



Modelagem matemática do sistema de planejamento e controle da produção para redução dos tempos de *setup*

Neves CCB*

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, São Paulo, Brasil.*

Resumo: Os desafios das organizações vêm aumentando frente a uma situação de mercado globalizado e cada vez mais instigado pelas novas tecnologias e consciências social e ambiental. As demandas de produtos personalizados e complexos exigem uma constante revisão de conceitos e novas adaptações para que as indústrias possam se manter competitivas. Junto à natureza complexa dos Sistemas Produtivos, esse dinamismo exige um processo cada vez mais flexível e rápido, assim como exige aplicação do conceito de produção enxuta, que tem como princípio a eliminação de desperdícios de todos os gêneros: tempos, estoques, espaço, etapas e defeitos. O resultado ótimo é alcançado simultaneamente com o mínimo desperdício, ou seja, obtendo resultado de maneira eficaz e eficiente, quando proposições que auxiliem conclusões são analisadas para se chegar a uma decisão final. No âmbito industrial, essas proposições são analisadas pelo Planejamento e Controle de Produção, que é responsável por receber as informações dos demais setores dentro de uma indústria, abstrair e enfim sintetizar tudo de maneira coerente, garantindo a satisfação de todas as partes da melhor maneira possível. Diante disso, o presente trabalho apresenta uma proposta de modelagem matemática do sistema de Planejamento e Controle da Produção, no que tange à redução dos tempos de preparação da produção (*setup*). A proposta desenvolvida analisa as variáveis que envolvem uma produção e as compara com as variáveis de outras produções, visando aproveitar ao máximo as variáveis em comum. Para isso, utiliza-se o conceito de distância Euclidiana. Como resposta à aplicação deste modelo, deve haver a redução dos tempos de *setup* e o auxílio na tomada de decisão na Programação Detalhada da Produção.

Palavras-chave: *Programação Detalhada da Produção, Distância Euclidiana, Preparação da Produção.*

Introdução. O setor industrial é extremamente dinâmico e sofre alterações de acordo com a situação global. No âmbito atual, alguns fatores têm sido cruciais para o estudo dos processos de produção e de como estes devem se comportar para atender o mercado, sendo eles:

- Globalização: o processo de internacionalização do comércio aumenta significativamente o nível de competitividade.

- Novas tecnologias: os avanços tecnológicos proporcionam grande avanço no desempenho da produção, porém a complexidade dos bens produzidos e níveis de exigência também aumentam.
- Consciência social e ambiental: deve ser implantada uma produção mais limpa, de forma que as empresas se adequem ao conceito de sustentabilidade empresarial.

Nesse aspecto, os métodos do Planejamento e Controle da Produção (PCP) se tornam cada vez mais importantes, uma vez que este viabiliza a execução dos processos produtivos de acordo com a situação atual de mercado.

Dentre as funções incumbidas ao PCP, cabe gerar uma Programação Detalhada da Produção que permita atender as necessidades dos clientes internos e externos garantindo também menor tempo de preparação da produção.

No processo de modelagem e simulação, são utilizados modelos de um sistema real ou idealizado para o estudo de problemas reais de natureza complexa, com o objetivo de testar diferentes alternativas operacionais a fim de encontrar e propor melhores formas de operação que visem à otimização do sistema como um todo (1).

Visto isso, ferramentas de modelagem matemática podem ser utilizadas para auxiliarem na tomada de decisões na Programação Detalhada da Produção.

Planejamento e Controle da Produção. Para que uma tarefa qualquer obtenha resultado ótimo e alcance-o simultaneamente com o mínimo desperdício, ou seja, que obtenha resultado de maneira eficaz e eficiente, é essencial proposições que auxiliem na obtenção de conclusões e, finalmente, de uma decisão final. No âmbito industrial, essas proposições são analisadas pelo Planejamento e Controle de Produção (PCP).

