

## **SIMULAÇÕES DE ARRANJOS FÍSICOS POR PRODUTO E BALANCEAMENTO DE LINHA DE PRODUÇÃO: O ESTUDO DE UM CASO REAL NO ENSINO PARA ESTUDANTES DE ENGENHARIA**

**Giancarlo F. Aguiar** – giancarl@unicenp.edu.br

Centro Universitário Positivo, Núcleo de Ciências Exatas e Tecnológicas  
Rua Profº. Pedro Viriato Parigot de Souza, 5300, Campo Comprido  
81280-330 – Curitiba - PR

**Jurandir Peinado** – jurandir@unicenp.edu.br

Centro Universitário Positivo, Núcleo de Ciências Humanas / Exatas e Tecnológicas  
Rua Profº. Pedro Viriato Parigot de Souza, 5300, Campo Comprido  
81280-330 – Curitiba - PR

**Alexandre R. Graeml** – agraeml@unicenp.edu.br

Centro Universitário Positivo, Núcleo de Ciências Humanas / Mestrado em Administração  
Rua Profº. Pedro Viriato Parigot de Souza, 5300, Campo Comprido  
81280-330 – Curitiba - PR

**Resumo:** *Este artigo apresenta brevemente os diversos tipos de arranjo físico utilizados em operações produtivas e a seguir se concentra em uma discussão um pouco mais aprofundada do layout por produto, que é muito usado em operações industriais. Isto é feito para, na seqüência, proporcionar uma solução para um problema real de melhoria da eficiência e balanceamento de linha proposto por um aluno. O fato de se tratar de uma situação vivenciada por uma empresa da própria cidade, em que um dos colegas estava diretamente envolvido, já que se tratava do analista de processos incumbido de reduzir a ociosidade e aumentar a produtividade da fábrica, despertou o interesse dos demais alunos que, motivados, se empenharam em ajudá-lo. O professor municiou-os com a teoria sobre o assunto e o ferramental necessário e eles realizaram diversas simulações de mudança do arranjo produtivo, melhorando a cada passo a qualidade da solução apresentada. O exercício comprovou que a utilização de exemplos reais, e que fazem parte do contexto dos estudantes, é um meio eficaz de se obter o seu envolvimento e melhorar a aprendizagem.*

**Palavras-chave:** *arranjo físico, layout produtivo, balanceamento de linha de produção, ensino de administração da produção*

### **1 INTRODUÇÃO**

O estudo do arranjo físico se preocupa com a localização física dos recursos de transformação e se justifica porque decisões de como organizar a produção possuem impacto direto nos custos de uma operação produtiva. Além disto, elevados investimentos são necessários para construir ou modificar o *layout* produtivo, quando este é ineficiente.

No arranjo físico por produto as máquinas ou estações de trabalho são posicionadas de acordo com a seqüência de montagem do produto, o que proporciona alta produtividade, embora associada a elevado custo fixo e pouca flexibilidade para fabricação ou montagem de produtos diferentes. O balanceamento de uma linha de produção consiste na atribuição de tarefas às diversas estações de trabalho de forma que todas elas demandem aproximadamente o mesmo tempo para execução das tarefas designadas.

Este artigo apresenta brevemente a teoria sobre *layout* produtivo, com ênfase no *layout* por produto e na forma de se realizar o balanceamento de linhas de produção para, na seqüência, proporcionar uma solução para um problema real de melhoria da eficiência e balanceamento de linha proposto por um aluno. O fato de se tratar de uma situação vivenciada por uma empresa da própria cidade, em que um dos colegas estava diretamente envolvido – já que se tratava do analista de processos incumbido de aumentar a produtividade da fábrica –, despertou o interesse dos demais alunos que, motivados, se empenharam em ajudá-lo. O professor municiou-os com a teoria sobre o assunto e o ferramental necessário e eles realizaram diversas simulações de mudança do arranjo produtivo, melhorando a cada passo a qualidade da solução apresentada. O exercício comprovou que a utilização de exemplos reais, e que fazem parte do contexto dos estudantes, é um meio eficaz de se obter o seu envolvimento e melhorar a aprendizagem.

O trabalho ilustra o desenvolvimento teórico e aplicado no ensino do tema “arranjos físicos” no curso de Engenharia Mecânica (disciplina: projetos de sistemas produtivos) e Engenharia da Computação (disciplina: Pesquisa Operacional), na instituição em que atuam os autores, e está organizado da seguinte forma: primeiramente são introduzidos os conceitos e definições teóricas a respeito de arranjos físicos, sua importância, motivação e tipologias. Em seguida, os autores elegem um modelo (arranjo por produto ou linha) e tecem comentários sobre as suas vantagens e desvantagens. Indica-se como é realizado o balanceamento de uma linha de produção, calculam-se os seus indicadores (tempo de ciclo, capacidade de produção, nível de produção desejado, número de estações de trabalho necessárias, índice de ociosidade e grau de utilização). Por fim, apresenta-se uma aplicação prática, incluindo exemplo e resultados, para um caso real trazido por um dos alunos da disciplina “Projetos de sistemas produtivos”

## 2 ARRANJOS FÍSICOS

Para efeito de gestão em organizações, o termo “arranjo físico” possui várias definições, todas análogas, complementares e alinhadas entre si. A seguir são apresentadas três delas:

1. é a preocupação com a localização física dos recursos de transformação, ou seja, a decisão de onde colocar todas as instalações, máquinas, equipamentos e pessoal da produção (SLACK *et al.*, 2002).
2. é a configuração de departamentos, de centros de trabalho e de instalações e equipamentos, com ênfase especial na movimentação otimizada, através do sistema, dos elementos aos quais se aplica o trabalho (STEVENSON, 2001).
3. é o planejamento da localização de todas as máquinas, utilidades, estações de trabalho, áreas de atendimento ao cliente, áreas de armazenamento de materiais, corredores, banheiros, refeitórios, bebedouros, divisórias internas, escritórios e salas de computador e, ainda, a definição dos padrões de fluxo de materiais e de pessoas que circulam no prédio (GAITHER E FRAZIER, 2001).

