



**CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC**  
**MBA Executivo em Logística e Gestão da**  
**Produção**

**AMÉRICO DIAS CAMPOS NETO**

**MODELO MATEMÁTICO DE SIMULAÇÃO PARA**  
**TOMADA DE DECISÃO EM PROCESSO PRODUTIVO DE**  
**AÇO**

Salvador (BA)  
2018



**AMÉRICO DIAS CAMPOS NETO**

**MODELO MATEMÁTICO DE SIMULAÇÃO PARA  
TOMADA DE DECISÃO EM PROCESSO PRODUTIVO DE  
AÇO**

Artigo apresentado ao MBA  
Executivo em Logística e Gestão  
da Produção do CENTRO  
UNIVERSITÁRIO SENAI  
CIMATEC como requisito parcial  
para obtenção do título de Pós-  
graduado em Logística

Orientador(a): prof. Carlos César  
R. Santos

Salvador (BA)  
2018

# MODELO MATEMÁTICO DE SIMULAÇÃO PARA TOMADA DE DECISÃO EM PROCESSO PRODUTIVO DE AÇO

MATHEMATICAL SIMULATION MODEL FOR DECISION MAKING IN STEEL PRODUCTION  
PROCESS

NETO, Américo Dias Campos <sup>1</sup>

SANTOS, Carlos César Ribeiro <sup>2</sup>

## RESUMO

As companhias brasileiras estão se internacionalizando e protegendo fortemente o mercado interno para garantirem sua sobrevivência. Devido à alta competitividade e instabilidade econômica as organizações precisam adaptar-se rapidamente às novas condições do mercado e, para isso, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologia de informação para auxílio direto na tomada de decisão direcionada ao aumento constante da produtividade das operações, principalmente nas fábricas, cujos recursos (equipamentos e pessoas) devem ser muito bem balanceados, de maneira a evitar desperdícios e custos desnecessários. Este trabalho apresenta um modelo de simulação matemática e estatística, aplicado a um estudo de caso na Fábrica Siderúrgica de aço cortado e dobrado na Bahia, para auxiliar na tomada de decisões gerenciais, de maneira a definir ações que objetivem contribuir no balanceamento adequado de recursos para o aumento direto de produtividade e redução de custos, assegurando a eficiência operacional e a competitividade da unidade.

**Palavras-chave:** Competitividade; Produtividade; Eficiência; Balanceamento de Recursos.

## ABSTRACT

Brazilian companies are internationalizing and strongly protecting the domestic market to ensure their survival. Due to the high competitiveness and economic instability the organizations need to adapt quickly to the new market conditions and for this it becomes necessary the development of information technology for direct aid in the decision making directed to the constant increase of the productivity in the operations, especially in the factories whose resources (Equipment and People) must be very well balanced way to avoid waste and unnecessary costs. This project presents a mathematical and statistical simulation model applied to a case study at the steel factory that cut and folded steel in Bahia to assist in the management decision making in order to define actions that aim to contribute in the adequate resource balancing for direct increase of productivity and cost reduction, ensuring the operational efficiency and the competitiveness of the unit.

**Keywords:** Competitiveness; Productivity; Efficiency; Resource Balancing.

---

<sup>1</sup>Pós-Graduando no MBA Executivo em Logística e Gestão da Produção, 2015.1 – acamposn2@hotmail.com

<sup>2</sup>Professor Orientador Graduado em Administração de Empresas – carlos.santos@fieb.org.br

## 1. INTRODUÇÃO

Devido ao efeito das relações internacionais do mercado e do comércio, a produção nas indústrias não pode mais ser pensada localmente, devendo-se expandir para além das fronteiras geográficas. No entanto, esse processo dinâmico de internacionalização leva as empresas a tomarem medidas estratégicas na busca constante por competitividade e adaptabilidade para se ajustarem ante a evolução dos negócios e da economia, face ao aumento da concorrência.

Conforme Falconi (2009), a organização é um sistema formado por um conjunto de processos no qual precisa adaptar-se continuamente com outras atividades, pois empresa que fica parada no mercado tem alto risco de não sobreviver.

Com intuito de sobreviver em mercado competitivo as organizações buscam rentabilidade em seus negócios com principal foco de alcançar estabilidade financeira em suas operações, assim, as mesmas necessitam adequar-se rapidamente às atuais condições impostas pelo mercado. As companhias brasileiras precisam inovar e obter mais eficiência em seus processos, com foco no aumento de sua produtividade, baseando-se na utilização correta e adequada de seus recursos produtivos (equipamentos e pessoas), de maneira a evitar desperdícios e custos desnecessários.

Ainda segundo Falconi (2009), “a missão geral de qualquer organização é satisfazer as necessidades dos seres humanos” e para isso, faz-se necessário uma adequada gestão da produção e uma manutenção com estratégias, técnicas e objetivos bem definidos e claros.

De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2002), a função da área de produção em uma companhia representa um conjunto de recursos destinados à produção de bens e serviços. Não obstante, técnicas de gestão são desenvolvidas com o intuito de auxiliar e apoiar na assertividade e na celeridade das decisões estratégicas de uma organização.

Afirma Slack, Chambers e Johnston (2002), que é de responsabilidade do gestor de produção melhorar o desempenho e eficiência de suas operações, pois de outra maneira não acompanhará a concorrência e muito menos atenderá às expectativas crescentes dos consumidores.

Desse modo, a produção tem o dever de apoiar a estratégia da organização no papel flexível de balanceamento dos seus recursos, distribuindo adequadamente suas tarefas para utilização da quantidade correta de mão-de-obra e equipamentos, minimizando a ociosidade nas operações e perdas no processo.

Este artigo apresenta um estudo de caso em uma companhia siderúrgica de prestação de serviços, voltada especificamente para a produção de aço cortado e dobrado, conforme o projeto e a especificação de cada cliente na área de construção civil, verificados em uma unidade localizada no estado da Bahia. Este estudo irá analisar o aumento de produtividade da operação dessa unidade, utilizando como parâmetro os dados de toneladas produzidas nessa unidade, através da quantidade de colaboradores no período de um ano ( $T/H \times \text{ano}$ ). Esta medida costuma ser utilizada pela empresa como indicadora de performance operacional. Portanto, a proposta do atual projeto é desenvolver uma ferramenta de gestão com parâmetros matemáticos que auxilie essa unidade numa tomada de decisão, visando a utilização adequada de seus recursos na produção, aumentando assim a produtividade e a conseqüente redução de custos operacionais evitando ociosidades dos recursos empregados.

A baixa produtividade junto à utilização não balanceada dos recursos operacionais na unidade estudada gera custos desnecessários com a fadiga de máquinas, consumo de energia, salários, transportes, refeição, consumo de água, ou seja, utilização de recursos desnecessários que diminuem a rentabilidade e dificulta a competitividade no mercado, em detrimento das decisões equivocadas por não apresentar ferramentas de informação objetivas com parâmetros matemáticos bem definidos, que auxiliem no processo de decisão para um balanceamento adequado dos recursos de acordo, com a real

necessidade do processo. Sendo assim, a atual pesquisa apresenta a seguinte questão norteadora: *Como melhorar o processo de tomada de decisão no balanceamento de recursos em um processo produtivo dentro de uma fábrica de aço localizada no Estado da Bahia?*

Assim, este artigo tem como objetivo geral apresentar um modelo matemático e estatístico de simulação para suporte em tomadas de decisão, em um processo produtivo de uma fábrica de aço.

Para maior entendimento do assunto, este artigo apresenta os seguintes objetivos específicos, os quais buscarão elucidar ainda mais o objeto de estudo aqui apresentado:

- Conceituar gestão da produção e definir seu papel estratégico em organizações industriais;
- Apresentar um método quantitativo baseado em controle estatístico de processo para desenvolver ações a fim de alavancar a eficiência operacional em sistemas produtivos;
- Desenvolver algoritmo para aplicação direta de modelo matemático com o intuito de fomentar ferramenta de simulação, que auxilie na gestão de produção da empresa estudada na tomada de decisão.

No decorrer do texto, será apresentada a aplicação do modelo matemático e estatístico de simulação de dimensionamento de recursos, para auxiliar no processo de decisão gerencial a curto e médio prazo. Ressalta-se que a atual pesquisa foi realizada na unidade piloto, pois a operação na fábrica apresentava o pior resultado de produtividade de todas as unidades do grupo no território nacional, tornando seu negócio pouco competitivo e com alto risco de descontinuidade.

Serão utilizadas informações da unidade fabril para a pesquisa e para a realização do trabalho, por meio de coleta de dados realizada na companhia, na qual todo o estudo e o modelo de simulação matemático foram desenvolvidos.