O PCP é responsável por receber as informações dos demais setores dentro de uma indústria, abstrair e enfim sintetizar tudo de maneira coerente, garantindo a satisfação de todas as partes da melhor maneira possível. Segundo Lustosa (2), os níveis hierárquicos da estratégia de produção definem as funções de PCP atualmente encontradas na indústria, dadas de A a G:

- Nível estratégico:
 - A) Planejamento Estratégico (longo prazo);
 - B) Planejamento da Capacidade (longo prazo);

À nível estratégico, o PCP atua de forma indicativa, ou seja, as definições estratégicas de longo prazo da organização serão reflexo dos indicadores levantados no PCP, uma vez que este responde questões de capacidade da planta, demanda do mercado e gestão da produção.

- Nível tático:
 - C) Planejamento Agregado da Produção (médio prazo – quadrienal/anual);
 - D) Programação Mestre da Produção (médio prazo – anual/mensal);

No Planejamento Agregado da Produção, dimensiona-se recursos que exigem menor antecedência que os recursos de nível estratégico, como mão-de-obra pouco especializada, contratos de fornecimento e materiais básicos, fazendo uma estimativa das quantidades adequadas de recursos comuns a diversos produtos.

Na Programação Mestra da Produção é feita a “desagregação”, distribuindo a capacidade disponível entre pedidos firmes. Os frutos da programação mestra são estoque projetado por período de planejamento, o plano mestre de produção, ou MPS (*Master Production Schedule*), que serve de elo entre o planejamento tático e operacional, e o estoque não-comprometido, ou ATP (*available-to-promise*).

- Nível operacional:
 - E) Planejamento das Necessidades de Materiais (médio prazo – mensal/semanal);
 - F) Programação Detalhada da Produção (curto prazo – semanal/diário);
 - G) Execução e Controle (curto prazo – tempo real).

O Planejamento das Necessidades de Materiais ou MRP (*Materials Requirement Planning*) é um sistema que considera de forma integrada o planejamento da produção e o estoque para fazer um plano detalhado de materiais e capacidade. Para garantir as necessidades de recursos de produção surgiu o MRP II (*Manufacturing Resources Planning*), ou planejamento dos recursos de manufatura.

A Programação Detalhada da Produção deve garantir a intermitência da produção. Para isso definem-se sete decisões em programação de tarefas: determinação de onde a tarefa será executada, sequência em que as ordens devem ser executadas, quando a tarefa deverá ser iniciada e terminada (*scheduling*), quando e para quem a ordem deve ser liberada, acompanhamento dos trabalhos, acelerar a ordem de produção para atender necessidades específicas e definição dos roteiros e programação das tarefas dentro de uma seção do sistema produtivo.

À Execução e Controle cabe fazer comparações entre os resultados obtidos e o que foi programado, detectando desvios e identificando suas causas para posterior correção.

É na Programação Detalhada da Produção que é feita a unificação dos pedidos, gerando uma única ordem de trabalho para reduzir o tempo de preparação para produção (3). É nesse nível que o presente trabalho se desenvolve.

Modelagem Matemática. Segundo Burak (4), modelagem matemática pode ser entendida como um “conjunto de procedimentos cujo objetivo é construir um paralelo para tentar explicar, matematicamente, os fenômenos presentes no cotidiano do ser humano, ajudando-o a fazer previsões e a tomar decisões”. Para este trabalho, foi utilizado o modelo matemático de distância Euclidiana, seguindo o trabalho desenvolvido por Wermuth (5).

Distância Euclidiana. Para dois pontos de coordenadas (x_1, y_1) e (x_2, y_2) , a distância entre os pontos é o comprimento da hipotenusa de um triângulo retângulo (Eq. 1) (5).

$$D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1)$$

Sendo assim, a distância Euclidiana é uma técnica utilizada para medida de similaridade entre objetos através do teorema de Pitágoras. Este conceito pode também ser utilizado para mais de duas variáveis (6).

Considerando-se n indivíduos que possuem valores para p variáveis, a distância Euclidiana entre eles é obtida utilizando-se o teorema de Pitágoras para um espaço multidimensional.