Naturalmente, existem algumas regras e direções que podem ser seguidas quando se define um arranjo físico. Contudo, a experiência e visão do gestor por muitas vezes representam a principal ferramenta de otimização. O arranjo deve, sobretudo, propor bem

estar às pessoas envolvidas, proporcionando a máxima eficiência produtiva. Não é raro, nos dias de hoje, que arquitetos, decoradores e paisagistas participem da elaboração de arranjos físicos industriais na tentativa de tornar o ambiente de trabalho mais agradável.

Em função do aumento da produtividade do maquinário e, conseqüente, da redução de mão-de-obra operacional, os arranjos físicos produtivos atuais são mais compactos, ocupando muito menos área física que os arranjos de poucas décadas atrás.

## **2.1 A importância das decisões de arranjo físico**

As decisões de arranjo físico definem como a empresa vai produzir. O *layout*, ou arranjo físico, é a parte mais visível e exposta de qualquer organização. A necessidade de estudá-lo existe sempre que se pretende implantar uma nova fábrica, unidade de serviços ou quando se está promovendo a reformulação de plantas industriais ou outras operações produtivas (DAVIS, AQUILANO E CHASE, 2001). As decisões do arranjo físico ocorrem em três níveis, apresentados a seguir.

1. Nível estratégico: decisão tomada quando se estudam novas fábricas, grandes ampliações ou mudanças radicais no processo de produção, que, naturalmente, envolvem grandes investimentos. Neste caso, geralmente os estudos são feitos por empresas terceirizadas, que detêm conhecimento altamente especializado sobre o assunto. Decisões como estas não são, de maneira geral, de responsabilidade do gerente de produção;
2. Nível tático: decisão tomada quando as alterações não são tão representativas e os riscos e valores envolvidos são mais baixos. Geralmente, decisões táticas são tomadas pelo próprio gerente ou diretor industrial da organização;
3. Nível operacional: são raras as mudanças de arranjo físico definidas em nível operacional, já que, normalmente, existem motivos para que tais decisões ocorram em nível decisório mais elevado, como segue:
  - geralmente as atividades ligadas ao arranjo físico são demoradas e de alto custo;
  - se o arranjo físico já existe e precisa ser alterado, o processo de produção pode ter que ser interrompido. É comum fazer as alterações em finais de semana ou em períodos de férias, para reduzir o impacto sobre a produção. A mudança do local de uma máquina, de uma linha de montagem ou do local de um almoxarifado, por exemplo, pode exigir a atividade de muitos profissionais de manutenção e a utilização de maquinário especial;
  - se o arranjo físico é para uma organização prestadora de serviços, é fundamental entender que ele representará a interface entre a organização e o consumidor, ou seja, nenhuma outra variável provocará tanto impacto inicial para o consumidor quanto o espaço em que a interação empresa-cliente (loja) vai ocorrer. As decisões sobre a apresentação dos produtos, comunicação visual e sinalização devem despertar o interesse para as compras, buscando transformar cada visita do cliente em uma compra.

## **2.2 Motivadores para a modificação de *layout***

A necessidade da tomada de decisão sobre modificação de *layout* em processos produtivos pode derivar de variados motivos (RITZMAN E KRAJEWSKI, 2004). A seguir são apresentados alguns deles.

É natural e muito comum que a empresa procure expandir sua atuação com o passar do tempo. Um aumento na capacidade produtiva pode ser obtido aumentando-se o número de máquinas ou substituindo-se as existentes por máquinas mais modernas. Um estudo do arranjo físico é necessário para acomodar as novas máquinas, necessárias nessas situações, no espaço disponível.

Um arranjo físico inadequado geralmente é responsável por problemas de produtividade ou nível de qualidade baixo. Isto pode tornar necessária a transformação completa de *layout* para reduzir os custos de operação.

Quando um novo produto exigir um novo processo de produção também é necessário readequar as instalações, implantando uma nova linha de produção, ou flexibilizando a previamente existente.

O local e as condições físicas de trabalho, principalmente nos assuntos relacionados à ergonomia, podem ser fatores determinantes do rendimento funcional, agindo como motivadores ou inibidores de produtividade (IIDA, 2000). Quando detectados problemas como a longa distância de um banheiro ou outra área a que os funcionários precisam ter acesso com relativa frequência, um bebedouro mal posicionado ou a falta de claridade para o trabalho, deve-se intervir, porque esses fatores são potenciais causadores de desânimo e ineficiência dos trabalhadores em uma organização.

