

# Balanceamento de uma linha de manufatura integrando análise gbo e simulação computacional: estudo de caso em uma empresa de linha branca

*Balancing a manufacturing line integrating gbo analysis and computational simulation: a case study in a white line company*

Matheus Moreira de Azevedo<sup>1</sup> - Universidade Federal do Amazonas  
Ely Sena de Almeida<sup>2</sup> - Universidade Federal do Amazonas

**RESUMO** Um dimensionamento adequado dos recursos produtivos é essencial para a competitividade das empresas frente ao mercado globalizado. Em situações onde a demanda de produtos diminuiu, as organizações dependem da racionalização dos recursos internos para aumentar o seu potencial competitivo. A primeira necessidade de uma linha de produção, quando este cenário se apresenta, balancear as atividades da linha. Este artigo propõe uma sistemática para balanceamento de uma linha de manufatura integrando as abordagens: Gráfico de Balanceamento Operacional (GBO) e Simulação Computacional, a fim de avaliar a utilização dos recursos em uma indústria do segmento de produtos da linha branca. A partir da metodologia proposta, adequou-se a os recursos da linha de produção ao novo cenário e ao otimizar suas operações, reduziu-se em mais de 43% a necessidade de recursos da linha de produção.

**Palavras-chave:** Análise GBO. Simulação Computacional. Linha de Produção.

**ABSTRACT** *A suitable e dimensioning of productive resources is essential for the competitiveness of companies acting in the globalized market. In situations where demand for products has declined, organizations rely on rationalizing internal resources to increase their competitive potential. The first necessity of a production line, when this scenario occurs, is to balance the activities of the line. This paper proposes a system for balancing a manufacturing line integrating the following approaches: Operational Balancing Graph (GBO) and Computational Simulation, in order to evaluate the resource utilization. Based on the proposed methodology, the production line was adapted to the new scenario and, by optimizing its operations, the need for production line resources was reduced by more than 43%.*

**Keywords:** GBO analysis. Computational Simulation. Production line.

1. Av. General Rodrigo Octávio, 6200, Coroado I, 69080-900, matheusmoreiranib@gmail.com; 2. elysenaa@ufam.edu.br

AZEVEDO, M. M.; ALMEIDA, E. S. Balanceamento de uma linha de manufatura integrando análise gbo e simulação computacional: estudo de caso em uma empresa de linha branca. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 15, nº 1, jan-mar/2019, p. 210-230.

DOI: 10.15675/gepros.v14i1.2109

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de linha branca sofreu um grande recesso com a crise brasileira de 2015, no segmento de Lava Louças a demanda mensal caiu aproximadamente 50%. Antes da mesma a redução da demanda era em média de 13.187 produtos. Com o cenário atual considerando a carteira de pedidos do primeiro trimestre e a prospecção do resto do ano, a demanda passou a ser 7.419 lava-louças/mês. Com a demanda de produtos diminuindo, as organizações dependem da racionalização dos recursos internos para aumentar o seu potencial competitivo.

Ao realizar o balanceamento das atividades da linha é possível utilizar *softwares* de modelagem e simulação computacional, os quais possibilitam a visão sistêmica do sistema produtivo e são capazes de demonstrar o comportamento da célula de manufatura por meio de recursos de animação e de análises estatísticas (CARSON, 2004).

A empresa na qual se realizou o estudo adota uma sistemática para balanceamento determinístico, baseada na técnica de balanceamento GBO, que apresenta limitação de não possibilitar a análise das variáveis da linha de produção. Por tanto, a simulação complementa este estudo como forma de confirmar a teoria do GBO. O tema deste estudo é o balanceamento de célula de manufatura, em uma empresa multinacional que atua no segmento de produtos da linha branca, utilizando em conjunto as metodologias GBO e simulação computacional.

Portanto, o objetivo geral deste artigo é propor uma sistemática para balanceamento de célula de manufatura que integra as abordagens GBO e simulação computacional, avaliando os impactos que a sistemática de balanceamento produz na utilização dos recursos de uma linha de produção ao otimizar o uso dos recursos da linha de montagem. Neste estudo, de forma simples, foram, também, analisados os impactos econômicos resultantes do balanceamento.

Este trabalho deixa como contribuição a conclusão de que uma sistemática integrada da técnica de GBO com a simulação computacional permite avaliar de forma sistêmica a célula de manufatura, e assim, ter um melhor entendimento das variabilidades dos processos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Sistema Toyota de produção

O sistema *just-in-time* (JIT), ou sistema Toyota de Produção, foi desenvolvido no Japão, na *Toyota Motor Company*, onde dois engenheiros - Eiji Toyoda

e Taichi Ohno - realizaram estudos que resultaram no desenvolvimento de práticas denominadas operações enxutas (CORRÊA; CORRÊA, 2012). Por isso este sistema também pode ser chamado de Produção Enxuta, e surgiu devido à necessidade de diminuir consideravelmente os gastos em virtude das dificuldades econômicas na qual o país se encontrava no início dos anos 70.

Slack et al. (2008, p. 482) define este processo da seguinte maneira: “o JIT significa produzir bens e serviços exatamente no momento em que são necessários – não antes para que não formem estoques, e não depois para que seus clientes não tenham que esperar”.

O sistema de produção da Toyota é formado por quatro regras implícitas que guiam a concepção, o projeto, operação e melhoria de qualquer atividade, relação ou fluxo para o produto e serviço (SPEAR; BOWEN, 2002 apud MARTINS):

1. Todo trabalho deve ser altamente especificado em seu conteúdo, sequência, tempo e resultado;
2. Toda relação cliente-fornecedor deve ser direta;
3. O fluxo de trabalho e processo deve ser simples e direto; e
4. Qualquer melhoria deve ser feita pelo método científico, e no nível mais baixo da organização.

Estas quatro regras requerem que as atividades, relações e fluxos de trabalho e processo possam sinalizar problemas automaticamente e, de acordo com isto, que este sistema se torna flexível e adaptável às mudanças.

Segundo Ohno (1999), o Sistema Toyota de Produção foi constituído por dois princípios direcionadores para facilitar o processo crítico de identificação e eliminação de desperdícios: o primeiro é o *Just in time* (JIT), produzir somente o que é necessário, na quantidade necessária, e quando for necessário; o segundo é o *Jidoka*, ou automação, que busca fazer com que qualquer problema de produção seja imediatamente evidenciado e parar de produzir quando os desvios forem detectados.

A aplicação do sistema JIT torna possível a obtenção de maiores lucros e melhor retorno sobre o capital investido, decorrente de redução de custos, de estoques e ações que gerem melhoria do processo de controle de qualidade (MARTINS et al., 2002).

O JIT necessita de condições favoráveis para que obtenha o seu desempenho máximo esperado, tais como: fluxo hábil de material, elevado índice de qualidade na produção, ter fornecedores e equipamentos com o mesmo nível de excelência para que o processo siga sem interrupções assim como *layout* que permita um fluxo contínuo.