O trabalho está estruturado em cinco sessões. A sessão 1 apresenta uma introdução do trabalho com os pontos que deverão ser estudados, contextualizando os motivos que levaram à concepção desta pesquisa; o objetivo geral e os específicos; a estrutura e a necessidade do estudo.

A sessão 2 aborda o referencial teórico com os principais autores que analisam o tema escolhido. Além disso, apresenta importantes definições quanto à administração e à gestão da produção, quanto a seu papel estratégico e objetivos, discute aspectos conceituais de capacidade versus demanda de produção, produtividade, balanceamento de recursos, produção enxuta, tempos e métodos, gestão básica de manutenção e técnicas japonesas de produção voltadas para o aumento da produtividade industrial, além da aplicação de conceitos relacionados à estatística descritiva e ao controle estatístico de processo.

A sessão 3 estabelece o procedimento metodológico, discutindo os métodos de pesquisa utilizados para construção deste trabalho. A sessão 4 tem como principal missão responder o problema da pesquisa, assim como os objetivos. O mesmo ensina a construir os modelos de simulação aplicados ao balanceamento de recursos de curto e médio prazo, além de apresentar também um estudo de caso do processo de implantação e uma aplicação do método na fábrica siderúrgica de corte e dobra. Por fim, a conclusão do trabalho com uma análise geral do artigo na sessão 5.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Administração da Produção**

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), a atividade de produção abrange um conjunto de recursos de entrada utilizados no processo de transformação ou para serem transformados em bens e serviços. Estes recursos de entrada (inputs) podem ser máquinas/equipamentos e pessoas que atuam nos insumos, ou seja, recursos transformados.

O processo de transformação se relaciona diretamente com o recurso de entrada a ser transformado. A exemplo de um processamento material, o produto pode alterar sua propriedade física, química, dimensão, formato, etc.

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), as saídas (outputs) do processo de transformação são os bens físicos e/ou serviços caracterizados pela sua capacidade de estocar, transportar, atender ao cliente e qualidade. A administração da produção, segundo Peinado e Graeml (2007), consiste em utilizar os recursos destinados à produção de bens ou serviços da melhor maneira.

Conforme Slack, Chambers e Johnston (2002), o gestor deve planejar e controlar as atividades de produção para decidir sobre o melhor emprego dos recursos para assegurar a execução do que foi previsto, assim como o atendimento de requisitos legais operacionais. Para isso é necessário o desenvolvimento de ferramentas que transformem dados em informações que contribuam diretamente no processo decisório do gestor de produção.

Constitui-se como um dos papéis da produção, o apoio direto à estratégia empresarial. Ansoff (1965) afirmou que estratégia é um conjunto de regras de tomada de decisão em condições de desconhecimento parcial. As decisões estratégicas dizem respeito à relação entre a empresa e o seu ecossistema. Porter (1980) definiu que estratégia competitiva são ações ofensivas ou defensivas para criar uma posição defensável numa indústria, para enfrentar com sucesso as forças competitivas e assim obter um retorno maior sobre o investimento.

É percebida uma relação entre a empresa e o meio que a envolve, tratando-se de métodos e padrões de decisão interligados, os quais buscam atingir o objetivo do negócio. A estratégia corporativa determina os objetivos e propósitos de uma organização, de maneira a traçar um plano adequado para atingir tais metas, de acordo com Slack, Chambers e Johnston (2002, p. 87),

“[...] uma estratégia é mais do que uma só decisão; é o padrão global de decisões e ações que posicionam a organização em seu ambiente e têm o objetivo de fazê-la

atingir seus objetivos de longo prazo. Definir estratégia como um padrão de decisões ajuda-nos a discutir uma estratégia de produção mesmo quando ela não está expressa”.

O processo decisório de um gestor de produção em uma fábrica, para atingir uma meta, baseia-se em uma estratégia formal de produção, com padrões de ações e decisões norteadas por análises quantitativas e qualitativas do processo de produção, de maneira a definir seu papel e seu objetivo por meio da utilização de métodos para apoiar e sustentar tais decisões, seja para realizar alocações de capacidades, balanceamento, seja para a adequação de recursos e/ou mudanças na estrutura.

Na estratégia de produção deve-se estabelecer conexões entre os diferentes níveis de uma empresa para que a estratégia seja entendida claramente e a busca para atendimento ao desafio seja estabelecida por todos, avaliando sempre as lacunas entre a necessidade e o desejo do mercado e o desempenho operacional em relação aos requisitos dos consumidores (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002). Para determinar os objetivos estratégicos da produção em uma empresa, faz-se necessário identificar os stakeholders (grupos de pessoas que influenciam ou que são influenciados nas atividades de uma organização: colaboradores, sociedade, cliente, fornecedores e acionistas), assim como os reflexos e impactos formados pela influência dos mesmos – já que os objetivos estão diretamente correlacionados às suas necessidades.

Nesse sentido, por meio do conhecimento dos stakeholders, os objetivos estratégicos da organização acabam sendo fomentados; conseqüentemente, as metas mais amplas que precisam ser alcançadas para atendimento das necessidades daqueles são de fundamental importância para o processo de decisão dos administradores de produção, os quais buscam por ferramentas de auxílio para informações gerenciais, que apoiem no processo de tomada de decisão para atendimento e satisfação das necessidades destes públicos.

No entanto, a nível operacional, os objetivos de desempenho devem ser especificamente mais definidos para assegurar a vantagem competitiva e de

organização. De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2002) estes objetivos são fundamentados nas cinco dimensões a seguir:

- **Qualidade:** Produzir e/ou prestar serviço de maneira correta, conforme especificação e necessidade acordada;
- **Rapidez:** Produzir ou prestar serviço em tempo hábil de acordo com a necessidade e expectativa;
- **Confiabilidade:** Desenvolver produto e/ou serviço com a entrega no prazo determinado em tempo hábil;
- **Flexibilidade:** Capacidade de produção, seja de um bem ou de um serviço, de alterar sua concepção, a maneira de fazer, os métodos, o período de entrega e até mesmo o resultado, de acordo com a necessidade;
- **Custo:** Relaciona-se diretamente ao preço de venda dos produtos ou aos serviços fornecidos e aos custos operacionais da organização, ou seja, quanto menor o custo de produção, maior é a capacidade da área comercial de praticar menores preços. O bom gerenciamento dos recursos devem estar relacionados ao balanceamento correto e adequado dos mesmos para gerar custos compatíveis ao processo.

Todos os objetivos de desempenho, de maneira direta ou indireta, afetam o custo operacional, seja na qualidade que evita desperdício, seja na rapidez das operações que reduzem o nível de estoque, assim como na confiabilidade, a qual não gera prejuízo ao cliente, sendo muitas vezes esse repassado ao fornecedor e, por fim, na flexibilidade que agrega valor ao consumidor, adaptando-se as constantes mudanças no mercado que podem gerar grandes perdas de volume, caso a organização não obtiver tal adaptabilidade.

## **2.2 Previsão de Demanda de Produção**

Segundo Vasconcellos e Garcia (2004), a quantidade de um bem ou serviço que os consumidores adquirem em determinado período é definido

como demanda. Preço, renda, necessidade e preferência são fatores/variáveis influenciadoras da escolha deste consumidor.

Para Slack, Chambers e Johnston (2002), a principal informação para se realizar um planejamento mais assertivo com menor margem de erro e controle de capacidade adequado é a previsão de demanda, pois sem esta estimativa futura o planejamento torna-se ineficaz.

Conforme explica Martins e Laugeni (2005), as previsões de demanda podem ser de curto, médio e longo prazo. Para as de curto prazo (até três meses), utiliza-se métodos estatísticos baseados em médias, tendências e sazonalidade; para as de médio prazo (até dois anos) e de longo prazo (acima de dois anos), são utilizados modelos econométricos, considerando o tamanho da população e a renda per capita.

### **2.3 Capacidade de Produção**

Para que haja gestão do processo de produção de uma fábrica, primeiramente é necessário o entendimento de sua capacidade produtiva, de maneira que a organização possa ter um planejamento e o controle adequado de seus recursos, auxiliando-a na tomada de decisão no modo de fabricar. Peinado e Graeml (2007) afirma que a capacidade de produção está associada à quantidade máxima de um produto (bens ou serviços) que se pode produzir em determinado tempo em uma unidade produtiva, podendo ser considerada a capacidade de produção de cada máquina em toneladas/hora, dia ou mês em toda empresa, uma máquina e/ou um funcionário.