### **2.3 Tipos de arranjos físicos**

A literatura da área apresenta, invariavelmente, quatro ou cinco formas de se organizar um arranjo físico produtivo, sob as mais variadas nomenclaturas, mas seguindo sempre os mesmos princípios gerais:

- arranjo por produto ou por linha;
- arranjo por processo ou funcional;
- arranjo celular;
- arranjo por posição fixa ou posicional;
- arranjo misto.

Neste artigo, o foco se concentra no estudo do arranjo físico por produto ou linha de produção, cujas características, vantagens e desvantagens, comparativamente às outras possibilidades, serão melhor explicadas no próximo item.

## **3 ARRANJO POR PRODUTO OU EM LINHA**

Este artigo irá ilustrar a metodologia de cálculo e montagem de um arranjo físico teórico em forma de linha de produção. A primeira linha de produção de que se tem notícia foi idealizada por Henry Ford, em 1939 (CORREA E CORREA, 2004). É um arranjo muito utilizado até hoje pela indústria e também por algumas organizações prestadoras de serviço, como por exemplo:

- indústrias montadoras: praticamente todas as montadoras utilizam um arranjo por produto. Este é o caso de linhas de montagem de automóveis, eletrodomésticos, bicicletas, brinquedos, aparelhos eletrônicos, entre outros.
- frigoríficos: indústria de produtos frigoríficos de carne bovina, suína, frango e seus derivados são normalmente estruturados seguindo um arranjo em linha, o processo inclui, inclusive, o sistema de abatimento dos animais.
- serviços de restaurante por quilo: um restaurante que vende comida a quilo utiliza uma espécie de linha de montagem de pratos, em que o próprio cliente realiza parte do processo produtivo ao seguir a fila e se abastecer dos alimentos desejados.

No arranjo produtivo por produto, as máquinas, os equipamentos ou as estações de trabalho são colocados de acordo com a seqüência de montagem, sem caminhos alternativos para o fluxo produtivo. O material percorre um caminho previamente determinado dentro do processo. Este arranjo permite obter um fluxo rápido na fabricação de produtos padronizados, que exige operações de montagem ou produção sempre iguais. Neste tipo de arranjo, o custo fixo da organização costuma ser alto, mas o custo variável por produto produzido é geralmente baixo. Isto faz do arranjo físico por produto, um arranjo de elevado grau de alavancagem operacional.

Quando se fala de um arranjo em linha, não se trata necessariamente de uma disposição em linha reta. Uma linha de produção retilínea tende a ficar muito longa, exigindo áreas de longo comprimento, o que nem sempre é possível, na prática, além de gerar longas distâncias a serem percorridas pelas pessoas envolvidas no processo, o que, por si, pode ser um fator gerador de ineficiências. Para evitar que a linha se estenda muito, é comum que os engenheiros a projetem em forma de “U”, “S”, ou outro circuito que possa ser exequível em função de características específicas das instalações prediais disponíveis. Está ilustrada a seguir (Figura 1) uma linha em forma de “U”, que requer praticamente a metade do comprimento de uma linha reta. As pessoas trabalham mais próximas umas das outras e o caminho percorrido para abastecimento da matéria-prima, ao lado da linha, é menor.

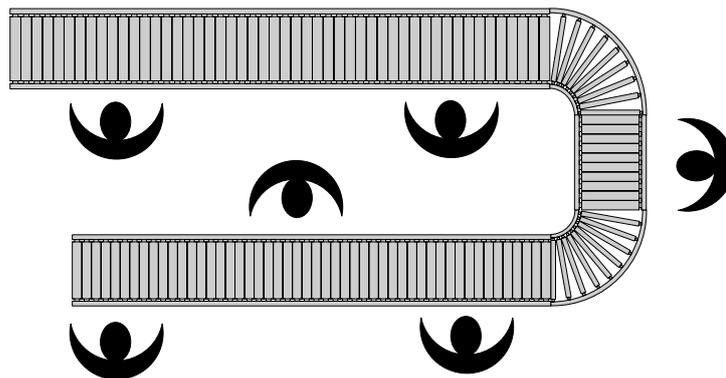


Figura 1 - Linha de produção em forma de “U”.

### 3.1 Vantagens do arranjo físico por produto

Dentre as vantagens do arranjo físico por produto, pode-se destacar a possibilidade de produção em massa com grande produtividade, a possibilidade de manter a carga de máquina e consumo de material constantes ao longo da linha de produção e o controle de produtividade facilitado.

As linhas de montagem geralmente têm alto custo de instalação e requerem equipamentos especializados. Isto aumenta o seu custo fixo, porém, amplia a produtividade, uma vez que as tarefas são altamente repetitivas, de baixa complexidade e, em muitos casos, automatizadas. É mais fácil obter uma condição de balanceamento da produção, uma vez que o mesmo tipo de produto está sendo fabricado na linha, a qualquer momento.

A velocidade do trabalho em uma linha de produção é controlada mais facilmente, quando a linha é motorizada. Dentro de certos limites, a supervisão pode aumentar ou diminuir a velocidade da própria linha, permitindo o aumento da produção ou, quando necessário, a sua redução.

### 3.2 Desvantagens do arranjo físico por produto

São desvantagens do arranjo físico por produto o alto investimento em máquinas, a eventual geração de ócio para os operadores, a falta de flexibilidade da linha, a fragilidade a paralisações e a subordinação aos gargalos.