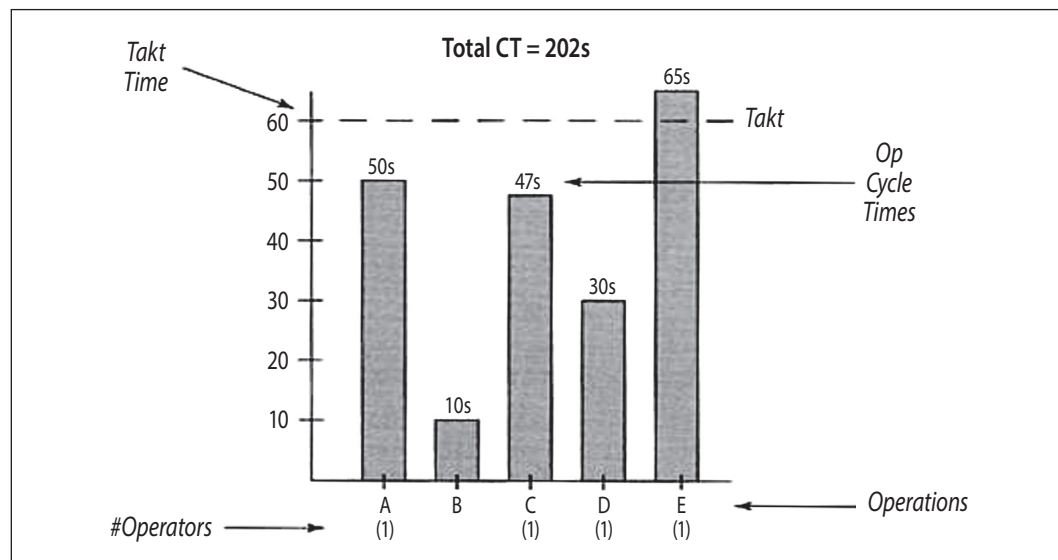
## 2.2. Gráfico de balanceamento operacional

Dentro do âmbito empresarial, faz-se necessário à obtenção de diferenciais como fator de competição. Através da melhoria contínua de processos e gestão, encontra-se a melhor forma de alcançar esses diferenciais e, o balanceamento de linha de produção é uma das técnicas aplicadas para melhorar o processo e simplificar a gestão (DEMBOGURSKI et. al., 2008).

O Gráfico de Balanceamento de Operador (GBO), também conhecido como *Yamazumi board*, é usado para determinar quais as tarefas que cada operador deve realizar em seu posto de trabalho. As atividades são divididas em operações que agregam valor e operações que não agregam valor ao produto (GOMES et al., 2008).

Para construção do GBO, o primeiro passo é cronometragem cada elemento de trabalho separadamente de toda a sequência de trabalho executada pelo operador. A Figura 1 apresenta um exemplo de GBO, no qual é possível verificar a linha do *takt time*, os tempos de ciclo abaixo do *takt* (operador A, B, C e D), a o tempo de ciclo acima do *takt* (operador E), demonstrando ser uma ferramenta visual para verificação e análise de desperdícios.

Figura 1 - Gráfico de balanceamento dos operadores (GBO).



Fonte: Tapping et al.(2002).

Após o mapeamento e a análise do “estado atual”, é necessário iniciar o *kaizen* de todas as atividades que não agregam valor na linha de produção, para em seguida redistribuir o trabalho. Ao se desenhar o “estado futuro” da linha, deve-se levar em conta as melhorias propostas durante a fase do *kaizen* (ROTHER; HARRIS, 2002).

Tubino (2007) define balanceamento como um conjunto de atividades que serão executadas de forma a garantir um tempo aproximadamente igual entre os postos de trabalho. Este tempo é definido como *Takt Time* ou tempo meta. Blati; Cordeiro; Kelenxy (2010) referencia *Takt time* como a relação entre o tempo disponível para fabricação de um determinado item e sua demanda, objetivando adequar a produção á demanda existente, conforme a Fórmula (1):

$$TT = \frac{\sum Ttd(s)}{Dm (pç)} \quad (1)$$

Onde, Ttd é a somatória do tempo de trabalho disponível no período e Dm é a demanda do mercado no mesmo período. O Ttd e Dm são dados respectivamente em segundos e em peças.

O tempo máximo permitido de cada estação de trabalho antes que a tarefa seja passada para estação seguinte é definida como tempo de ciclo (GRAEMI; PEINADO, 2007). Este é determinado pelo *Takt Time* e o número de operadores da etapa. Baseado na mesma fórmula, conhecendo o tempo de ciclo e o *Takt Time*, obtem-se o número de operadores, conforme Fórmula (2).

$$TC = \frac{TT(s)}{N^{\circ} \text{ operadores}} \quad (2)$$

Onde TC é o tempo total de ciclo e TT o *takt time*. A perda por balanceamento é um ponto importante, definida por Slack; Chamber e Johnston (2008) como demonstra a formulação (3):

$$\%OC = \frac{\sum TO(s)}{TC(s)} \quad (3)$$

Em que %OC é a porcentagem de ociosidade, TO é tempo ocioso em cada posto de trabalho e TC é o tempo de ciclo.

Enfim, o processo do balanceamento da linha de produção deixa em evidência seu gargalo, que é o recurso cuja capacidade é menor ou igual à demanda colocada nele (GOLDRATT; COX, 2014). Assim, uma linha de produção desbalanceada leva a sobrecarga de um posto de trabalho em relação ao outro, levando ao aumento de ociosidade no processo.

## 2.3. Benefícios da simulação computacional

A simulação computacional teve início na década de 50. Nesta época, devido à dificuldade de compreensão da programação, somente os profissionais da área conseguiam fazer e compreender seus respectivos resultados. Sendo assim, a simulação na maioria das vezes era descrita através de fórmulas matemáticas, na tentativa de seguir o sistema real em estudo (PRADO, 2010).

Já na década de 60, introduziram-se novas linguagens, como a GPSS. Tornando-se muito conhecida, devido ao aumento do uso de computadores (PENNA, 2009). Hoje, os computadores têm competência de operar diversos programas e linguagens ao mesmo tempo, se beneficiando da simulação visual que facilita a compreensão dos sistemas (VOGEL, 2011).

A simulação tem sido cada vez mais vista e colocada como uma técnica que permite aos analistas dos mais variados seguimentos (administradores, engenheiros, biólogos, técnicos em informática, etc.) encontrar soluções, aos problemas com os quais enfrentam no dia a dia pois sua utilização oferece uma análise, englobando diversas óticas e não somente a da redução de custos (FERREIRA et al., 2016).