A informação sobre a capacidade fabril é de fundamental importância para os aspectos estratégicos da organização, seja no nível operacional, seja no tático ou no estratégico. Slack, Chambers e Johnston (2002) define que a capacidade de produção sob as condições normais operacionais é o máximo nível de atividade de valor que o processo pode realizar em determinado período. Segundo Peinado e Graeml (2007), as capacidades podem ser estratificadas nos seguintes tipos:

- Instalada: Capacidade máxima de produção em uma unidade fabril trabalhando ininterruptamente, sem considerar qualquer perda;
- Disponível: Quantidade máxima de produção em uma unidade fabril, considerando-se a jornada de trabalho disponível;
- Efetiva: Capacidade disponível subtraindo-se as perdas planejadas do processo produtivo, perdas estas que estão relacionadas a paradas por set-up, preventivas periódicas, trocas de turnos, refeição, etc.
- Realizada: Capacidade efetiva subtraindo-se as perdas não planejadas do processo produtivo, perdas estas que estão relacionadas a paradas por falta de matéria-prima, de energia elétrica, de funcionários, de manutenção corretiva, etc.

## **2.4 Tempos e Métodos**

Trata-se de um estudo específico das atividades operacionais que desenvolve método padronizado, geralmente com menor custo, determinando o tempo médio, em condições normais, dispendido por um trabalhador capacitado e qualificado para realizar determinada tarefa.

Conforme Martins e Laugeni (2005), no estudo de tempos e métodos, o principal objetivo é mensurar a eficiência operacional em situação e condições normais de trabalho, assim utiliza-se a cronometragem como um dos principais métodos para realização desta medição e padronização do sistema operacional nas indústrias. No entanto em tarefas mais manuais onde há maior intervenção humana, torna-se mais difícil a medição destes tempos, uma vez que cada trabalhador tem seus conhecimentos, comportamentos e habilidades.

A aferição destes tempos padrões de produção podem servir como referência para avaliar a performance das operações no processo de qualquer área de produção (MARTINS; LAUGENI, 2005)

## 2.5 Análise de Produtividade

Segundo Martins e Laugeni (2005), o conceito mais tradicional de produtividade é o que considera a relação entre o “output” e “input” de uma operação, ou seja, quantidade ou valor de determinado produto e/ou serviço produzido e os recursos internos utilizados para produção.

O valor obtido do produto geralmente está vinculado à demanda do mercado e suas vendas, que muitas vezes fogem do controle da organização, tendo em vista que a mesma nem sempre pode controlar as oscilações e sazonalidades econômicas do mercado. Para tentar equalizar e reduzir as margens de variações, as empresas adotam objetivos estratégicos vinculados a preços, a níveis de serviço e à qualidade, contudo, ainda assim a demanda não é controlada.

Já a gestão dos recursos internos, em outras palavras, os custos operacionais da organização, podem ser controlados eficientemente. Devido à alta competitividade, às inconstâncias do mercado econômico, as organizações são cada vez mais forçadas a atuarem constantemente nos recursos internos de produção (inputs) para que a produtividade não seja afetada negativamente e, conseqüentemente, o desempenho financeiro e sustentável do negócio não entre em declínio. Assim, o estudo em busca de uma maior competitividade é impulsionado pela forte atuação no entendimento e no aprendizado ante o aumento da produtividade operacional, como caminho e direção para sobrevivências das organizações a longo prazo.

Segundo Macedo (2012), realiza-se a medição de produtividade com a utilização de indicadores de natureza física, por exemplo, X unidades de bens e/ou serviços por Y unidade de tempo ou mesmo produção física por quantidade de horas trabalhadas.

As organizações buscam produzir mais em menos tempo, assim como realizar o menor custo de homens hora para que desse modo tenham melhores resultados e conseqüentemente sejam mais produtivas, obtendo maior vantagem competitiva no mercado.

## **2.6 Balanceamento de Recursos**

Conforme Peinado e Graeml (2007), o balanceamento da linha de produção está relacionado a necessidade aproximada da mesma quantidade de tempo demandada das estações de trabalho para realização de determinadas tarefas que formam esta linha, minimizando a ociosidade nas operações e equipamentos de produção de maneira que uma tarefa quando apresenta um tempo de execução consideravelmente maior ou menor do que o tempo médio das demais tarefas da linha de produção considera-se que a mesma não está balanceada.

Assim, entende-se que é necessário analisar todo o processo de produção para avaliar a utilização e a ociosidade das pessoas e das máquinas, de maneira que a fábrica possa balancear seus recursos adequadamente, evitando desperdícios no processo.

## **2.7 Produção Enxuta**

A produção enxuta (Lean Manufacturing) é uma metodologia baseada em práticas, ferramentas e princípios produtivos com foco em eliminar as atividades que não agregam valor ao produto ou serviço, reduzindo os defeitos, melhorando a qualidade e tornando o processo mais produtivo aliado a baixo custo por operar com espaços mais compactos, menos esforços humanos e dispêndio menor de tempo comparado aos sistemas tradicionais de produção em massa. (MARCHWINSKI; SHOOK; LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2007).

A gestão lean procura gerar valor ao consumidor por meio de melhorias no processo que suportem condições de produção com custos reduzidos através de expressivo envolvimento das pessoas. As práticas lean remetem a análise e melhorias no processo de toda uma cadeia produtiva por meio de criação de sistemas puxados e fluxos contínuos que se baseiam na real demanda de mercado. O resultado destas práticas implica no aumento da capacidade fabril de atender a demanda do mercado com maior qualidade, em

menor tempo e preço para os consumidores, atendendo suas expectativas além de garantir assim a rentabilidade para o negócio. (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2007).

O Principal objetivo da produção enxuta é a eliminação de desperdícios por meio de otimização dos processos tornando-os mais produtivos, com menores custos além de melhorar a qualidade de maneira a reduzir as ociosidades e “lead time” da cadeia em detrimento de um adequado balanceamento e dimensionamento de recursos mitigando as perdas relacionadas a estoque elevado, superprodução, excesso de movimentação e transporte.

## **2.8 Manutenção Corretiva, Preventiva, Interrupção e Indisponibilidade**

Conforme Slack, Chambers e Johnston (2002), existe probabilidade que quebra e parada de todos os equipamentos de produção. Esta quebra pode ser parcial ou uma falha que gera uma interrupção total e repentina na produção.

Segundo Martins e Laugeni (2005), a manutenção de instalações tem o como principal objetivo de garantir que as máquinas operem nas condições para as quais foram projetadas, pois a interrupção do processo produtivo gera uma série de problemas correlacionados diretamente a reclamações de clientes, quedas de faturamento e perdas de capacidade produtiva.

A manutenção corretiva visa a correção e recuperação da capacidade produtiva de uma instalação e/ou equipamento que tenha reduzido ou perdido por completo sua capacidade instalada para qual foi projetado. (MARTINS; LAUGENI, 2005, p. 480).

A manutenção preventiva consiste em executar uma série de atividades conforme programação preestabelecida, indicando periodicidade no intuito principal de aumentar a vida útil do equipamento, além de manter suas condições operacionais, diminuir interrupções e reduzir custos. (MARTINS; LAUGENI, 2005, p. 480).

## 2.9 Índice de Disponibilidade e Indisponibilidade

Conforme Martins e Laugeni (2005), para que a produtividade dos equipamentos disponíveis para a produção aumente, é necessário que a organização foque principalmente em grandes perdas relacionadas à quebra de máquinas, a ajustes para fabricação de um novo item (setup) e a quebras de ritmo. Para calcular a taxa de disponibilidade, da máquina, é necessário entender o conceito de tempos, segundo a tabela abaixo:

**Tabela 1. Conceito de Tempos em 2005**

TEMPO CALENDÁRIO (C)						
TEMPO PROGRAMADO TOTAL (PT)					CAUSAS EXTERNAS (E)	TEMPO LIVRE (L)
TEMPO PROGRAMADO P/PRODUÇÃO (PP)			ATRASSO DE PARADA PROG.(A)	PARADAS PROGRAMADAS (P)		
TEMPO ÚTIL (U)	QUEBRA RITMO (r)	INTERRUPÇÃO (I)				

Fonte: (MARTINS; LAUGENI, 2005)

- Disponibilidade da máquina =  $(U) + (r) / (TPP)$
- U – Tempo útil
- r – Quebra de Ritmo
- TPP – Tempo Programado p/Produção

Vale ressaltar que o Tempo Programado para Produção desconsidera as paradas programadas, relacionadas às preventivas, às refeições, às reuniões, etc., enquanto que, em relação ao tempo útil, considera-se as perdas por interrupção e quebras de ritmo, isto é, o tempo de fato que a máquina ficou em produção. Em suma, a disponibilidade.