Essa distância pode ser expressa pela distância D entre as extremidades de dois vetores e pode ser aplicada da seguinte maneira (7):

1. Padronizar variáveis através de uma matriz de dados com p variáveis (j) e n objetos (i) (Eq. 2).

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad (2)$$

2. Escolha de um coeficiente que identifique o quão parecidos dois objetos são.
3. Distância euclidiana entre dois elementos (Eq. 3).

$$D_{ii'} = \left[\sum_{j=1}^p (X_{ij} - X_{i'j})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

Aplicação. Com base nos conceitos acima referidos e no trabalho desenvolvido em (5), foi utilizada a distância Euclidiana para o teste de otimização de *setup* numa gráfica X. Para isso, foram selecionados oito produtos aleatórios, aqui referidos de A1 a H8.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
			A1	B2	C3	D4	E5	F6	G7	H8	
2	Formato	660	1	0	0	0	0	0	0	0	
3		590	0	1	1	1	1	1	0	0	
4		640	0	0	0	0	0	0	1	0	
5		630	0	0	0	0	0	0	0	1	
6	Filme	PS	1	0	0	0	0	0	0	0	
7		PP	0	1	1	1	1	1	1	1	
8		PET	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	Cores	Branco1	0	1	1	1	1	1	1	0	0
10		Branco2	0	1	1	1	1	1	1	0	0
11		Branco3	1	0	0	0	0	0	0	1	1
12		Cyan	1	1	1	0	0	0	0	1	1
13		Magenta	0	0	0	0	0	0	0	1	1
14		P01	0	0	0	0	0	1	0	0	0
15		P02	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16		P03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17		P04	1	0	0	0	0	0	0	0	0
18		P05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19		P06	0	0	0	0	1	0	0	0	0
20		P07	1	0	0	0	0	0	0	0	0
21		P08	0	0	0	0	0	0	0	1	1
22		P09	0	0	0	0	0	0	1	0	0
23		Preto1	0	1	1	1	1	1	1	0	0
24		Preto2	0	1	1	1	1	1	1	0	0
25		Preto3	1	0	0	0	0	0	0	1	1
26		Reflex	0	0	0	0	0	0	0	1	1
27		Verniz	0	0	1	1	1	1	1	0	0
28		Amarelo	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Figura 1. Variáveis que envolvem cada processo.

As variáveis que envolvem os *setups* dos processos são três:

- Formato (4 possibilidades);
- Filme (3 possibilidades);
- Cores (20 possibilidades).

No total, foram analisadas 27 variáveis diferentes para os produtos selecionados.

O primeiro passo foi desenvolver uma planilha em *Excel* para estes itens para caracterizar as variáveis que pertencem ou não a seus processos. As variáveis que pertencentes foram indicadas como “1”, enquanto as variáveis não pertencentes foram indicadas como “0”, como pode ser visto na figura 1.



E2 \times \checkmark f_x =(D2-\$C\$2)^2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
		A1	B2	D	C3	D	D	D4	D	E5	D	F6	D	G7	D	H8	D	
2	Formato	660	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
3		590	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
4		640	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
5		630	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
6	File	PS	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
7		PP	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
8		PET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	Cores	Branco1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
10		Branco2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
11		Branco3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0
12		Cyan	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0
13		Magenta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
14		P01	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
15		P02	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
16		P03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17		P04	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
18		P05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19		P06	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20		P07	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
21		P08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
22		P09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
23		Preto1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
24		Preto2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
25	Preto3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	
26	Reflex	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
27	Verniz	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
28	Amarelo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	

Figura 2. Cálculo da distância.

Em seguida, foi iniciado o cálculo das distâncias entre os produtos fazendo a diferença entre cada uma de suas variáveis e elevando esse resultado ao quadrado. Na figura 2 podemos observar esse cálculo para as variáveis envolvendo o item A1 e os sete demais itens.

Foram desenvolvidas outras sete planilhas dessa maneira, para cada um dos itens, comparando-o com os demais, sendo que na sétima planilha há a diferença entre os itens G7 e H8.

Dando continuidade ao cálculo, foi extraída a raiz do resultado da soma das 27 variáveis, encontrando a distância entre cada um dos produtos para todos itens, como pode ser visto na figura 3.



