26 tipos de produtos, denominados P1, P2, e assim até P26.

A cada setup, em que se muda o item a ser produzido é necessário passar por ajustes diferentes na máquina, e desta maneira foram estabelecidos pesos, em função de unidades de tempo cada setup, distinguidas como Atividades A, B, C, D e E.

Tabela 1 – Pesos em função de cada setup

Peso	Setup
0,00	Compatível
5,00	Atividade A
13,33	Atividade B
14,02	Atividade C
14,20	Atividade D
20,00	Atividade E

Fonte: Autores (2018)

A cada vez que se realiza a troca de item a ser produzido é analisado se ele é compatível com o próximo, desta forma o tempo tem peso 0. Se na sequência o item exige um setup de tempo curto, o peso dado é 5, nesta sequência dependendo do tempo em que o setup vai levar se estabeleceu os próximos pesos, que vão até 20.

A Tabela 2 mostra os valores de setup, normalizados, em função de unidades de tempo, associando nas linhas o produto produzido e nas colunas o produto a produzir.

Tabela 2 – Setups possíveis normalizados em função de unidades de tempo

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26
P1	0	5	5	5	5	5	5	13	5	5	5	5	13	5	14	5	5	5	5	5	5	5	14	14	5	5
P2	5	0	5	5	5	5	5	13	5	5	5	5	13	5	14	5	5	5	5	5	5	5	14	14	5	5
P3	14	14	0	14	14	14	14	13	14	14	14	14	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
P4	5	5	5	0	5	5	5	13	5	5	5	5	13	5	14	5	5	5	5	5	5	5	14	5	5	5
P5	5	5	5	5	0	0	0	13	5	5	5	5	13	5	14	5	5	5	5	5	5	5	14	5	5	5
P6	5	5	5	5	0	0	0	13	5	5	5	5	13	5	14	5	5	5	5	5	5	5	14	5	5	5
P7	5	5	5	5	0	0	0	13	5	5	5	5	13	5	14	5	5	5	5	5	5	5	14	5	5	5
P8	14	14	14	14	14	14	14	0	14	14	14	14	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
P9	5	5	5	5	5	5	5	13	0	5	5	5	13	5	14	5	5	5	5	5	5	5	14	5	5	5
P10	5	5	5	5	5	5	5	13	5	0	5	5	13	5	14	5	5	5	5	5	5	5	14	5	5	5
P11	5	5	5	5	5	5	5	13	5	5	0	5	13	5	14	5	5	5	5	5	5	5	14	5	5	5
P12	5	5	5	5	5	5	5	13	5	5	5	0	0	5	0	5	5	5	5	5	5	5	14	5	5	5
P13	5	5	5	5	5	5	5	13	5	5	5	5	0	0	5	0	5	5	5	5	5	5	14	5	5	5
P14	5	5	5	5	5	5	5	13	5	5	5	5	13	0	14	5	5	5	5	5	5	5	14	5	5	5
P15	14	14	14	14	14	14	14	13	14	14	14	0	0	14	0	14	14	14	14	14	14	14	5	14	14	14
P16	5	5	5	5	5	5	5	13	5	5	5	5	13	5	14	0	5	5	5	5	5	5	14	5	5	5
P17	5	5	5	5	5	5	5	13	5	5	5	5	13	5	14	5	0	5	5	5	5	5	14	5	5	5
P18	5	5	5	5	5	5	5	13	5	5	5	5	13	5	14	5	5	0	5	5	5	5	14	5	5	5
P19	14	14	14	14	14	14	14	13	14	14	14	14	13	14	14	14	14	14	0	14	0	14	14	14	14	14
P20	5	5	5	5	5	5	5	13	5	5	5	5	13	5	14	5	5	5	5	0	5	5	14	5	5	5
P21	14	14	14	14	14	14	14	13	14	14	14	14	13	14	14	14	14	14	0	14	0	14	14	14	14	14
P22	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
P23	14	14	14	14	14	14	14	13	14	14	14	14	13	14	5	14	14	14	14	14	14	14	0	14	14	14
P24	14	14	14	14	14	14	14	13	14	14	14	14	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	0	14	14
P25	14	14	14	14	14	14	14	13	14	14	14	14	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	0	0
P26	14	14	14	14	14	14	14	13	14	14	14	14	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	0	0

Fonte: Autores (2018)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tendo em vista o objetivo proposto no trabalho que é minimização do tempo de total de setup de produção, a cada setup realizado se aplicou os pesos mencionados na Metodologia, assim pode-se esperar que o suplemento *solver*, no Excel, encontrasse o melhor sequenciamento de produção.

Na busca do melhor sequenciamento, tendo como base que o item seguinte a ser produzido se fosse compatível levaria o peso zero. Foi buscado um novo sequenciamento para cada mês produzido.