Geralmente o grau de automatização deste tipo de arranjo costuma ser alto, com a utilização de máquinas específicas, que necessitam de manutenção freqüente. Algumas delas podem ser tão específicas que não apresentam outro tipo de serventia quando o produto a que foram destinadas é descontinuado. Devido ao alto grau de divisão do trabalho resultante da utilização de um *layout* por produto, quase sempre as operações de montagem são monótonas, pobres e repetitivas. Em função disto, o índice de absenteísmo geralmente é elevado e ocorrem longos períodos de afastamento por ordem médica, decorrentes de problemas nas articulações e outras lesões por esforço repetitivo.

O sistema tem longo tempo de resposta a mudanças no volume de produção, tanto quando é necessário aumentá-la, quanto nos casos em que se torna necessária a redução. O mesmo acontece no caso de introdução de um novo produto: os tempos de *setup* envolvidos são longos. Tal como acontece com os elos de uma corrente, basta que uma operação deixe de funcionar e a linha toda paralisa. Outra característica é que a operação mais lenta da linha, denominada gargalo produtivo, determina a velocidade de produção de toda a linha.

## 4 BALANCEAMENTO DA LINHA DE PRODUÇÃO

Mesmo levando em consideração a monotonia da rotina de um trabalho simples e altamente repetitivo, o maior benefício do arranjo físico por produto está, justamente, na divisão do trabalho em tarefas elementares, com curvas de aprendizagem próximas a 100%, ou seja, com tempo de aprendizado da tarefa desprezível. Uma linha de produção varia em extensão dependendo da quantidade de operações. Geralmente, o comprimento da linha e a quantidade de postos de trabalho são expressivos. Linhas de produção que variam de 30 a 200 funcionários são comuns na indústria. A seqüência da realização das tarefas em uma linha de produção é definida e imposta pelo produto a ser fabricado.

O balanceamento da linha de produção consiste na atribuição de tarefas às estações de trabalho que formam a linha, de forma que todas as estações demandem aproximadamente o mesmo tempo para a execução das tarefas a elas destinadas. Isto minimiza o tempo ocioso de mão-de-obra e de equipamentos. Como se pode observar na Figura 2, em uma linha de produção, o trabalho “escorre” de uma estação para outra.

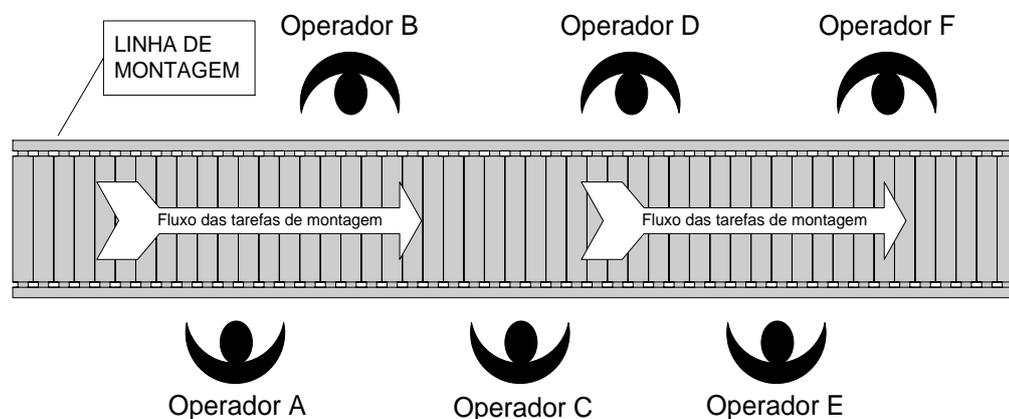


Figura 2 - Fluxo de operações em uma linha de produção.

O tempo de execução da tarefa destinada a cada um dos operadores em seus centros de trabalho deve ser o mesmo, ou o mais próximo possível, para que não exista atraso das demais atividades. As linhas com bom nível de balanceamento apresentam um fluxo suave e contínuo de trabalho, porque todos os operadores trabalham no mesmo ritmo, obtendo-se o maior grau de aproveitamento possível da mão-de-obra e dos equipamentos. A principal dificuldade em balancear uma linha de produção está na formação de tarefas, ou conjuntos de tarefas, que tenham o mesmo tempo de duração. Muitas vezes algumas tarefas longas não podem ser divididas e algumas tarefas curtas não podem ser agrupadas, o que dificulta o balanceamento.

Quando uma tarefa tem seu tempo de execução significativamente maior ou menor que o tempo médio de execução das demais tarefas da linha de montagem, a linha fica desbalanceada, podendo-se observar uma das seguintes situações:

- o operador mais carregado de trabalho tenta compensar. Quando existe uma ou mais tarefas com maior tempo de montagem, os operadores designados, não raro, tentam compensar a desvantagem, trabalhando em ritmo acelerado. Isto pode gerar problemas de fadiga e doenças do trabalho. É comum encontrar este problema em linhas de produção mais artesanais;
- são alocados os operadores mais ágeis e velozes para os postos de trabalho mais difíceis. Este procedimento, embora remedie a situação momentaneamente, pode trazer conseqüências indesejadas, como o afastamento do funcionário devido a problemas de saúde relacionados à intensidade exagerada de trabalho;
- a soma do tempo ocioso dos operadores envolvidos com tarefas de menor duração eleva os custos produtivos, já que não há aproveitamento completo da mão-de-obra disponível;
- a velocidade da linha de produção se limita à velocidade da operação mais lenta, que possui maior tempo de duração. Em outras palavras, a linha de produção fica subordinada à operação do “gargalo” produtivo.