E29 : f_x =RAIZ(SOMA(E2:E28))

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
		A1	B2	D	C3	D	D	D4	D	E5	D	F6	D	G7	D	H8	D
1																	
2	Formato	660	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
3		590	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
4		640	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5		630	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
6	Filme	PS	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
7		PP	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8		PET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Cores	Branco1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
10		Branco2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
11		Branco3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
12		Cyan	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
13		Magenta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
14		P01	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
15		P02	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
16		P03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17		P04	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
18		P05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	P06	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	P07	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
21	P08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
22	P09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
23	Preto1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	
24	Preto2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	
25	Preto3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	
26	Reflex	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
27	Verniz	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
28	Amarelo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
29				3,605551		3,741657		4		4		4		3,316625		3,316625	

Figura 3. Cálculo da distância com resultados.

Na figura 4, temos uma nova planilha onde foram agrupados todos os resultados obtidos.

A1 : f_x

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	A1	B2	C3	D4	E5	F6	G7	H8	
2	A1	0	3,605551	3,741657	4	4	4	3,316625	3,316625
3	B2	3,605551	0	1	1,732051	1,732051	1,732051	3,464102	3,464102
4	C3	3,741657	1	0	1,414214	1,414214	1,414214	3,605551	3,605551
5	D4	4	1,732051	1,414214	0	1,414214	1,414214	3,872983	3,872983
6	E5	4	1,732051	1,414214	1,414214	0	1,414214	3,872983	3,872983
7	F6	4	1,732051	1,414214	1,414214	1,414214	0	3,872983	3,872983
8	G7	3,316625	3,464102	3,605551	3,872983	3,872983	3,872983	0	1,414214
9	H8	3,316625	3,464102	3,605551	3,872983	3,872983	3,872983	1,414214	0

Figura 4. Resultados de todas as distâncias.

Para visualização gráfica, os valores obtidos foram inseridos na ferramenta *MatLab*, sob comando “bar3”, como pode ser verificado no gráfico 1.

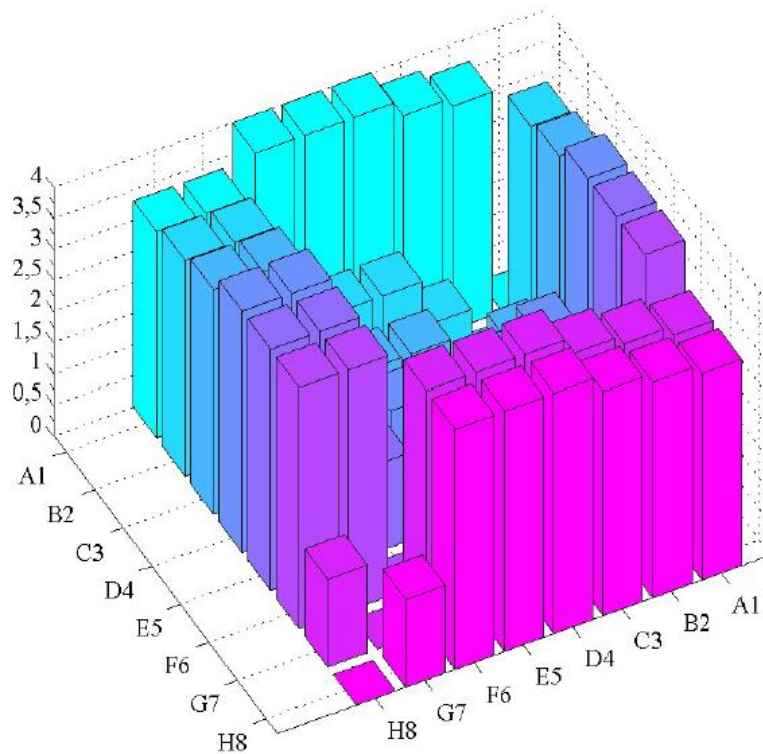


Gráfico 1. Gráfico da matriz das distâncias.

Com os resultados das distâncias entre cada produto, pode-se estabelecer então uma sequência produtiva que reduza os tempos de *setup*, uma vez que, quanto mais similares os itens, ou seja, quanto menor o valor da distância entre eles, menor o número de processos de preparação da máquina que terão de ser executados.