A indisponibilidade é justamente a razão do tempo que a máquina ficou em parada não planejada (Interrupção + Setup) pelo tempo programado p/produção, demonstrando o impacto da ocorrência das paradas na produtividade, ou seja:

Indisponibilidade da máquina =  $(I) + (S) / (TPP)$  ou  $Ind = 1 - Disponibilidade$

- I – Interrupção
- S - Setup
- TPP – Tempo Programado p/Produção

## **2.10 Estatística Descritiva Aplicada**

A ciência estatística é um conjunto de técnicas e métodos de pesquisa que envolve o planejamento do experimento a ser realizado, a coleta qualificada dos dados, inferências, processamento, análise e disseminação das informações. Na estatística, trabalha-se com dados que podem ser obtidos por meio de uma amostra da população em estudo. (PORTAL ACTION, 2017).

A estatística descritiva é utilizada para organizar, resumir e descrever os aspectos importantes do comportamento dos dados. Através dela, pode-se identificar anomalias até mesmo resultantes do registro incorreto de valores e dos valores extremos (aqueles que não seguem a tendência geral do restante do conjunto de dados). As ferramentas descritivas são os muito tipos de gráficos e tabelas, bem como as medidas de síntese: posição e dispersão. (PORTAL ACTION, 2017).

## **2.11 Controle Estatístico de Processo**

Segundo Rosário (2004), o Controle Estatístico de Processo (CEP) é uma ferramenta analítica de gestão que permite identificar os problemas que ocorrem em um processo de fabricação apoiando na distinção e levantamento das principais causas que levam a ocorrência da falha, assim como no direcionamento da concepção de ações corretivas, assegurando, principalmente, que estas oportunidades sejam identificadas durante o processo de produção e não em inspeções finais ou por reclamações de clientes. Assim, tem-se que o controle, baseado em análise estatística aplicada, possibilita uma gestão mais assertiva do processo para tomada de decisões mais precisas, possibilitando ações que atuam diretamente nas causas raízes do problema.

Assim, o CEP compreende a utilização de técnicas e métodos estatísticos de análise do comportamento dos dados do processo de produção com intuito de efetuar ações corretivas que permitam mantê-lo dentro de condições pré-estabelecidas, tendo como principal objetivo a redução da

probabilidade de produção de itens com qualidade insatisfatória. Este tipo de controle reduz custos por evitar desperdícios e retrabalho na operação, além de maximizar a produtividade, identificando e eliminando as causas de variações do processo. (GALUCH, 2002).

### **3. REFERENCIAL METODOLÓGICO**

O presente artigo é um estudo de caso realizado em uma unidade fabril de produção de aço cortado e dobrado na Bahia, embasado em uma pesquisa bibliográfica, com o intuito de dar suporte ao método quantitativo desenvolvido e aplicado de simulação matemática e estatística. O mesmo é caracterizado como exploratório-descritivo por utilizar procedimentos técnicos fundamentados pelos conceitos de produtividade, capacidade produtiva, demanda, ociosidade operacional de recursos, interrupção de máquinas, recursos operacionais de produção, quebra de ritmo, produção enxuta e controles internos de produção utilizados na pesquisa.

Esta pesquisa parte do princípio de que o estudo de um caso em profundidade pode ser considerado representativo de muitos outros, cujos objetos podem ser indivíduos, instituições, grupos, comunidades, etc. (GIL, 1999)

De acordo com Pinto, Aranha e Santos (2014), os métodos quantitativos são mais objetivos e mais célebres em mostrar verdades absolutas, as quais são nítidas àquele que acessa os dados. Os mesmos se denotam de uma acurácia efetiva em sua aplicação, ampliando a necessidade da busca pela verdade na ciência.

A pesquisa também contou com uma técnica de coleta de dados constituída pela pesquisa documental de relatórios financeiros e de performance operacional, além da bibliográfica, por meio de dados representativos coletados da organização estudada, no intuito de verificar os resultados alcançados em série temporal por meio de aplicação do método desenvolvido. Além disso, a análise foi realizada por experiência prática na

gestão da fábrica e pelos métodos estatísticos descritivos e indutivos aplicados na coordenação da unidade.

Segundo Lakatos e Marconi (2001), a pesquisa documental é a coleta de dados em fontes primárias, como documentos escritos ou não, pertencentes a arquivos públicos; arquivos particulares de instituições e domicílios, e fontes estatísticas.

#### **4. ANÁLISE DE DADOS**

O estudo em questão foi realizado em uma fábrica siderúrgica no Estado da Bahia de Corte e Dobra de Aço, pertencente a um grupo multinacional. A unidade fabril compreende uma estrutura de máquinas de portes variados, que tem por objetivo a fabricação de peças de preparação das armaduras usadas na construção civil. A matéria-prima recebida e aplicada à produção é o aço em vergalhão reto ou rolo. Este é cortado e dobrado nas máquinas, seguindo rigorosamente especificações e dimensões solicitadas por projeto demandado pelos clientes.

Com uma ampla linha de produtos comercializados, a companhia fez parte da construção e da modernização da Itaipava Arena Fonte Nova para a Copa do Mundo de 2014 e de importantes obras de infraestrutura para o Estado, como usinas eólicas, portos, pontes e estradas.

A unidade passou por um contínuo programa de atualização tecnológica e de aumento de capacidade instalada, além de receber investimentos para a capacitação técnica dos colaboradores, ampliação do sistema de proteção ambiental em 2012.

Para alcançar níveis crescentes de eficiência econômica, a fábrica de Corte e Dobra na Bahia foi concebida para beneficiar o cliente do mercado de construção civil com a otimização de suas obras, redução do risco de acidentes, ganho de produtividade, redução no tempo de armação e a perda zero de material.

Assim, a atual pesquisa apresenta um estudo para o aumento da produtividade operacional da fábrica e redução de custos na operação iniciada no segundo semestre de 2015 com o principal escopo de aumentar em três anos a produtividade operacional anual de 2014 (Volume de produção anual/Quantidade de pessoas x 12 meses) de 194 toneladas produzidas/homem x ano (t/H.ano) para 530 t/H.ano ao final de 2017 e, assim reduzir principalmente os custos fixos (Pessoal + Outros custos operacionais) que em 2014 apresentavam resultado anual de R\$ 642,00/tonelada (R\$/t) para um custo menor que R\$ 460,00/tonelada até final de 2017, de maneira a assegurar a sobrevivência da unidade, aumentando a sua rentabilidade.

A produtividade operacional é medida pela razão entre a quantidade produzida de aço cortado e dobrado no período analisado e a quantidade de funcionários utilizados para produzir no período multiplicado por 12 meses para se obter o resultado anual. Para o trabalho, o período analisado é anual e a quantidade de funcionários – cuja unidade denomina quadro de lotação (QL) – utilizados para produção é considerada a média de pessoas que a fábrica tem por mês no ano analisado multiplicado por 12. O Resultado final é lido como a quantidade que um colaborador é capaz de produzir em toneladas no período de um ano (t/H.ano). Assim como o custo operacional é dado pela razão entre todo o custo de produção (Fixo + Variável) e a produção no período de um ano (R\$/t), além do custo em Reais do período.

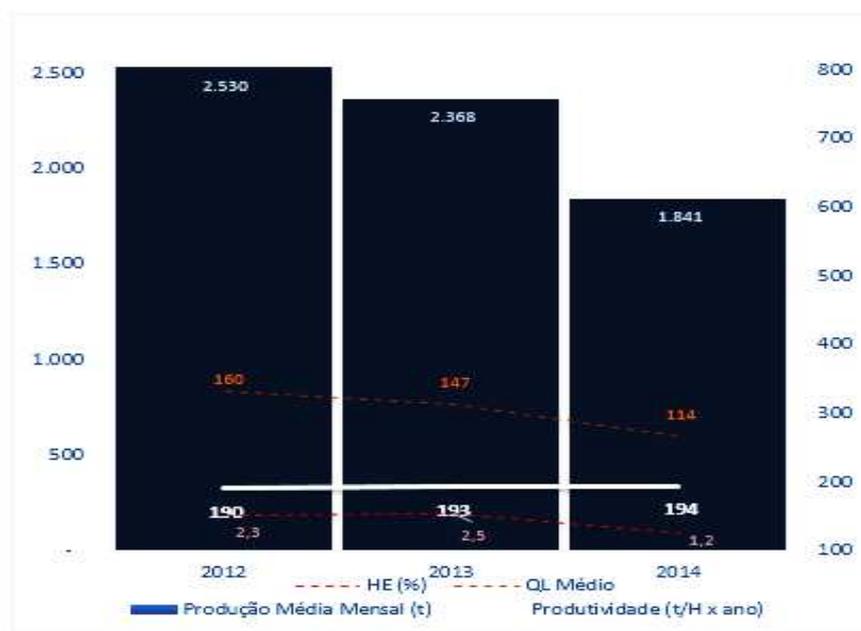
O principal objetivo deste trabalho é demonstrar o balanceamento adequado de recursos (pessoas + máquinas) por meio de utilização de ferramenta desenvolvida internamente, a qual auxilia na tomada de decisão em prol de uma utilização adequada dos recursos com base em análise de dados, através do método estatístico de análise temporal, considerando os efeitos de sazonalidade de cada período, sem prejudicar a capacidade produtiva e a qualidade do produto e do serviço, garantindo os prazos e até o aumento de velocidade do processo de produção e manutenção. Slack, Chambers e Johnston (2002) aponta que o aumento de produtividade operacional traz benefícios como: enriquecimento da oferta à demanda, redução de estoques,

satisfação dos clientes e redução de riscos da produção, aumentando a confiabilidade de atendimento à demanda.