#### **4.1 Procedimento para balanceamento de linha de produção**

Segue um conjunto de oito procedimentos para a realização do balanceamento em uma linha de produção:

1. dividir as operações de trabalho em elementos de trabalho que possam ser executados de modo independente;
2. levantar o tempo padrão para cada um dos elementos de trabalho, por meio de criteriosa cronoanálise;
3. definir a seqüência de tarefas adequada;
4. desenhar um diagrama de precedências;
5. calcular o tempo de duração do ciclo e determinar o número mínimo de estações de trabalho;
6. atribuir as tarefas às estações de trabalho, seguindo a ordem natural de montagem. A seguinte regra deve ser levada em consideração para determinar as tarefas que podem ser atribuídas a cada estação:
  - a. todas as tarefas precedentes já devem ter sido alocadas;
  - b. o tempo da tarefa a ser alocada não deve ser superior ao tempo que resta para a estação de trabalho;

- c. quando houver mais de uma tarefa que pode ser alocada, preferir à tarefa que tenha maior duração ou a que estiver mais no início da montagem, ou seja, que tenha mais tarefas subseqüentes;
  - d. quando não houver nenhuma tarefa que possa ser alocada para a estação de trabalho, passar para a estação de trabalho seguinte, até completar toda a linha de produção.
7. verificar se não existe outra forma mais adequada de balanceamento, buscando deixar a mesma quantidade de tempo ocioso em cada estação de trabalho;
  8. calcular o percentual de tempo ocioso e o índice de eficiência para a linha de produção.

Se todos os passos anteriores tiverem sido seguidos, uma alternativa de balanceamento para a linha, é a utilização de estações em paralelo para realizar operações elementares demoradas, que não podem ser subdivididas. Duas estações de trabalho paralelas, realizando a mesma operação, são capazes de dobrar a velocidade de produção daquele “elo” do processo produtivo.

#### 4.2 Indicadores na linha de produção

Os principais indicadores do desempenho de uma linha de produção são o tempo de ciclo, a capacidade de produção, o nível de produção, o número de estações de trabalho, o índice de ociosidade e o grau de utilização (AGUIAR, AGUIAR E WILHELM, 2006). A seguir é mostrado como são obtidos esses indicadores de uma linha de produção com exemplos sucintos dos cálculos envolvidos.

##### *Tempo de ciclo*

Tempo de ciclo é o tempo que uma linha de produção leva para que seja montada uma peça. Em outras palavras, é o tempo máximo permitido para cada estação de trabalho, antes que a tarefa seja passada para a estação seguinte. O tempo de ciclo mínimo é igual ao tempo necessário para a execução da tarefa individual mais demorada e o tempo de ciclo máximo é a soma dos tempos de todas as tarefas. Isto vai depender da forma de montagem e do balanceamento da linha de produção. A Figura 3 apresenta um exemplo.

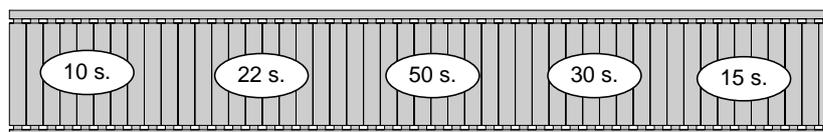


Figura 3 - Balanceamento de uma linha de produção.

No exemplo da Figura 3, a tarefa mais longa tem a duração de 50 segundos. Isto significa que esta linha pode produzir uma peça a cada 50 segundos, já que a operação mais lenta determina o ritmo das demais, ou ao menos daquelas que ocorrem depois dela, já que as tarefas anteriores poderiam estar sendo realizadas e gerando estoques na entrada do “gargalo”.

O tempo máximo de montagem do produto, no caso de se utilizar apenas uma estação de trabalho encarregada de realizar, seqüencialmente, todas as cinco tarefas, é dado pela soma dos tempos de todas as tarefas individuais, ou seja:  $10 + 22 + 50 + 30 + 15 = 127$  segundos (aprox. 2,12 minutos).

Levando-se em conta os tempos envolvidos no exemplo da Figura 3, é possível montar uma linha de produção composta de três estações de trabalho, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Montagem de estações de trabalho

Estação de trabalho	Tarefas	Tempo de trabalho (segundos)	Tempo total disponível (segundos)	Tempo ocioso (segundos)
A	1ª e 2ª operações	32	50	18
B	3ª operação	50	50	0
C	4ª e 5ª operações	45	50	5

Pode-se observar que, neste caso, o tempo de ciclo é de 50 segundos e que há ociosidade nas estações de trabalho A e C.