Tabela 1. Sequência de Produção.

	Sequência	Produto
1	Início:	C3
2	Seguinte mais próximo:	B2
3	Seguinte mais próximo:	D4
4	Seguinte mais próximo:	E5
5	Seguinte mais próximo:	F6
6	Seguinte mais próximo:	G7
7	Seguinte mais próximo:	H8
8	Seguinte mais próximo:	A1
...	Seguinte mais próximo:	...



Para os itens estudados nesse trabalho e escolhendo aleatoriamente um deles como inicial, pode-se demonstrar o *scheduling* que seria mais eficiente de acordo com a distância Euclidiana. Na tabela 1 temos um exemplo iniciando-se com o produto C3.

Conclusão. As últimas décadas dentro do setor industrial vêm apresentando características de incessantes mudanças devido à necessidade de adaptação ao mercado e suas novas exigências. A necessidade de ser flexível e ágil incrementando qualidade está cada vez mais marcante.

No presente trabalho, foi visto um exemplo de aplicação da técnica de distância Euclidiana para facilitar a tomada de decisão por parte do PCP em se tratando de reduzir os tempos de preparação esperados na Programação Detalhada da Produção, auxiliando na flexibilização e agilidade do sistema produtivo. Através das variáveis em comum que envolvem cada processo, uma relação de similaridade é desenvolvida e passa a servir de guia para definir o *scheduling* da produção.

Agradecimentos. Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) pelo apoio para desenvolvimento do presente trabalho.

Referências.

- (1) Carvalho LS. Modelagem e simulação: poderosa ferramenta para a otimização de operações logísticas. Bahia Análise & Dados Salvador. 2003;13(2):267-274.
- (2) Lustosa L, Mesquita MA, Quelhas O, Oliveira R. Planejamento e controle da produção. Rio de Janeiro (BR): Elsevier; 2008.
- (3) Guirro DN. Requisitos para modelagem do sistema de execução da manufatura com bases na norma ANSI/ISA S95 [dissertação]. São Paulo (BR): Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia São Paulo; 2017.
- (4) Burak D. Modelagem matemática: uma metodologia alternativa para o ensino da matemática na 5ª série [dissertação]. Rio Claro (BR): Universidade Estadual Paulista; 1987.
- (5) Wermuth SLP. Modelagem matemática e computacional de um sistema de apoio à decisão na indústria [dissertação]. Santa Cruz do Sul (BR): Universidade de Santa Cruz do Sul; 2007.
- (6) Hair JF, Black WC, Babin BJ, Anderson RE, Tatham RL. Análise multivariada de dados. Porto Alegre (BR): Bookman; 2005.
- (7) Vicini L. Análise multivariada da teoria à prática. Rio Grande do Sul (BR): UFSM, CCNE; 2005.

Abstract: *The challenges of organizations are increasing in the face of a globalized and increasingly instigated by new technologies and social and environmental consciousness market situation. The demands of customized and complex products require a constant revision of concepts and new adaptations, so that the industries can remain competitive. Side by side with the complex nature of Productive Systems, this dynamism requires an increasingly flexible and fast process, as well as the application of the concept of lean manufacturing, whose principle is the elimination of wastes of all kinds: times, stocks, space, stages and defects. The optimal result is achieved simultaneously with minimal waste, that is, obtaining results efficiently and effectively, when propositions that aid conclusions are analyzed to get to a final decision. In the industrial sphere, these propositions are analyzed by the Production Planning and Control, which is responsible for receiving information from other sectors within an industry, abstracting and finally synthesizing everything in a coherent way, ensuring the satisfaction of all parties in the industry in the best possible way. Therefore, present work presents a proposal of mathematical modeling of the Production Planning and Control system with respect to reduction of setup times of production. The proposal analyzes the variables that involve a production and compares to variables of other productions, aiming to make the best use of the variables in common. For this, the concept of Euclidean distance is used. Is conclusive that there must be a reduction of the setup times and it helps the decision-making in the Detailed Production Schedule.*

Keywords: Detailed Production Scheduling, Euclidean Distance, Mathematical Modeling, Production Setup.