Utilizando-se de métodos quantitativos de análise estatística dos dados, juntamente com uma ferramenta desenvolvida de simulação para balanceamento e uso adequado de recursos, realizou-se um estudo do problema que busca também orientar quanto ao método utilizado para aplicação adaptada em outras organizações, em negócios diversos.

Na etapa inicial, foram levantados dados de alta relevância para o estudo das variáveis e para a distribuição dos dados referentes à produtividade de 2012 a 2014 além do custo operacional, que serviram como base e motivação para o desenvolvimento do projeto, a partir do segundo semestre de 2015 com data de término ao final de 2017. Desse modo, observemos o gráfico a seguir:

**Gráfico 1. Série histórica de produtividade (t/H.ano) x produção média/mês (t) x quadro de lotação (QL) x hora extra (HE) de 2012 a 2014**

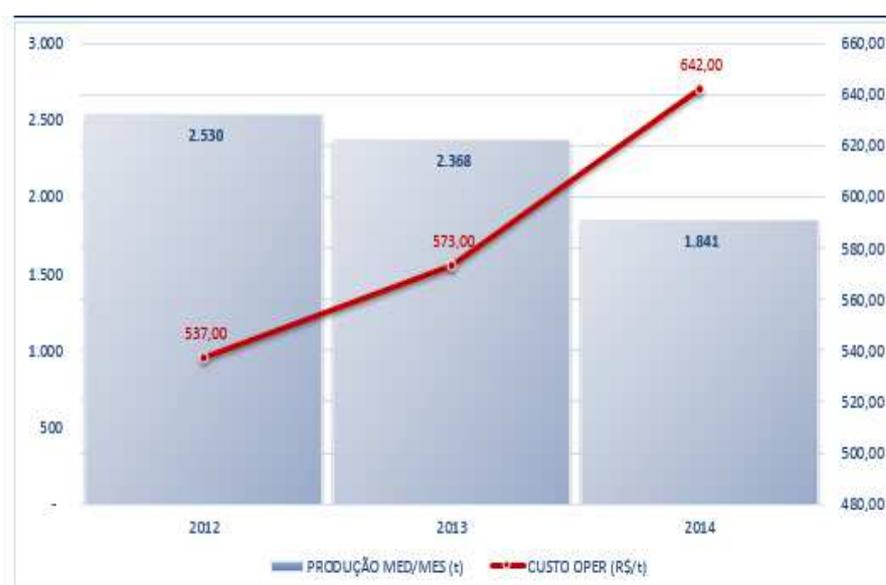


Fonte: Próprio Autor (2017)

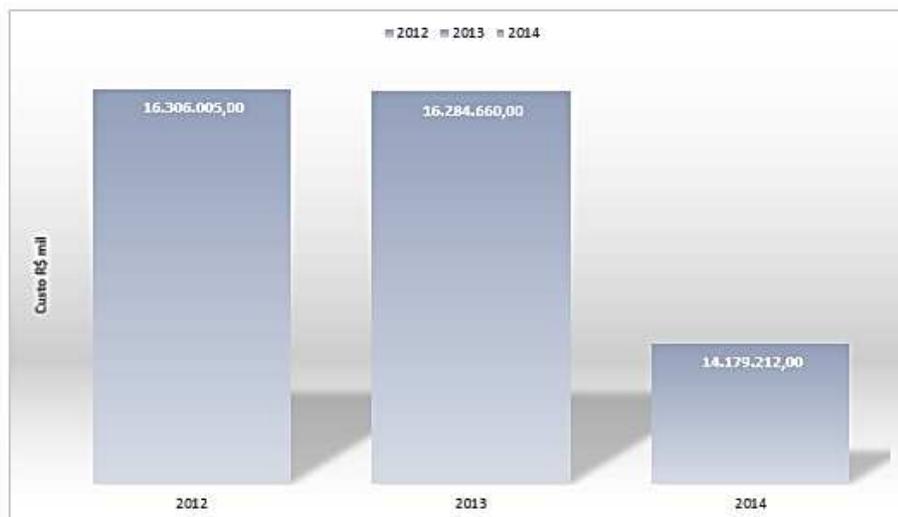
Por meio da análise do gráfico 1, avaliando-se os resultados do período, é possível assegurar que a produtividade apresenta uma baixa dispersão de maneira que os dados estão em controle estatístico de processo com uma

média em torno de 194t/H.ano e um coeficiente de variação menor que 1%, comprovando a homogeneidade dos dados analisados. Contudo, tal estabilidade na performance produtiva operacional demonstra que a eficiência do processo ainda é muito baixa para o negócio, pois mesmo com a constante queda no quadro de lotação médio/ano (QL – colaboradores/operadores) de 160 em 2012 para 114 em 2014, ainda assim não representou crescimento efetivo no desempenho operacional, sendo que até a hora extra demonstrou diminuição, de maneira que não houve correlação inversa pelo fato do QL ter sido reduzido, pois a demanda de produção média/mês também apresentou quedas consideráveis. Sendo assim, comprova-se que a fábrica não denota uma performance adequada para a sustentabilidade do negócio e para que a mesma se torne competitiva, faz-se necessário uma alavancagem em pelo menos 173% na produtividade operacional, alcançando patamares estáveis acima de 530t/H.ano. Além disso, tem-se também os gráficos de Custos Operacionais relativos à produção e absolutos (R\$/t e R\$) para análise no mesmo período:

**Gráfico 2. Evolução do custo operacional relativo (R\$/t) x produção média/mês (t) de 2012 a 2014**



Fonte: Próprio Autor (2017)

**Gráfico 3. Histórico do custo operacional/ano (R\$) de 2012 a 2014**

Fonte: Próprio Autor (2017)

Nesta etapa de planejamento, constatou-se também conforme gráficos 2 e 3, que o custo operacional relativo em R\$/t vem crescendo acentuadamente, em detrimento da forte queda de demanda de produção, apesar da unidade ter apresentado uma considerável queda no custo anual em 2014, em mais de R\$ 2.000.000,00. Ainda assim, este custo diluído na demanda de produção não foi suficiente para reduzir custo operacional relativo (R\$/t), o qual depende da produção, pois neste mesmo período houve uma queda de 22% no volume de produção em 2014, comparado a 2013. Além disso foi constatado que a redução do número de colaboradores, estabelecida ao longo do período, não foi suficiente para reduzir os custos relativos fixos na conta de pessoal, comprovando que a unidade não apresenta uma saúde financeira capaz de manter o negócio sustentável, pois, para que o mesmo tenha rentabilidade frente à competitividade do mercado, precisa-se buscar custos operacionais relativos a produção abaixo de R\$ 460/t e anuais absolutos menores que R\$ 10.000.000,00.

Para que estes indicadores de performance operacional sejam alavancados e os custos reduzidos, além de melhorias e incrementos no processo, é necessário que haja um balanceamento mais assertivo dos recursos (pessoas e máquinas) relacionado ao efeito de variação e

sazonalidade da demanda, de maneira que as decisões possam ser mais precisas para o alcance da quantidade correta e adequada de colaboradores e máquinas, com baixa margem de erro – que devem ser utilizados para operar da maneira mais “enxuta” possível, considerando-se uma capacidade realizada adequada para atendimento com produtividade e custos competitivos por meio, principalmente, da redução máxima de ociosidade e desperdícios, tornando o processo mais eficiente e eficaz, evitando perdas financeiras por falta de gestão e decisões errôneas na operação.