Na Tabela 3 segue o mês de janeiro, para exemplificar como o *solver* foi aplicado, a sequência antiga de produção e a sequência proposta pelo suplemento. A célula objetivo foi a qual somava os pesos da sequencia proposta, onde tinha a função de minimizar o valor ao máximo das somas dos pesos possíveis com tais combinações e novos sequenciamentos.

Tabela 2 – Setups possíveis normalizados em função de unidades de tempo

Item	Sequência Antiga	Peso	Sequência Proposta	Peso
P1	1	5,00	1	5,00
P11	5	5,00	5	5,00
P9	3	0,00	3	5,00
P8	14	0,00	14	5,00
P7	15	13,33	4	5,00
P14	8	0,00	8	0,00
P15	7	14,02	7	0,00
P21	9	14,02	9	5,00
P26	11	0,00	11	0,00
P25	12	14,02	12	14,02
P18	4	5,00	2	0,00
P24	17	14,02	6	14,02
P17	13	5,00	16	5,00
P12	6	5,00	13	0,00
P19	10	0,00	10	0,00
P5	16	5,00	17	5,00
P16	2	5,00	15	0,00

Fonte: Autores (2018)

Para comparação entre o histórico de produção da empresa e novo sequenciamento proposto a cada mês, o suplemento *solver* foi feito em tempos diferentes e em diferentes computadores, para que se pudesse comparar e se utilizar o menor tempo possível de sequenciamento comparando com o histórico de produção.

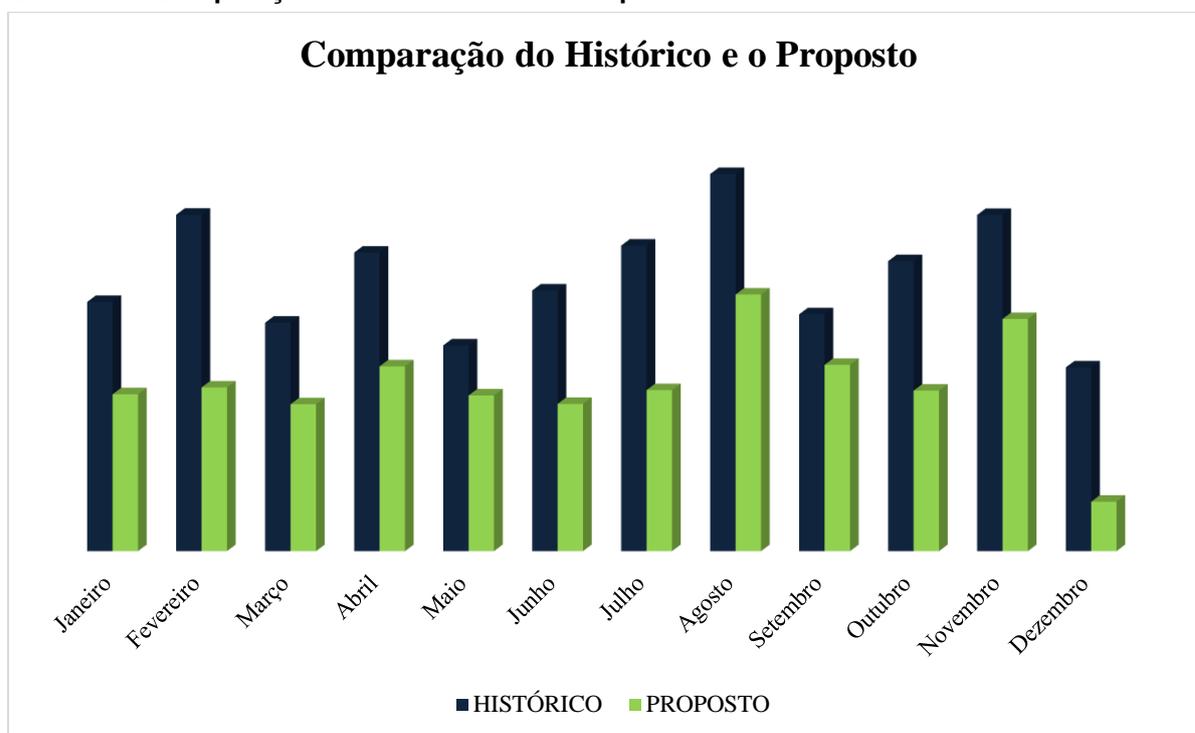
Tabela 3 – Resultados do novo sequenciamento