O aumento da utilização dessa ferramenta está associado, à facilidade de uso e aprimoramento dos ambientes de desenvolvimento de modelos computacionais. Com interfaces gráficas mais fáceis de compreensão e, fazendo um maior uso de animação dos processos que estão sendo analisada, a simulação deixou de ser aplicada apenas “quando tudo mais já foi tentado” (FREITAS FILHO, 2008)

A simulação pode ser definida como a imitação de um sistema real, através de um modelo computacional, para avaliação e melhoria de seu desempenho (HARREL et al., 2000). Já para Law e Kelton (1991), a simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado, em que seu comportamento pode ser estudado sob várias condições e sem a presença de riscos físicos ou grandes custos envolvidos. Sendo assim, para sistemas dinâmicos, complexos e de eventos discretos, como os de manufatura, a simulação computacional é uma ferramenta bastante adequada (PIDD, 1998).

A simulação computacional permite analisar sistemas que ainda não foram montados, ajudando no desenvolvimento de projetos antes que estes estejam prontos. Um modelo de simulação é executado ao invés de resolvido, diferindo-se dos modelos de otimização. Na simulação, permitem-se análises a todo o momento do sistema, de acordo com que novas percepções sobre este são descobertas (FREITAS FILHO, 2008).

Desta maneira, a simulação tem sido empregada de forma crescente para auxiliar a tomada de decisões por meio da modelagem, análise e projeto de sistemas complexos, a fim de caracterizar o impacto de mudanças de parâmetros no desempenho do sistema (BANKS et al., 2005; GARZA-REYES et al., 2010; SARGENT, 2009).

Law (2009) destaca o fato de a simulação ser uma alternativa à experimentação direta no sistema real. Segundo este autor, a realização de experimentos no sistema existente pode gerar altos custos, comprometer prazos de entrega de produtos, alocação de pessoas e recursos ou até mesmo ser impraticável.

Nesse sentido, Kleijnen et al. (2005) afirmam que muitos praticantes de simulação podem conseguir mais de suas análises por meio da aplicação do planejamento de experimentos (DOE). Os benefícios do planejamento de experimentos na simulação incluem a possibilidade da melhoria do desempenho no processo de simulação, evitando a técnica da tentativa e erro para a busca de soluções (MONTEVECHI et al., 2007).

O crescimento da capacidade de processamento dos computadores pessoais tem favorecido o acesso aos *softwares* de simulação computacional, entretanto a construção do modelo requer treinamento especial e o aprendizado se dá ao longo do tempo, com a aquisição de experiência (BANKS; CARSEN, 1984). Vieira (2006) relaciona algumas vantagens da simulação, entre elas destacam-se:

- Reduzir custos de estoques;
- Aumentar o desempenho dos processos;
- Garantir que novos processos sejam testados e aprovados;
- Alcançar o mais alto nível de otimização de recursos e de pessoal;
- Obter os melhores resultados de logística com sua cadeia de fornecedores;
- Usar o modelo para prever o comportamento futuro, isto é, os efeitos produzidos por alterações no sistema.

### 2.3.1. Simulação com o *software* Arena®

O Arena® é um *software* estatístico desenvolvido pela *Rockwell Software*. A modelagem no Arena® acontece em um ambiente que engloba lógica e animação com ferramentas de análise estatística.

Os fabricantes do Arena® disponibilizam o *software* em versão grátis voltada para estudantes, o que o torna acessível a realização trabalhos acadêmicos



utilizando modelagem e simulação. Esse contexto dá ao *software* utilizado para fins de aprendizado, caráter facilitador no desenvolvimento de estudos e ao mesmo tempo limitador das atividades.

Segundo Fioroni (2007) o funcionamento conceitual de um modelo no Arena® acontece da seguinte maneira: o usuário descreve, durante a construção do modelo, todos os elementos estáticos como recursos e outros, e também as regras de comportamento a serem seguidas. Ao se iniciar a simulação, os elementos dinâmicos (entidades) entram no modelo, interagem com os elementos estáticos e circulam conforme as regras que foram modeladas.

O *software* Arena® adota uma estrutura de *templates* que proporciona facilidade de uso. Os *templates* representam um conjunto de ferramentas de modelagem que permitem ao usuário descrever o comportamento do processo em estudo de forma visual e interativa, sem a necessidade de programação. Este programa possui um conjunto de blocos que são utilizados para representar uma aplicação real (PRADO, 2010).

O Arena® possui algumas ferramentas importantes, como o *Input Analyzer* e *Output Analyzer*, onde o primeiro analisa dados reais do processo, escolhendo a melhor distribuição estatística que se aplica a eles. Já o *Output Analyzer*, é uma ferramenta que permite analisar os dados obtidos durante a simulação (PRADO, 2010).

Os elementos básicos da modelagem em Arena® são as entidades que representam as pessoas, objetos, transações, etc, que se movem ao longo do sistema; as estações de trabalho que demonstram onde será realizado algum serviço ou transformação, e por fim, o fluxo que representa os caminhos que a entidade irá percorrer ao longo de estações (FERNANDES et. al., 2006).

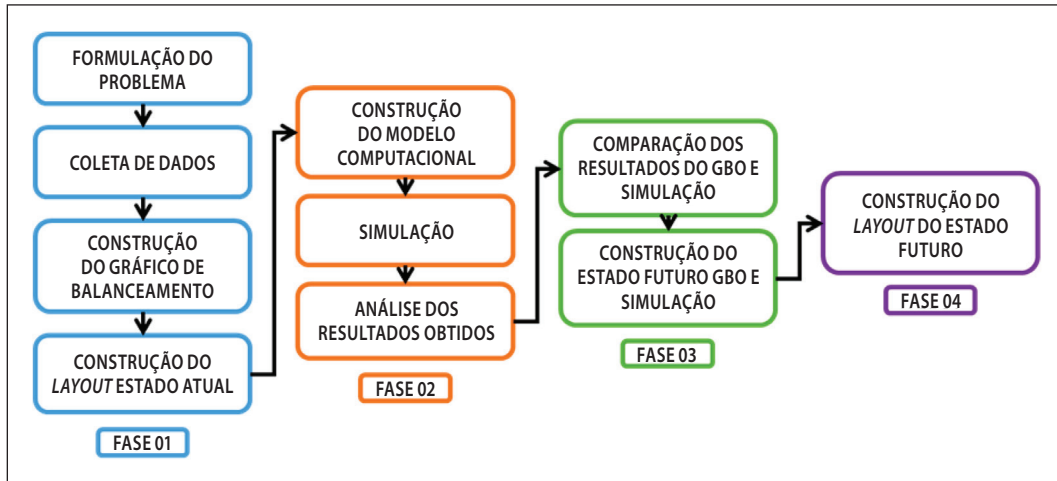
### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1. Objeto de estudo

Utilizou-se um balanceamento puramente determinístico, na Fase 1 co-lheu-se dados para o gráfico de balanceamento operacional (GBO). Na Fase 2, integra-se o balanceamento com análises computadorizadas, por meio da utilização da simulação computacional. Na terceira e quarta fase, os resultados são analisados e propõem-se melhorias no processo de balanceamento estudado. A metodologia proposta para integração dos modelos de balanceamento está estruturada em quatro fases, apresentadas na Figura 2.