### **Capacidade de produção**

A capacidade de produção é obtida em função do tempo disponível e do tempo de ciclo. Em outras palavras, é o tempo de trabalho dividido pelo tempo necessário para produzir uma peça na linha de produção, conforme a Equação (1), a seguir.

$$\text{Capacidade de produção} = \frac{\text{Tempo disponível}}{\text{Tempo de ciclo}} \quad (1)$$

Supondo que, no exemplo de linha de produção com três estações de trabalho, a empresa trabalhe oito horas por dia, ou seja, 480 minutos por dia, a um ritmo de produção de uma peça a cada 0,83 min (50 s), então, a capacidade de produção é de 576 peças por dia, como se pode observar na equação a seguir.

$$\text{Capacidade de produção} = \frac{480}{0,8333} \cong 576 \text{ peças por dia}$$

### **Nível de produção desejado**

Se a demanda for superior a 576 peças por dia, será necessário reconfigurar a linha de produção, aumentando o número de estações de trabalho. Para isto, deve-se calcular qual o tempo de ciclo necessário para atender à demanda, conforme a Equação (2) a seguir.

$$\text{Tempo de ciclo desejável} = \frac{\text{Tempo disponível}}{\text{Demanda}} \quad (2)$$

Supondo que exista a demanda de 900 peças por dia, neste exemplo, o tempo de ciclo deve ser reduzido para aproximadamente 0,5333 minutos por peça, conforme calculado na equação abaixo.

$$\text{Tempo de ciclo desejável} = \frac{480}{900} \cong 0,5333 \text{ min por peça}$$

Ou, convertendo minutos em segundos, aproximadamente 32 segundos.

### **Número de estações de trabalho**

O número necessário de estações para atender a demanda, no caso de todas as atividades serem realizadas, seqüencialmente, pelos mesmos recursos produtivos (mão-de-obra + equipamentos) pode ser calculado usando a Equação (3) a seguir.

$$\text{Número de estações de trabalho} = \frac{\sum \text{tempos individuais}}{\text{Tempo de ciclo}} \quad (3)$$

No exemplo, obtém-se 3,97 estações de trabalho para atender à demanda de 900 peças por dia, conforme o cálculo a seguir.

$$\text{Número de estações de trabalho} = \frac{2,12}{0,5333} \cong 3,97 \text{ estações de trabalho}$$

Este é um número mínimo teórico que, na verdade, serve apenas para indicar que, com menos de quatro estações de trabalho, não é possível atender à demanda de 900 peças por dia. A quantidade real de estações de trabalho vai depender da configuração da linha de montagem e das possibilidades de balanceamento. No caso do exemplo da linha de produção apresentada na Figura 3, o número teórico não poderia ser obtido, se considerarmos as cinco operações como sendo operações elementares e, portanto, indivisíveis, uma vez que isto não permitiria estabelecer o balanceamento teórico perfeito (sem ociosidade em nenhuma estação de trabalho).

### ***Índice de ociosidade***

Por melhor balanceada que a linha possa estar sempre existem estações de trabalho com atividades que demandam menor tempo de produção, o que acarreta na diminuição do ritmo do operador ou em paradas para esperar que as outras estações concluam a sua parte do trabalho. Em todo caso, trata-se de tempo ocioso, que pode e deve ser medido e controlado. O percentual de tempo ocioso na linha de produção é dado pela soma dos tempos ociosos de todas as estações que tiverem carga de trabalho inferior à maior carga possível, dividida pelo tempo total de trabalho sobre o produto, que é dado pelo número de estações de trabalho multiplicado pelo tempo de ciclo, conforme mostrado na Equação (4).

$$\% \text{ de ociosidade} = \frac{\sum \text{tempos ociosos das estações}}{\text{Número de estações} \times \text{tempo de ciclo}} \quad (4)$$

O exemplo utilizado tem 23 segundos de ociosidade (Tabela 1), que ocorrem nas estações de trabalho 1 e 3. O tempo de ciclo corresponde a 50 segundos e são três as estações de trabalho, logo, o índice de ociosidade é de aproximadamente 15,33%, como se pode observar abaixo.

$$\% \text{ de ociosidade} = \frac{\sum \text{tempos ociosos}}{\text{Número de estações} \times \text{tempo de ciclo}} = \frac{23}{3 \times 50} \cong 0,1533$$

### ***Grau de utilização***

O grau de utilização representa o quanto da mão-de-obra e dos equipamentos disponíveis na linha de produção está sendo utilizado. É o complemento do índice de ociosidade para atingir 100%. A Equação (5) ilustra a situação.

$$\text{Grau de utilização} = 1 - \text{Índice de ociosidade} \quad (5)$$

Para o exemplo anterior, tem-se um grau de utilização de 84,67%, como calculado abaixo.

$$\text{Grau de utilização} = 1 - 0,1533 = 0,8467$$

## 5 CASO REAL E RESULTADOS

Certa empresa do ramo industrial é fornecedora de bombas d'água de uma grande montadora de máquinas de lavar. A empresa necessita instalar uma linha de montagem para um novo tipo de bomba d'água, a pedido da montadora. A demanda estimada para este produto é de 150 a 200 peças por dia. O analista de processos dividiu as tarefas de montagem e estimou os tempos de trabalho, conforme a Tabela 2, a seguir. Deve-se levar em conta que a empresa trabalha um turno de oito horas por dia. São realizados os oito passos indicados no item 4.1 para o desenvolvimento do exemplo aplicado.

A Tabela 2, que contém os dados coletados pelo analista de processos, corresponde aos passos 1, 2 e 3 para o procedimento de montagem e balanceamento da linha de produção.