Mês	Histórico	(60') PC1	(120') PC2	(300') PC1	(300') PC2
<i>Janeiro</i>	146,76	124,30	142,63	92,24	68,04
<i>Fevereiro</i>	198,20	109,59	95,39	96,26	100,57
<i>Março</i>	134,48	105,57	105,57	86,37	91,55
<i>Abril</i>	175,85	108,72	108,72	108,72	108,72
<i>Maio</i>	121,08	124,59	97,06	91,55	96,37
<i>Junho</i>	153,50	82,06	91,26	86,55	86,55
<i>Julho</i>	179,98	103,72	122,92	94,70	118,61
<i>Agosto</i>	222,22	132,81	141,83	151,14	132,81
<i>Setembro</i>	139,48	87,06	87,06	109,59	119,59
<i>Outubro</i>	170,85	103,43	103,43	94,41	103,43
<i>Novembro</i>	198,09	118,61	118,61	136,65	118,61
<i>Dezembro</i>	108,10	42,35	24,20	29,02	42,35
TOTAL	1948,59	1242,81	1238,68	1177,20	1187,20

Fonte: Autores (2018)

Analisando a Tabela 3, pode-se escolher o melhor sequenciamento de setup encontrado no tempo de 300 segundos em que se deixou o *solver* encontrar o menor tempo, no PC1, no qual o valor encontrado é de 1177,2 unidades de tempo.

O Gráfico 1 ilustra através dos resultados obtidos a comparação mês a mês com o novo sequenciamento de setup proposto, e nota-se que todos os meses encontrou uma redução significativa no tempo.

Gráfico 1 – Comparação mês a mês do novo sequenciamento com o histórico

Fonte: Autores (2018)

A minimização total do tempo de setup do ano todo em comparação com a somatória do tempo total encontrado do novo sequenciamento pode-se ser ilustrada através do Gráfico 2.

Gráfico 2 – Comparação do tempo total do novo sequenciamento com o histórico



Fonte: Autores (2018)

Observando o Gráfico 2, a soma total dos tempos de setup foi de 1948,59 unidades de tempo e a do proposto foi de 1177,2 unidades de tempo pode-se concluir que a redução do tempo de setup proposto reduziu em 39,58% em relação ao tempo do histórico, sendo uma redução significativa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção das técnicas de programação matemática ao processo produtivo desta linha de produção trouxe um resultado muito positivo para a produtividade e a competitividade da empresa. As novas sequências de produção propostas enaltecem como um planejamento acarretaria em menor tempo de execução na produção dos itens.

A análise foi conduzida na linha de produção de uma indústria que fábrica 26 diferentes produtos. Com a utilização do suplemento *solver*, foi possível reduzir de forma significativa os tempos de setup de todos os produtos da linha, aumentando a capacidade produtiva do recurso considerado crítico para a empresa.

A metodologia contribuiu para a eliminação de atividades que não agregavam valor ao processo e melhoria na utilização dos ativos, proporcionando à linha uma resposta mais rápida as reprogramações facilitariam na entrega de pedidos aos clientes.

Com a implementação proposta dos novos sequenciamentos acarreta-se em melhorias na produção adquirindo maior flexibilidade para troca de setup, considerando que o *mix* de produtos nesta linha é alto. Além de proporcionar otimização dos tempos, há aumento de produtividade, redução dos custos do produto por horas de funcionários e atendimento da demanda dentro da carga horária de trabalho da linha.

REFERÊNCIAS

ANGELINI, J. et al. **Utilização da Pesquisa Operacional para Otimização do Mix de Produtos na Produção de Picolés em uma Empresa de Foz do Iguaçu, PR.** Plêiade, 90-98, jul./dez., 2017.

BAKER, K. R. **Introduction to Sequencing and Scheduling.** New York: John Wiley, 1974.

CAS, F. et al. Implicações da redução de Setup na produtividade da indústria farmacêutica. **Revista Geintec.** Sergipe. v. 5, p.1764-1779, 2015.

JOHNSON, L., MONTGOMERY, D. **Operations research in production, planning, scheduling and inventory control.** New York: John Wiley & Sons, 1974.

KU, H.; RAJAGOPALAN, D.; KARIMI, I. **Scheduling in Batch Process.** Chemical Engineering Progress, v. 83, n. 8, p. 35-45, 1987.

NETO, R, ZANELLA, C. **Planejamento da produção com a utilização do Solver – Excel na empresa Bondio Alimentos S.A.** XXVII Encontro de Engenharia de Produção, Paraná, 2007.

OLIVEIRA, R. M. S. et al. **Engenharia de Produção: tópicos e aplicações.** Belém: EDUEPA, 2010.

PALADINI, E. **Gestão da Qualidade: Teoria e Caso.** 2º Ed. Rev e ampl. Rio de Janeiro, RJ. Elsevier, 2012.

RICH, D. **Practice makes perfect.** Quality Progress, Jan. Milwaukee, WI, 2012.

SHINGO, S. **Sistema de Troca Rápida de Ferramenta: uma revolução nos sistemas produtivos.** Porto Alegre: Bookman, 2000.

SIMONS Jr., J.V. **Heuristics in flow shop scheduling with sequence dependent setup times.** Omega, 20, p. 215-225, 1996

WILLIAMS, H. P. **Model building in mathematical programming**. New York: John Wiley & Sons, 1978.