Figura 2 - Fluxo de Metodologia.



Fonte: Os autores (2017).

A formulação do problema iniciou com o cálculo do novo *Takt-time*, o anterior era de 45seg./peça, o número de horas disponíveis por turno corresponde a 7,16 horas (7h:10min), então em segundos tem-se 25.800 disponíveis por dia.

A linha de montagem trabalha em um turno por dia, 23 dias mensais, portanto 593.400 segundos disponíveis. Considerando a carteira de pedidos de 7,419mil Lava-louças/mês, é possível calcular o *Takt-time*, ver Fórmula (4):

$$TT = \frac{593.400(s)}{7419(pç)} = 80^s/pç \quad (4)$$

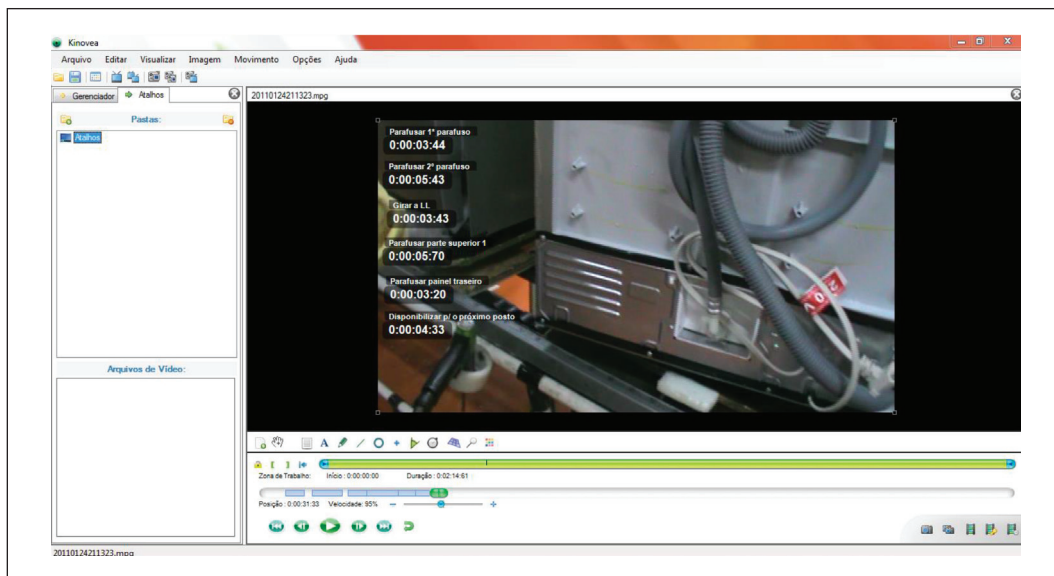
A cada 80 segundos um produto deve ser produzido pela linha, ou seja, em um hora serão 45 produtos. Com a demanda reduzida, fez-se necessário balancear a linha de montagem para não se ter gastos além do necessário. A partir da definição do problema, seguiu-se para a fase de coleta de dados.

### 3.2. Procedimentos de coleta de dados

Gerou-se vídeos das atividades de todos os operadores, pois esses registros são importantes para se ter uma análise dos tempos. Os vídeos gerados foram analisados no *software Kinovea*<sup>®</sup>, um programa especializado em edição de vídeos esportivos que contém diversos recursos utilizados para detalhamento de imagens.

Mostra-se útil para engenheiros de processos para examinar os tempos com precisão, pois oferece recursos que possibilitam a criação de intervalos, inserção de cronômetros, assim como destacar as atividades e movimentos, marcar trajetórias, comparar vídeos, escrever comentários, dentro outros, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Interface Kinevoa®.



Fonte: Os autores (2017).

### 3.3. Procedimentos de análise de dados

#### 3.3.1. Cenário atual

A partir da aferição dos vídeos, construiu-se o GBO para cada operador, preenchendo uma tabela discriminando as atividades, o tempo, posto e a relevância daquela atividade, tendo como referência o tempo *takt-time*. O Quadro 1 apresenta a operação de um posto, sendo que este procedimento foi replicado para os demais postos da linha de montagem.

Quadro 1 - GBO atual Posto N° 10.

Nº	Atividade	Tempo	Valor	Posto
1	Pegar cuba e posicionar na bancada	1s	2-NVan	P-10
2	Pegar 2 tampas de exaustão e posicionar na cuba	7s	1-VA	P-10
3	Pegar dispositivos e pressionar tampas de exaustão	3s	2-NVan	P-10
4	Fixar as tampas de exaustão com 1 parafuso cada uma	9s	1-VA	P-10
5	Girar a cuba	1s	2-NVan	P-10
6	Pegar e posicionar fita metálica na cuba	7s	1-VA	P-10
7	Pegar e posicionar etiqueta de atenção no produto	4s	1-VA	P-10
8	Pegar produto e posicionar para o próximo posto	3s	2-NVan	P-10

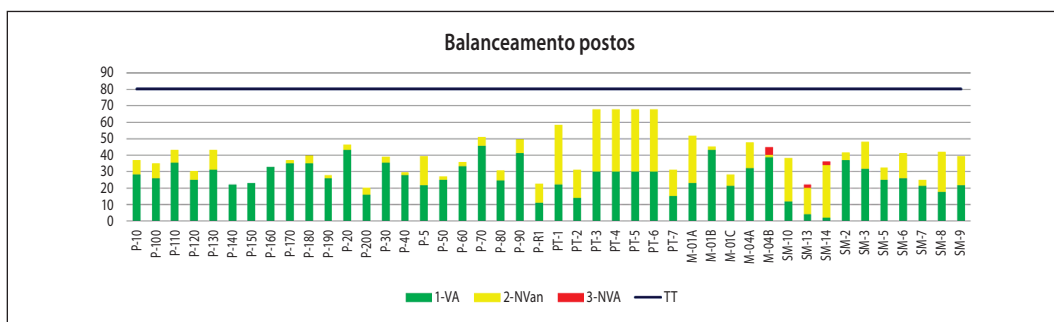
Fonte: Os autores (2017).

O Quadro 01 está dividido em cinco colunas, a primeira “Nº” mostra as o número de atividades para produzir o SKU (*Stock Keeping Unit*), ou Unidade Mantida em Estoque, seguida pela descrição das atividades, o tempo necessário para realizá-las, na coluna denominada “Valor”, aponta se atividade agrega ou não agrega valor ao produto (1-VA: agrega valor; 2-NVan: não agrega valor mas é necessário; e 3-NVA: não agrega valor ao cliente), a última é a identificação do posto de trabalho.

Com os tempos de ciclo de cada posto e o *Takt-time* da linha definidos, torna-se possível construir o GBO, o objetivo deste gráfico é mostrar os tempos de ciclo e o processo de cada operador, visualizando lado a lado todas as operações.