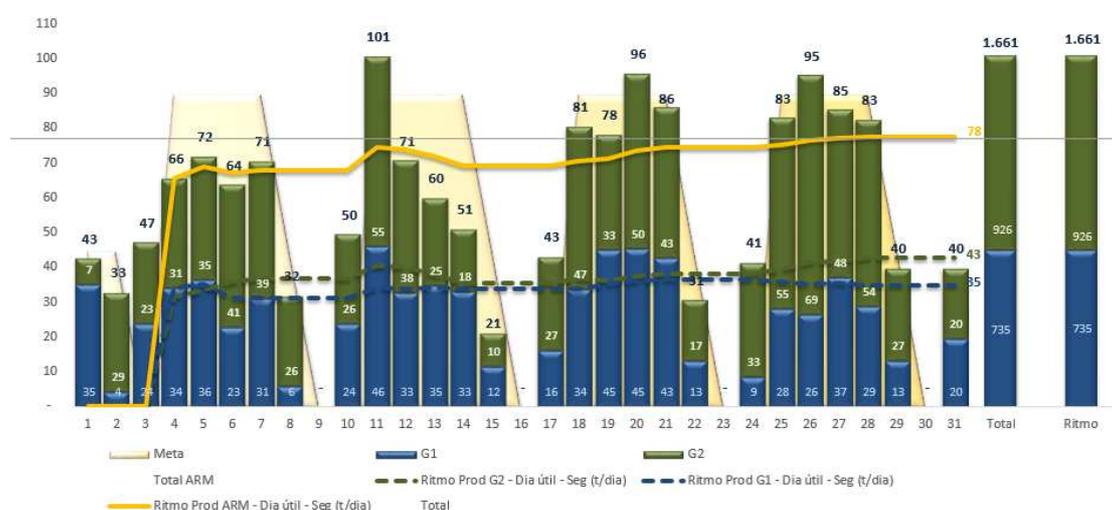
Assim, fez-se necessário o desenvolvimento de ferramenta estatística de acompanhamento diário da produção por máquina da fábrica, conforme tabela e gráfico abaixo:

**Tabela 2. Acompanhamento de produção diário (t) por máquina e galpão da fábrica de corte e dobra em julho/2017**

Fonte: Próprio Autor (2017)

Produção	26	27	28	29	30	31	Prod Total (t/h)	Indisp. DEE (%)	Prod Real (t/h)	Total (t)	Rep (%)	Méd (t)	DP (t)	CV (%)
FP-01	26,7	13,4	23,6	15,7			1,743	18%	1,432	368,1	22%			
FP-01 Sem (-Seg)	26,7	13,4	23,6				2,018	22%	1,580	302,1	18%	15,9	7,9	50%
FP-01 Sab				15,7			1,952	4%	1,882	43,6	3%	14,5	3,6	25%
FP-01 Dom							0,969	8%	0,890	22,3	1%	22,3		
FP-01 Seg							1,136	17%	0,947	52,0	3%	13,0	6,1	47%
CR-01	0,6	5,2	4,1			0,0	0,338	27%	0,245	44,9	3%			

**Gráfico 4. Acompanhamento diário de produção por galpão (G1+G2) em julho/2017** Fonte:



Próprio Autor (2017)

A fábrica de corte e dobra da Bahia é formada por dois galpões de produção distribuídos em 19 máquinas: 9 automáticas de corte e dobra e 1 semiautomática somente de dobra no galpão 1 e 5 automáticas de corte e dobra e 4 semiautomáticas somente de dobra no galpão 2. Vale ressaltar que o galpão 2 tem uma característica de produção com máquinas mais robustas que atendem ao mercado de energia eólica com produção de aço com bitolas (diâmetro da barra) grossas acima de 20mm até 40mm, já o galpão 1 atende mais ao mercado imobiliário e de infraestrutura com bitolas médias e finas de 4,2mm até 16mm. Em resumo, o galpão 2 normalmente produz mais em peso do que o galpão 1 em função da massa linear dada pela maior bitola.

A ferramenta desenvolvida, conforme tabela 2 e gráfico 4, por meio de análise e controle estatístico do processo busca acompanhar e observar o comportamento de produção diário por máquina, assim como sua produtividade e indisponibilidade geral, conseqüentemente, de toda a fábrica. Com a medição diária (Tabela 2) do volume de produção de cada máquina pelo tempo útil ( $\text{Produtividade} = \text{Volume de Produção (t)} / (\text{TU (h)})$ ), ou seja, o tempo real utilizado para a produção, desconsiderando-se a quebra de ritmo do operador, paradas por set-up, trocas de turno, paradas por falta de matéria-prima, falta de funcionário por tempo determinado, paradas por reunião, câmbio, manutenção corretiva, preventiva, etc., é possível calcular diariamente produtividade em toneladas/horas trabalhadas do operador e, ao final, a média diária de produtividade/máquina de maneira a se obter a capacidade real de cada recurso de acordo com a performance média de produtividade diária medida quando há produção. Vale ressaltar que a medição do tempo programado total na unidade observada inicia quando o colaborador acessa o sistema da máquina no início do turno e finaliza quando encerra a produção no sistema – que pode ser a qualquer momento no turno quando, o operador retira o usuário do sistema. Não obstante, mede-se a Indisponibilidade OEE de cada máquina diariamente [ $\text{Tempo Interrupção (Quebras Máquinas + Setup + outras)} / \text{TPP}$ ] e este indicador é fundamental para posteriormente calcular a capacidade real da fábrica. Para cada máquina, é medida a média de produção diária desconsiderando os dias que não há produção e a

representatividade de cada máquina em % de volume pelo total produzido. No exemplo acima, foi considerada a máquina FP-01 para exemplificação do controle.

Desta maneira, a performance operacional é medida diariamente e, conseqüentemente, mensalmente. Considera-se a produção mensal e a média diária, conforme a capacidade real diária de cada máquina para avaliar sua utilização e eficiência no processo produtivo, assim como a representatividade do volume produzido mensalmente em cada máquina, frente a toda produção da fábrica. É importante ressaltar que os dados são observados também separadamente nas produções em dias úteis: de terça-feira a sexta-feira; isoladamente às segundas-feiras, sábados e domingos em extra, excluindo os dias em que não há produção nas máquinas e geral, para fins de cálculo da média de produção diária somente nas datas em que houve produção de fato conforme tabela 2, pois dessa maneira pode-se estabelecer um relatório com menor margem de erro relacionada à capacidade diária de produção por meio de uma produção com menor variação, apresentando maior homogeneidade e segurança nos dados para a busca da capacidade adequada para o atendimento ao processo.

Toda essa análise estatística de produção diária serve de subsídio para o desenvolvimento da tabela de acompanhamento mensal de produção por máquina, conforme exposta abaixo:

**Tabela 3. Acompanhamento de produção mensal (t) por máquina e galpão da fábrica de corte e dobra de 2016 a JUL/2017**

Produção	Resumo 2016					jul/17					Resumo 2017							
	Total (t)	Rep (%)	Méd/dia (t)	Méd/Mês (t)	Produt (t/h)	Total (t)	Rep (%)	Méd/dia (t)	Produt (t/h)	Indisp. OEE (%)	Prod Real (t/h)	Total (t)	Rep (%)	Méd/dia (t)	Méd/Mês (t)	Produt (t/h)	Indisp. OEE (%)	Prod Real (t/h)
FP-01	3.839,9	20%	-	320,0	1,998	368,1	22%	-	1,743	18%	1,432	2.992,5	25%	-	427,5	2,248	14%	1,931
FP-01 Sem (Seg)	3.410,1	18%	14,2	284,2	2,003	302,1	18%	15,9	2,018	22%	1,580	2.675,8	22%	18,5	382,3	2,063	15%	1,763
FP-01 Sab	370,5	2%	9,5	30,9	1,980	43,6	3%	14,5	1,952	4%	1,882	287,4	2%	12,1	41,1	3,427	13%	2,997
FP-01 Dom	59,4	0%	19,8	4,9		22,3	1%	22,3	0,969	8%	0,890	29,3	0%	12,9	4,2	0,283	3%	0,275
FP-01 Seg						52,0	3%	13,0	1,136	17%	0,947	233,0	3%	11,3	46,6	1,776	15%	1,506

Fonte: Próprio Autor (2017)

A tabela resumo por mês (tabela 3) tem como principal objetivo registrar a produção média de cada máquina em cada mês do ano analisado, considerando o total produzido (t), a representação da produção (%) de cada máquina pelo total produzido, assim a média de produção diária e produtividade em t/h por máquina utilizada para produção em cada mês. Assim pode-se acompanhar a performance mensal da fábrica, observando o desempenho operacional e a produtividade dos recursos com o intuito principal de observar o comportamento operacional da unidade em cada mês analisado e que servirá de insumo direto para se criar a ferramenta analítica de balanceamento de recursos para melhorar a performance, aumentar a capacidade de cada máquina ou até mesmo diminuí-la em casos de queda de demanda.