Tabela 2 - Divisão do trabalho em operações

Operação	Descrição	Tempo (segundos)	Operações predecessoras
A	Montar espaçadores na capa protetora	30	-
B	Colocar arruelas de pressão nos espaçadores	55	A
C	Colocar adesivo nos espaçadores	28	B
D	Montar capa protetora da bomba no motor	6	B
E	Colocar retentor no corpo inferior da bomba	34	B
F	Montar corpo inferior no motor	35	C, D
G	Colocar retentor de porcelana no rotor	15	E
H	Montar rotor na bomba	22	E
I	Montar conjunto parafuso, arruela e anel "oring"	12	-
J	Montar conjunto na bomba	6	I
K	Colocar corpo superior da bomba	25	J
L	Colocar quatro parafusos rosca fina	30	J
M	Colocar quatro parafusos rosca atarraxante	15	L
N	Colocar tampa da recirculação	15	L
O	Testar funcionamento	60	K, M, N, F, G, H
<b>Tempo total:</b>		<b>388 (s) <math>\cong</math> 6,47 (min)</b>	

A montagem da bomba é dividida em 15 operações, de forma que todas podem ser realizadas de forma individual (representadas pelas letras de A até O). A Tabela 2 informa o tempo de execução de cada tarefa. Pode-se notar que a tarefa B só pode ser realizada depois que a tarefa A tiver sido concluída. As tarefas C, D, e E dependem da conclusão de B. A

tarefa F só pode ser realizada depois que as tarefas C e D estiverem prontas e assim por diante. O diagrama de precedências é representado na Figura 4, abaixo.

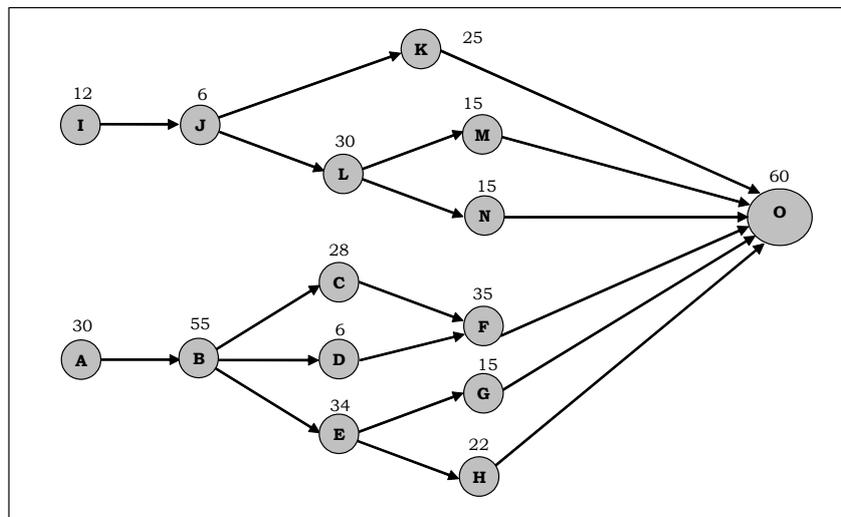


Figura 4 - Diagrama de precedência

Como o tempo disponível para produção é de 480 minutos de trabalho diário e a demanda máxima é de 200 peças/dia:

$$\text{Tempo de ciclo desejável} = \frac{\text{Tempo disponível}}{\text{Demanda}} = \frac{480}{200} = 2,4 \text{ min} = 144 \text{ s por peça}$$

Obtém-se o nível de produção desejado, ou seja, 144 segundos por peça. A seguir, calcula-se o número de estações necessárias na linha de produção.

$$\text{Número de estações} = \frac{\sum \text{tempos individuais}}{\text{Tempo de ciclo}} = \frac{6,47}{2,4} \cong 2,69$$

Encontra-se o número de mínimo de estações como sendo 2,69. No entanto, como este valor é um número teórico, que não pode ser obtido na prática, já que é impossível se definir um número fracionário de estações, deve-se arredondar para 3 estações.

Seguindo-se a ordem natural de montagem, pode-se atribuir as tarefas às estações conforme ilustrado na Tabela 3, a seguir.

Tabela 3 - Atribuição de tarefas às estações de trabalho

Estação de trabalho	Tempo restante por estação (segundos)	Tarefas possíveis de alocar	Tarefas alocadas	Tempo ocioso (segundos)
1	144	A, I	A, I	
	102	B, J	B, J	
	41	C, D, E, K, L	C, D	7
2	144	E, F, K, L	E, F, K, L	
	20	G, M, N	G	5
3	144	H, M, N	H, M, N	

	92	O	O	32
			<b>Total</b>	<b>44</b>

O balanceamento proposto na Tabela 3 apresenta as estações 1, 2 e 3 com ociosidades de 7, 5 e 32 segundos, respectivamente. A estação 2 representaria o “gargalo”, no caso de a demanda aumentar a ponto de ser necessário produzir mais de 200 peças por dia, já que apresenta a menor ociosidade (apenas 5 segundos). Com este *layout* é possível montar uma bomba d’água a cada 139 segundos (144-5), ou 2,32 min, o que permitia uma produção diária de até 207 bombas (480 min / 2,32 min), desde que não se deixasse a estação 2 parar um segundo sequer.

A Tabela 4, apresentada a seguir, distribui as tarefas individuais de modo a fazer com que as 3 estações de trabalho possuam ociosidade aproximadamente igual, para produzir a quantidade diária para qual foram dimensionadas (200 unidades).