A dimensão da linha estudada torna inviável visualizar no próprio gráfico as atividades, por este motivo, estas foram agrupadas por cores, correspondendo a sua relevância no ciclo da operação. Na Figura 4, em verde estão as atividades que agregam valor, em vermelho, as que não agregam valor e em amarelo as atividades que não agregam valor, mas são necessárias.

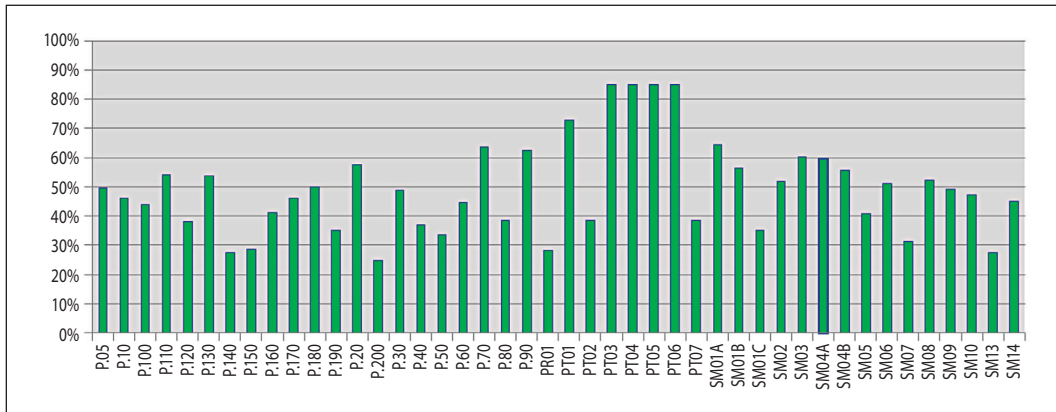
Figura 4 - Gráfico de balanceamento operacional do estado atual.



Fonte: Os autores (2017).

Na Figura 5 são apresentados os resultados de utilização dos operadores, que relata o percentual de tempo em que o operador está exercendo suas atividades, em relação ao tempo do *takt-time*.

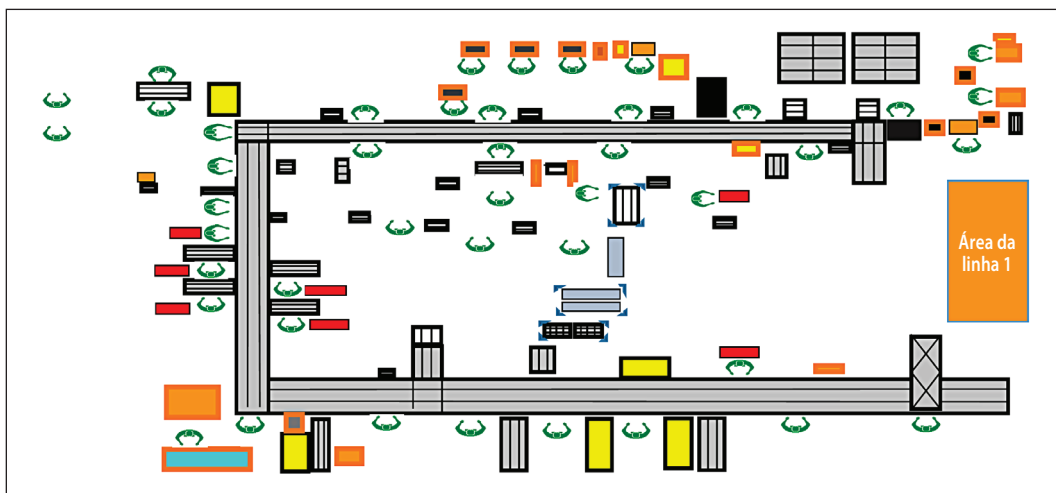
Figura 5 - Utilização dos operadores em porcentagem (GBO).



Fonte: Os autores (2017).

Como base nos gráficos GBO elaborados, desenhou-se de forma o *layout* atual com 44 operadores na linha de produção, no qual ficam evidentes as oportunidades de transferir atividades para outros operadores, conforme Figura 6.

Figura 6 – *Layout* da Linha Estudada.

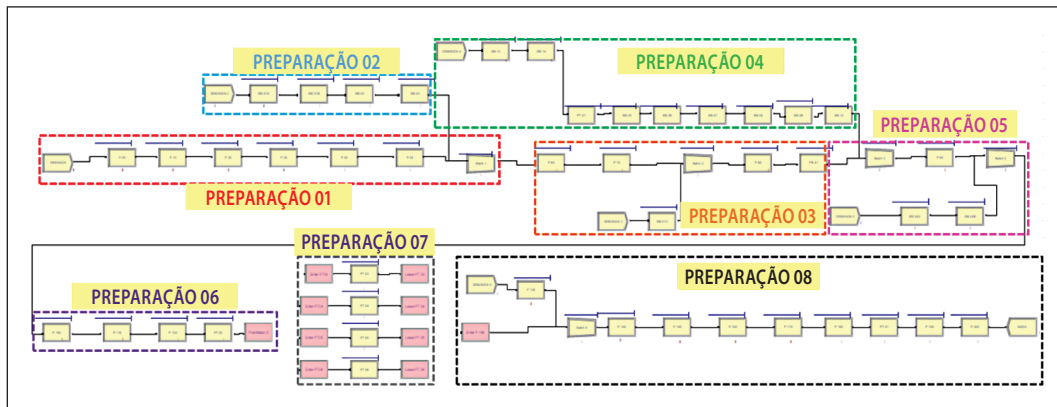


Fonte: Os autores (2017).

Para a construção do modelo conceitual, estipulou-se as seguintes considerações: (i) o modelo deve representar as mesmas atividades estipuladas no trabalho combinado; (ii) os operadores devem estar disponíveis 100% para realizarem as atividades; (iii) não haveria falta de matéria-prima; (iv) não haveria retrabalho, ou seja, taxa de qualidade de 100%; e (v) considerou-se o tempo das atividades como constantes.

Desta forma construiu-se o modelo computacional, a fim de modelar e simular o estado atual da célula de manufatura. Na Figura 7 está representado o arranjo produtivo gerado no *software* de arena de simulação.

Figura 7 - Arranjo Produtivo no Arena.