Acompanha-se também, mensalmente, as taxas de indisponibilidade OEE de cada máquina utilizada no processo de produção da fábrica de corte e dobra. Este índice na unidade é medido pelo tempo das paradas relacionadas às falhas mecânicas ou elétricas que interrompem o processo de produção de determinada máquina, paradas por setup, quebra de ritmo, etc. Para calcular esta taxa, é necessário medir o tempo que determinada máquina ficou parada por interrupção mecânica, elétrica, setup mais quebra de ritmo e dividi-lo pelo tempo programado p/produção de cada máquina [Indisponibilidade Geral =  $(r + l) / (TPP)$ ]. Assim, tais cálculos são aferidos diariamente para se obter o resultado mensal para acompanhamento e controle estatístico.

Esse indicador é de extrema importância para se calcular a capacidade real da produção de cada máquina e conseqüentemente da fábrica, pois com este dado mensal é possível medir a probabilidade de interrupções dos equipamentos, de maneira que a capacidade pode ser reduzida em detrimento de possível quebra ou parada para reparos e ajustes. Dessa maneira, é possível chegar a uma confiabilidade mais real do atendimento à demanda prevista de determinado equipamento pela sua real capacidade.

Por meio da obtenção dos dados levantados de cada máquina relacionados às suas produtividades, capacidades, volumes de produção,

tempo disponível para operação, indisponibilidade por manutenção, colaboradores disponíveis, faz-se possível avaliar a performance de cada recurso e balanceá-los de acordo com a sua necessidade real, conforme dados históricos estatísticos de produção. Por meio de todas estas informações, construiu-se uma ferramenta de balanceamento de recursos referente às 19 máquinas da unidade fabril, conforme a tabela abaixo com o exemplo de uma máquina para análise de balanceamento e entendimento do método de simulação:

**Tabela 4. Análise de balanceamento de recursos – Real (Histórico) da máquina FP-01 da fábrica de corte e dobra**

Máquinas	Prod Total (t/h)	Prod Real (t/h)	Turno	Colaborador/Máq - Teórico (Qtde)	Turno/dia (Qtde)	Frequência Preventiva (a cada x meses)	PP Preventiva (%)	TPP (h)	Cap Efetiva (t/dia)	Indisponibilidade OEE (%)	Cap Real (t/dia)
FP-01	1,986	1,426	3T	1	3	1	2%	22,4	44,5	28%	31,9

Máquinas	Prod Real Méd/dia útil (t)	Prod Real Méd/Mês (t)	Performance OEE (%)	Tempo Oper Real (h/dia)	Colab. Atual/dia (QL)	Colab. Proposto (QL)	Balanco (QL)	Turno/Máq. Proposto	Balanco (Turno)
FP-01	16,2	374,7	51%	11,4	3	2	- 1,0	1,5	- 1,5

Fonte: Próprio Autor (2017)

Por meio das análises e do controle estatístico do processo de produção de cortado e dobrado da fábrica da Bahia, os dados operacionais registrados se constituem como insumos para a construção da ferramenta de balanceamento de recurso que visa auxiliar a gestão na tomada de decisão quanto à capacidade de cada máquina x demanda de produção, de maneira a avaliar a real necessidade de se manter os recursos, aumenta-los ou reduzi-los. No exemplo dado na tabela 4, é possível observar que a máquina opera com três turnos e consequentemente com três operadores, quando é constatado pela performance de 51% que sua capacidade real é muito maior que a demanda necessária, baseada no histórico dos últimos três meses. Assim é possível verificar que dois turnos com dois colaboradores atendem ao processo e assim é possível balancear o recurso, desligando um turno da máquina e adequando o número de colaboradores necessários para atender à operação, de maneira que este balanceamento gera a oportunidade direta de reduzir custo pessoal, energia, etc. Para desenvolver todo o modelo

matemático, é preciso entender a memória de cálculo de cada campo analisado (Apêndice A).

Por meio dessa ferramenta e modelo de simulação com todos os algoritmos elaborados (Apêndice A), é possível balancear os recursos da fábrica disponíveis para produção, desse modo o resultado final baseia-se na produção na performance, pois nesta taxa é possível identificar o tempo operacional real de cada recurso para atender a demanda, considerando o histórico dos últimos três meses. Assim, pela quantidade de turnos disponíveis e operadores de determinada máquina, é possível constatar a real necessidade de turnos, máquinas e operadores da unidade. O resultado final do modelo matemático é justamente a quantidade de colaboradores proposta e o turno por cada máquina, de acordo, obviamente, com o histórico de demanda de produção da média móvel dos últimos três meses de análise.

A partir desta mesma metodologia, é possível desenvolver uma ferramenta de previsão, cuja análise é bastante similar:

**Tabela 5. Análise de balanceamento de recursos – Previsão das máquinas da fábrica de corte e dobra**

Produção	1.795											
Máquinas	Prod. Total (t/h)	Prod Real (t/h)	Turno	Colaborador/Máq - Teórico (Qtde)	Turno/dia (Qtde)	Frequência Preventiva (a cada x meses)	PP Preventiva (%)	TPP (h)	Cap Efetiva (t/dia)	Indisponibilidade OEE (%)	Cap Real (t/dia)	
FP-01	1,986	1,426	3T	1	3	1	2%	22,4	44,5	28%	31,9	
Máquinas	Representação/Mês (%)	Prod Méd/Mês (t)	Prod Méd/dia (t)	Performance (%)	Tempo Oper Real (h/dia)	Colab. Atual/dia (QL)	Colab. Proposto (QL)	Balanco (QL)	Turno/Máq. Proposto	Balanco (Turno)		
FP-01	23%	406,5	18,5	58%	13,0	3	2	1,0	1,7	1,3		

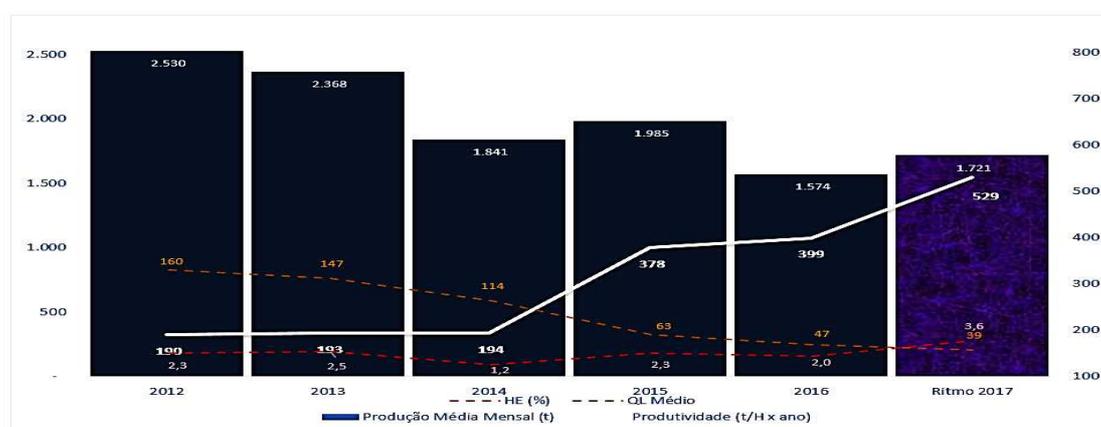
Fonte: Próprio Autor (2017)

Na tabela 5, acrescenta-se o percentual de representatividade de cada máquina, que é a relação média dos últimos três meses da produção de cada equipamento pela produção total da fábrica, assim, coloca-se uma produção prevista em um determinado mês e o percentual de representatividade gera o valor da produção/mês e conseqüentemente por dia, daí, calcula-se a performance prevista que servirá de base para o resultado de turnos e colaboradores propostos para esta previsão. No caso acima (Tabela 5), a máquina FP-01 tem uma representação média da produção total da fábrica nos últimos três meses de 23%, tendo em vista que a produção prevista é de

1.795t, a produção estimada do mês é de 406,5t o que em 22 dias de trabalho representa 18,5t/dia. Observando que a performance é de 58%, estima-se um tempo operacional de 13 h/dia, ou seja, será necessário aproximadamente dois turnos por dia de produção, contudo esta máquina tem uma disponibilidade de três turnos, possibilitando estimar que o recurso pode ser desligado em um (01) turno, podendo ainda reduzir-se a um colaborador. Segue abaixo tabela das fórmulas inseridas e que houve alteração no cálculo (Apêndice B).