O balanceamento proposto na Tabela 4 apresenta a estação 3 como a mais requisitada, com uma ociosidade de 13 segundos, no caso de se produzir 200 unidades por dia. Esta distribuição de tarefas permite utilizar um tempo de ciclo de  $144 - 13 = 131$  segundos, quando a demanda aumenta, possibilitando a produção de uma bomba d’ água a cada 131 segundos (ou 219 bombas por dia).

Tabela 4 - Nova atribuição de tarefas às estações de trabalho

Estação de trabalho	Tempo restante por estação (segundos)	Tarefas possíveis de alocar	Tarefas alocadas	Tempo ocioso (segundos)
1	144	A, I	A, I	
	102	B, J	B, J	
	41	C, D, E, K, L	K	16
2	144	L, C, D, E	L, C, D	
	80	E, M, N, F	M, N, F	15
3	144	E	E	
	110	G, H	G, H	
	83	O	O	13
			<b>Total</b>	<b>44</b>

O tempo ocioso de uma linha de montagem com o *layout* proposto a partir da Tabela 4 é muito pequeno, caso se decida produzir a plena capacidade. É claro que isto só faz sentido se houver demanda para toda a produção, uma vez que, se a ociosidade da estação 3 for toda aproveitada, como já foi calculado acima, são produzidas 219 bombas.

$$\%de\ ociosidade = \frac{(16-13)+(15-13)+(13-13)}{3 \times 131} \cong 0,01272$$

Portanto uma distribuição otimizada da linha de produção gera um índice de ociosidade de aproximadamente 1,27% ou, ainda, um grau de utilização de aproximadamente 98,73%.

### 5.1 Vantagens do estudo de caso no curso

O estudo de casos reais aplicados no ensino de engenharia desperta o interesse e a motivação nos estudantes. A possibilidade de tratamento de um caso real de otimização em uma empresa e a sua possível aplicação, tornou o desenvolvimento prático (simulações em

sala de aula) um desafio na melhoria da eficiência das linhas de produção da empresa. Os resultados das atividades em sala comprovaram que a utilização de casos reais, e que fazem parte do cotidiano dos alunos, podem ser fator diferencial no envolvimento dos estudantes e na melhoria do processo ensino/aprendizagem.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS/CONCLUSÕES

Este trabalho considerou o embasamento teórico como fundamento no processo ensino-aprendizagem, associando teoria a uma aplicação prática de balanceamento de uma linha de produção de uma empresa fornecedora de bombas d'água da cidade de Curitiba. Um dos alunos de um curso ministrado por um dos autores, que é o analista de processos da empresa em que se baseou o estudo, colaborou com dados reais, o que despertou a motivação dos colegas para ajudar a resolver o problema e facilitou significativamente o aprendizado pelos alunos.

O tratamento e balanceamento de uma linha de produção utilizando a metodologia exposta envolve cálculos simples e de fácil entendimento o que permitiu que todos os indicadores fossem submetidos a novas análises (simulações), contribuindo para a fixação dos conteúdos propostos.

A construção do diagrama de precedências pôde ser realizada manualmente, pois, no exemplo aplicado, o número de tarefas era pequeno. Contudo, ao se deparar com um projeto onde o número de atividades seja elevado, recomenda-se a utilização do programa MS-Project da Microsoft, que é um gerenciador de projetos, apresentado aos alunos em aulas posteriores.

A mudança teórica na linha de produção (*layout*) da empresa gerou um reduzido índice de ociosidade (1,27%) e, por conseqüência, um elevado grau de utilização (98,73%), o que acentuou a vontade de aplicação prática na empresa e confirmou a importância de estudos de balanceamento de linhas de produção.

## 7 REFERÊNCIAS

AGUIAR, G. F.; AGUIAR, B. C. X. C.; WILHELM, V. E. Obtenção de Índices de eficiência para a metodologia *data envelopment analysis* utilizando a planilha eletrônica Microsoft Excel. **Revista Da Vinci**. Curitiba, v.3, n.1, p. 157-169, 2006.

CORRÊA, H. L; CORRÊA C. A. **Administração de produção e operações: Manufatura e serviços**. Uma abordagem estratégica. São Paulo: Atlas, 2004.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. **Fundamentos da administração da produção**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira, 2001.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo: Edgard Blucher: 2000.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

STEVENSON, W. J. **Administração das operações de produção**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

## **LAYOUT AND PRODUCTION LINE BALANCING SIMULATIONS: THE UTUDY OF A REAL SITUATION IN TEACHING ENGINEERING STUDENTS**

**Abstract:** *This paper briefly presents different layout possibilities for manufacturing operations and then focuses on the discussion of production lines. This is done in order to present the solution for a real life problem faced by one of the students in class, who was in charge of improving the efficiency of a manufacturing process in the company where he works. The fact that it was a real situation, involving a company in town and one of the class mates, who was the process analyst, called the attention of the other students who were motivated to help him with his challenge. The instructor provided all necessary information and theoretical references so that the students could carry out simulations and decide on the best possible solution for the case. They provided several different solutions, which improved as they became better acquainted with the existing literature on layout design and production line balancing. The exercise proved that the use of real cases, which are part of the students' environment, is an efficient way of involving them and improving the learning process.*

**Key-words:** *layout, production line balancing, operations management teaching*