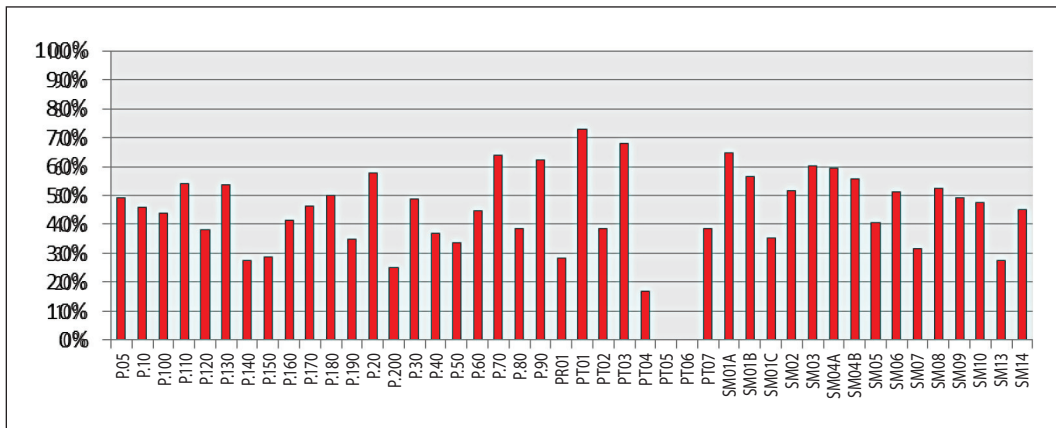
Fonte: Os autores (2017).

Utilizou-se na simulação os dados de produção, jornada de trabalho, tarefas e tempos de operações utilizados no gráfico de balanceamento operacional (Fase 1). Considerou-se uma hora de produção, e como variável de saída, acompanhou-se o *output* hora a hora.

A quantidade de produtos produzidos por hora foram 45. A simulação possibilitou analisar o percentual de utilização dos operadores indicados na Figura 08. Neste aspecto, a simulação complementou a análise GBO, visto que por verificar apenas o tempo das atividades, este dado não é contemplado pelo gráfico gerado.

Ao inquirir os dados de utilização dos operadores, percebe-se que todos, exceto PT01, estão com a utilização inferior a 70%, na simulação também mostra que dois operadores estão com utilização zero, e muitos outros com utilização abaixo dos 30%.

Figura 8 - Utilização de Operadores em porcentagem.

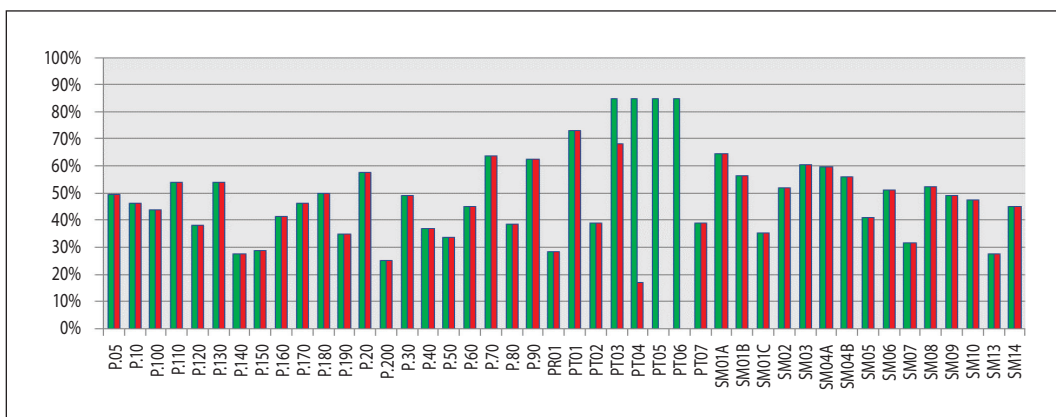


Fonte: Os autores a partir dos resultados dos relatórios de simulação no Arena (2017).

A análise de utilização dos operadores, não pode ser realizada no GBO, o qual não possibilita a análise de algumas variabilidades no processo, como aconteceu com os postos PT05 e PT06.

Ao comparar os resultados de utilização dos recursos obtidos no GBO e na simulação computacional, identificaram-se possibilidades de mudanças no balanceamento. E, a partir deste estudo, propõe-se um novo balanceamento determinístico associado à análise da utilização dos recursos. A Figura 9 mostra o resultado da comparação e diferenças encontradas estão onde as barras do GBO estão de verde e as da simulação em vermelho.

Figura 9 - Comparação utilização GBO x Simulação.



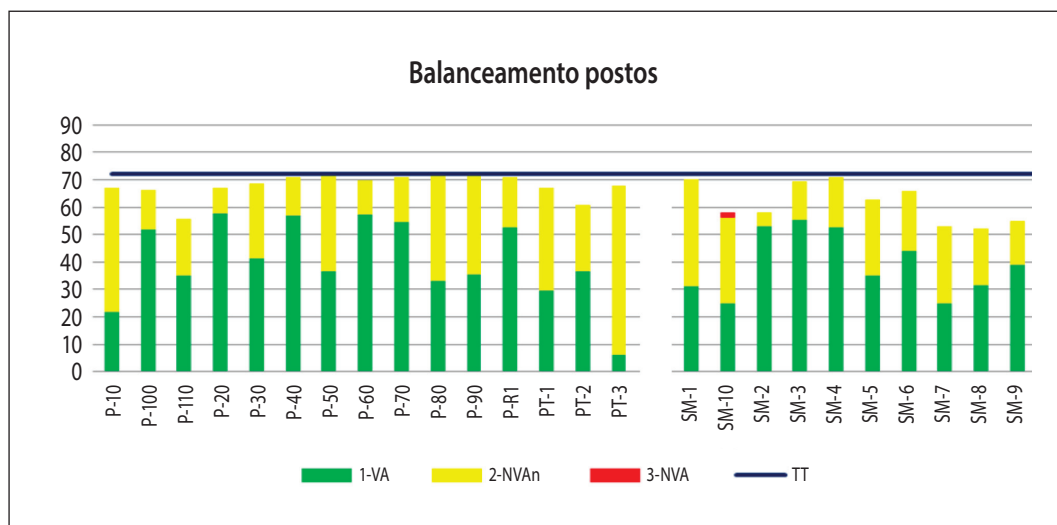
Fonte: Os autores (2017).



Com as análises de comparação dos resultados obtidos, iniciou-se a etapa de novo balanceamento. Ao avaliar o GBO do estado atual, tendo como parâmetro o novo *takt time*, verificou-se que em todos os operadores há ociosidade.

Então, de acordo com ordem de precedência das atividades e do tempo de ciclo de cada operação, tarefas foram agregadas a cada operador, observando o tempo de execução dentro do *takt time* de 72 segundos. A Figura 10 mostra os postos após o balanceamento. É possível observar a redução da quantidade de operadores.

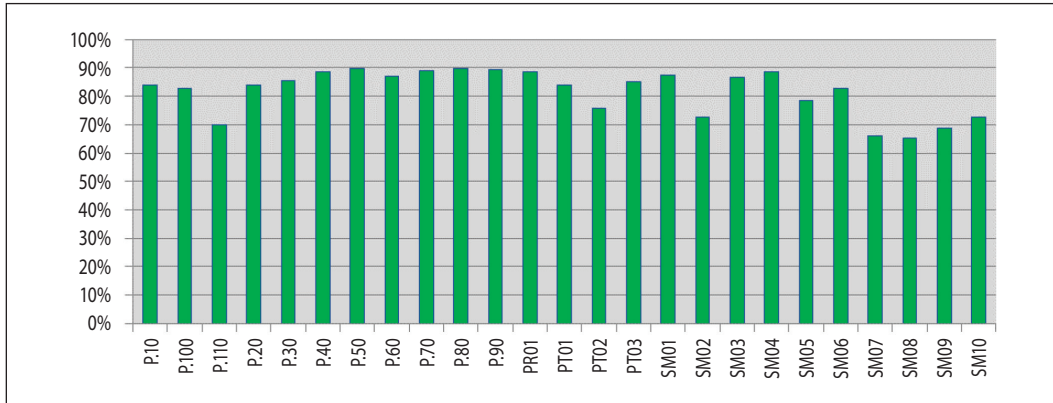
Figura 10 - GBO Estado futuro.



Fonte: Os autores (2017).

Com o novo balanceamento, a linha resumiu-se a 18 (dezoito) postos de trabalho. A Figura 11 apresenta os resultados de utilização dos operadores, depois da redistribuição das atividades.

Figura 11 - Utilização dos operadores em porcentagem, depois da redistribuição (GBO).

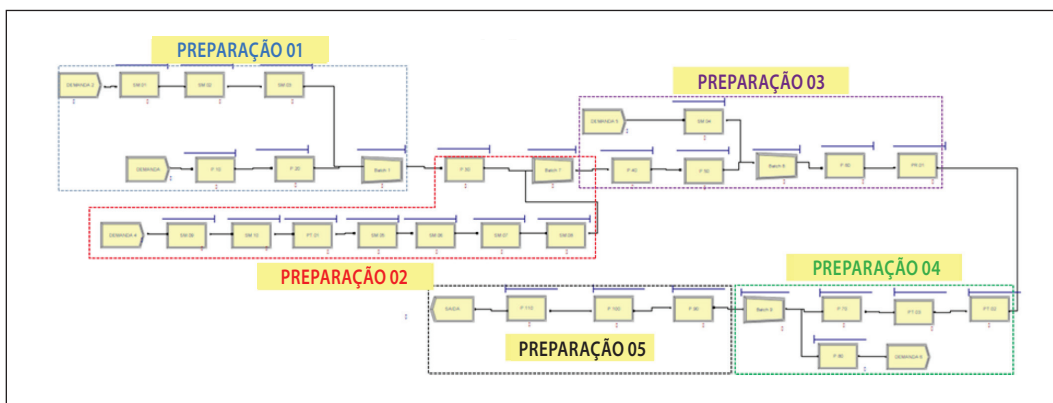


Fonte: Os autores (2017).

## 4. RESULTADOS

Para a construção do modelo conceitual futuro, já balanceado, estipulou-se as seguintes considerações: (i) o modelo devia representar as mesmas atividades estipuladas no trabalho combinado; (ii) os operadores deveriam estar disponíveis 100% para realizarem as atividades; (iii) não haveria falta de matéria-prima; (iv) não haveria retrabalho, ou seja, taxa de qualidade de 100% e (v) consideramos o tempo das atividades como constantes. Desta forma se construiu o modelo computacional, a fim de modelar e simular o estado futuro da célula de manufatura. Na Figura 12 o arranjo produtivo gerado no *software*:

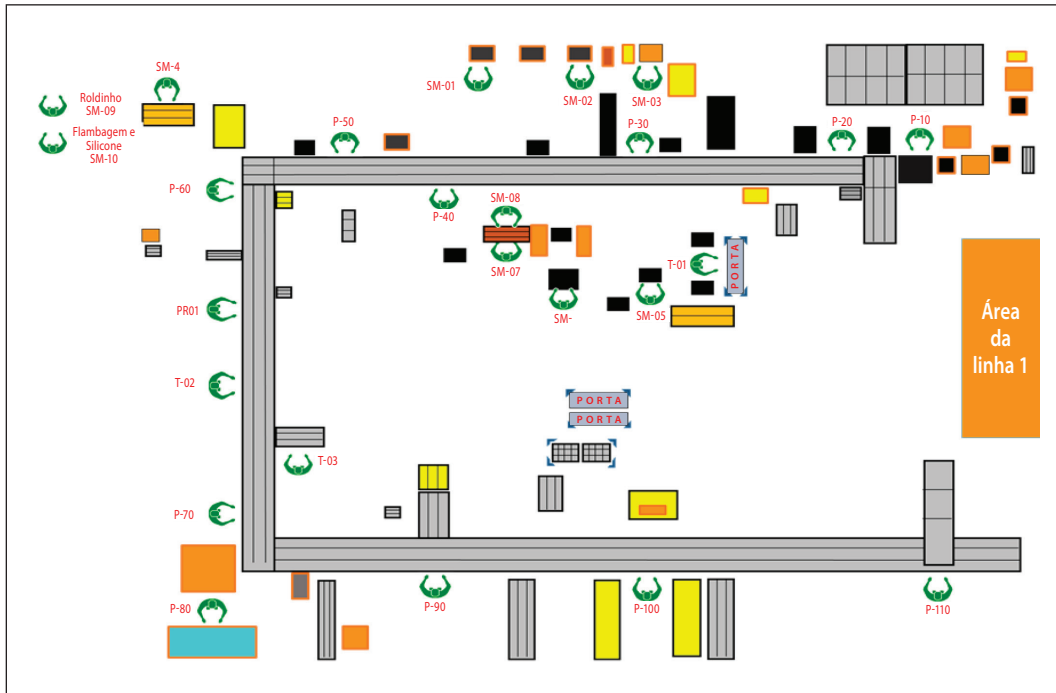
Figura 12 – Arranjo produtivo futuro no Arena.



Fonte: Os autores (2017).

Tendo como base o GBO, baseado no estado futuro simulado pelo Arena®, o novo *layout* da linha de produção, com 25 operadores, encontra-se ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – *Layout* Futuro da linha de produção em estudo.



Fonte: Os autores (2017).

## 5. DISCUSSÕES

Rother e Harris (2002) afirmam que conhecendo o tempo de ciclo total e o *takt-time*, pode-se determinar a quantidade de trabalhadores ideal para a linha de montagem. Sendo 1739 segundos, a soma de todos os ciclos dos operadores, o *takt-time* de 72 segundos assim, tem-se que o número ideal de trabalhadores é 25, de acordo com a Fórmula (5):

$$\text{Nº operadores} = \frac{1739(\text{s})}{72(\text{s})} = 24,15 \text{ operadores} \quad (5)$$

No entanto, cada processo de montagem tem suas particularidades, e nem sempre o ideal é possível. A quantidade de operadores depois do balanceamento foi de 26 operadores na linha de produção. Ademais, realizaram-se diversas mudanças de *layout*, *flow rack's*, dentre outros. Na Tabela 1 a seguir mostra a comparação do tempo total de ciclo anterior e o tempo total de ciclo modificado.

Tabela 1 – Comparação dos tempos de ciclo.

Tempo de Ciclo Anterior (s)	Tempo de Ciclo Modificado (s)
1738,48	1633,61
Diferença	104,87

Fonte: Os autores (2017).

Os 104,87 segundos de redução refletem as melhorias aplicadas na linha de produção, assim como a eliminação de postos de trabalho. Houve uma economia para a empresa, pois em média um operador simples custa à indústria R\$ 1.887/mensal, onde este valor inclui salário, benefícios, alimentação e transporte.

O Quadro 02 a seguir mostra a comparação dos valores e a redução de custos que o balanceamento proporcionou.

A empresa reduziu cerca de quatrocentos e trinta mil em um ano (R\$430.000,00), e a principal contribuição do presente estudo é este demonstra de forma simples, a distribuição das cargas de trabalho dentro do tempo *takt*, transferindo elementos de trabalho para postos anteriores ou posteriores, evidenciando os desperdícios.

Quadro 2 – Comparação dos cenários.

CENÁRIOS			
ANTERIOR		MODIFICADO	
QTD. OPERADORES:	44	QTD. OPERADORES:	25
CUSTO UNITÁRIO:	R\$ 1.887	QTD. OP./MENSAL	R\$ 1.887
CUSTO MENSAL:	R\$ 83.028	CUSTO MENSAL:	R\$ 47.175
CUSTO ANUAL:	R\$ 996.336	CUSTO ANUAL:	R\$ 566.100
DIFERENÇA MENSAL (MODIFICADO - ANTERIOR)			- R\$ 35.853,00
DIFERENÇA ANUAL (MODIFICADO - ANTERIOR)			- R\$ 430.236,00

Fonte: Os autores (2017).

## 6. CONCLUSÕES

A partir da estruturação de uma sistemática integrada do gráfico de balanceamento operacional e a simulação utilizando o *software* de modelagem Arena houve uma avaliação na proposta de balanceamento para célula de manufatura em uma empresa, considerando a taxa de utilização operador.

Após estruturar o GBO, utilizou-se a ferramenta de simulação computacional, para demonstrar o real comportamento da célula de manufatura. E assim, avaliou-se a utilização dos operadores considerando o cenário ótimo de manufatura.

Desta forma, pode-se demonstrar que, ao usar de forma integrada a sistemática GBO e a simulação computacional, é possível realizar o balanceamento dos recursos, e entender de forma sistêmica todo o processo produtivo e suas restrições.

O uso da sistemática proposta permite a identificação de possibilidades de melhoria no balanceamento e possibilita a estruturação de um novo gráfico GBO, baseado nos resultados obtidos na simulação. A simulação computacional pode ser utilizada como ferramenta de apoio a técnicas estruturadas de balanceamento, permitindo análises das variabilidades no processo.

Com aplicação do balanceamento, houve a transformação do ambiente produtivo, reduzindo o tempo de ciclo das operações, eliminando desperdícios, possibilitando grandes ganhos de produtividade, reduzindo os estoques em processo e a movimentação desnecessária, além de aumentar a satisfação do cliente, podendo beneficiar o mesmo.

Ademais, mesmo implementando as ações, os resultados devem ser sempre avaliados posteriormente. Sugere-se a continuidade dos estudos para os trabalhos futuros, a utilização do Lean também no desenvolvimento do produto, objetivando a redução do tempo de ciclo de produção.

## REFERÊNCIAS

BANKS, J. **Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice.** John Wiley & Sons, New York. 1998.

BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. **Discrete event system simulation.** 4rd Ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção e Operações – Manufatura e serviços: uma abordagem estratégica.** 3ª Ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2012. 680p.

DEMBOGURSKI, R. A.; OLIVEIRA M. de; NEUMANN C. Balanceamento de Linha de Produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28, 2008. **Anais...** Rio de Janeiro: ENEGEP, 2008.

FERNANDES, C. A.; SILVA, C. S.; PEREIRA, J.O., YAMAGUCHI, M. M. Simulação da Dinâmica Operacional de uma Linha Industrial de Abate de Suínos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 166-170, 2006.

FERREIRA, I. S.; TAVARES, E. R.; RANGEL, J. J. A; PEIXOTO, T. A.; MATIAS, I. O. Análise de um sistema de telefonia Voip com ambiente de simulação a eventos discretos ururau. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, n. 4, p. 83-99, 2016.

FIORONI, M. M. **Simulação em ciclo fechado de malhas ferroviárias e suas aplicações no Brasil: avaliação de alternativas para o direcionamento de composições.** 2007, 216f. Tese (Doutorado em Engenharia Naval e Oceânica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena.** Florianópolis, Visual Books, 2008, 305 p.

GOMES, J. E.; OLIVEIRA, J. L.; ELIAS, S. J.; BARRETO, A. F.; ARAGÃO, R. L. Balanceamento de linha de montagem na indústria automotiva – Um estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28, 2008. **Anais...** Rio de Janeiro: ENEGEP, 2008.

GRAEMI, A. R.; PEINADO, J. **Administração da Produção.** Operações industriais e de serviços. Curitiba: UnicenP, 2007.

GOLDRATT, E.; COX, J. **A Meta** – Um processo de melhoria contínua. 2. Edição. São Paulo: Nobel, 2014.

HARREL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. O. **Simulation Using Promodel.** 2.ed. McGraw-Hill, New York, 2004.

KLEIJNEN, J. P. C. Theory and Methodology: Verification and validation of simulation models. **European Journal of Operational Research**, v. 82, p. 145-162, 1995.

LAW, A. M. How to build valid and credible simulation models. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, PROCEEDINGS, 2009. **Anais...** Austin, TX, USA: 2009.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis.** 2nd Ed. New York: McGraw Hill, 1991.



MARTINS, F. P.; LAUGENI, P. G. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 2002. 445p.

MOITA, M. H. V.; ALMEIDA, E. S. Aplicação de simulação para obtenção de soluções ao tráfego em rotatória da cidade de Manaus. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 1, p. 93-109, 2012.

MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; COSTA, R. F. S.; OLIVEIRA, M. L. M.; SILVA, A. L. F. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. **Proceedings**, Baltimore, MD, USA, 2010. Disponível em: <<https://www.informs-sim.org/ws-c10papers/150.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

OHNO, T. **O sistema Toyota de Produção Além da Produção em Larga Escala**. Porto Alegre: Editora Bookman, 1997.

PRADO, D. **Usando o ARNA em simulação**. INDG – Tecnologia e Serviços LTDA. Nova Lima, 2010. 307 p.

ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando o Fluxo Contínuo: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002. 103p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2008.

TAPPING, D.; LUYSTER, T.; SHUKER, T. Value Stream Management: eight steps to planning, mapping, and sustaining lean improvements. **Productivity Press**. New York, 2002. 169p.

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção – Teoria e Prática**. São Paulo: Atlas, 2007.

VIEIRA, G. E. Uma revisão sobre a aplicação de simulação computacional em processos industriais. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13, 2006. **Anais...** SIMPEP: Bauru, SP, 2006.