Dessa maneira, por meio desses modelos de simulação Real + Previsão, foi possível balancear os recursos da fábrica no final do ano de 2015 e ao longo de 2016, de maneira que em 2017 já foi possível constatar grandes resultados de aumento de produtividade operacional e redução de custo pessoal da unidade, pois, com tal balanceamento, foi possível mitigar as ociosidades da fábrica e tornar a produção mais enxuta, somado obviamente a treinamentos operacionais de máquinas, inclusão de novas atividades e melhorias em infraestrutura, processos e comportamento da equipe operacional, além de reduções consideráveis na equipe de operação da logística por meio de extinção de algumas atividades, melhorias no processo, incorporação de atividades pela equipe de produção e redução de demanda. Destarte, segue abaixo um gráfico temporal dos dados de Produtividade Operacional (t/H.ano) do período de 2012 a julho de 2017 para constatação dos resultados alcançados:

**Gráfico 5. Série temporal histórica de produtividade (t/H.ano) x produção média/mês (t) x quadro de lotação (QL) x hora extra (HE) de 2012 a julho 2017**

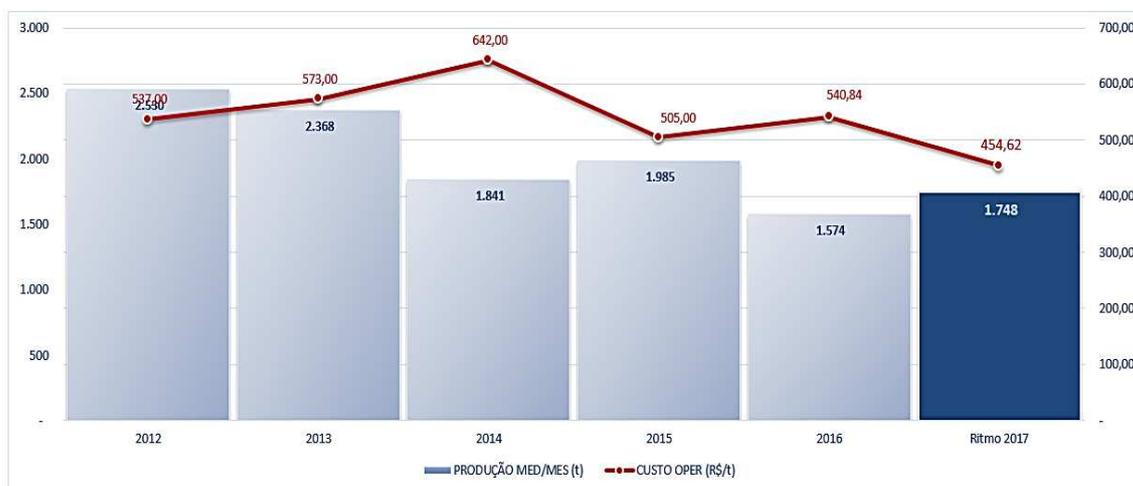


Fonte: Próprio Autor (2017)

Por meio da análise da série, avaliando os resultados do período (gráfico 5), é possível assegurar que a produtividade apresenta um acentuado crescimento a partir de 2015, período em que se iniciou a aplicação da metodologia e o estudo de balanceamento dos recursos. Do mesmo modo, observa-se que, no período de 2012 a 2014, a média da produtividade era em torno de 194t/H.ano com os dados bastante homogêneos e estáveis, porém ineficientes. A partir de 2015, constata-se uma forte queda no quadro de lotação médio/ano (QL – colaboradores/operadores) para 63, mesmo com um volume de produção médio/mês de 1.985t, ainda maior do que 2014. Em 2015, a produtividade praticamente dobrou comparada aos anos anteriores. Nos anos subsequentes, a produtividade continua crescendo e o ritmo em 2017, até o fechamento desta pesquisa, apresentava uma evolução de aproximadamente 40% em comparação com o resultado de 2015. É importante ressaltar a forte queda do número de colaboradores em 2017 para uma média de produção próxima a de 2014, em que se constava 114 operadores frente aos 39 operadores em 2017, com uma hora extra dentro do limite de 4% ao mês. Sendo assim, atualmente é possível comprovar de fato que a fábrica denota uma performance adequada e competitiva para a sustentabilidade do negócio, pois a mesma alcançou em 2017 patamares estáveis de aproximadamente 530t/H.ano.

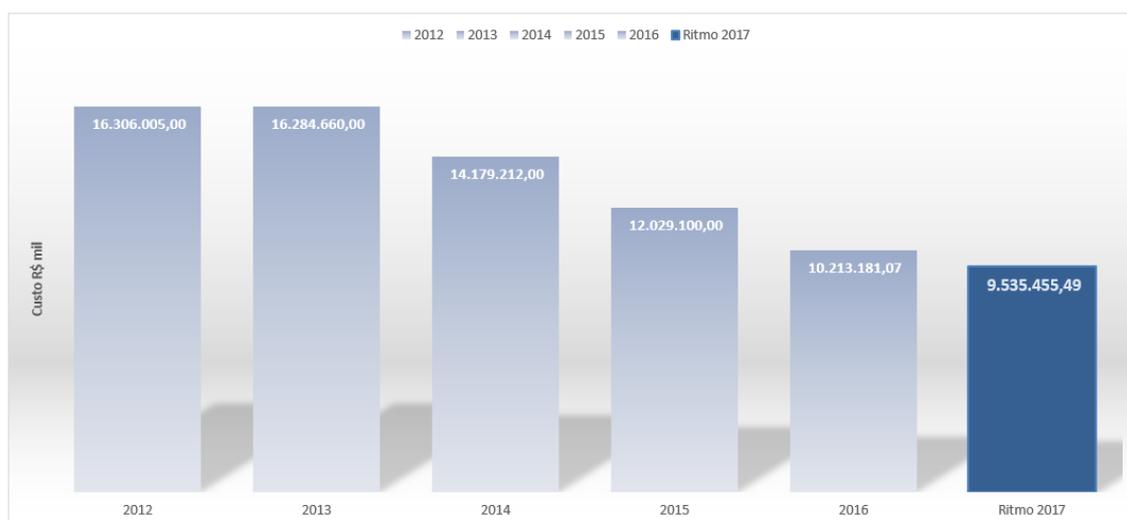
Além disso, tem-se também os resultados de Custos Operacionais relativos à produção e absolutos (R\$/t e R\$) para análise no mesmo período:

**Gráfico 6. Histórico de custo operacional relativo (R\$/t) x produção média/mês (t) de 2012 a maio 2017**



Fonte: Próprio Autor (2017)

**Gráfico 7. Gráfico histórico de custo operacional/ano (R\$) de 2012 a maio 2017**



Fonte: Próprio Autor (2017)

Nesta etapa de check e acompanhamento dos resultados financeiros vistos nos gráficos 6 e 7, constatou-se também que o custo operacional relativo em R\$/t (gráfico 6) vem caindo acentuadamente a partir de 2015, mesmo com a queda considerável do volume de produção a partir de 2016 e com a pouca recuperação ainda em 2017 até julho, comparando-se aos números dos anos anteriores a 2015. Ainda assim, em 2017, o ritmo do custo relativo é de R\$ 454,62/t, ou seja, o melhor custo operacional dos últimos cinco anos analisados. Não obstante, é possível constatar uma tendência de queda

contínua no custo operacional absoluto (gráfico 7) anual nos anos subsequentes ao início do trabalho, no 2º semestre de 2015, quando comparado o ritmo de 2017 x fechamento do custo anual de 2014. Após o trabalho de balanceamento de recursos com foco na redução do custo pessoal, é constatado uma queda R\$ 4.643.756,51, comprovando que o projeto, obviamente, com outras ações relacionadas a outros custos, é de total importância para a unidade de maneira que a mesma passa a apresentar uma saúde financeira capaz de manter o negócio sustentável, voltando a dar resultados de lucro para o grupo. A unidade passou a alcançar resultados estáveis com performance superior de produtividade de 525t/H.ano, além dos custos operacionais relativos menores que R\$ 460,00/t com os anuais absolutos menores que R\$ 10.000.000,00.

## **5. CONCLUSÃO**

Na presente pesquisa, é importante ressaltar que a aplicação prática da ferramenta de simulação para um balanceamento de recurso adequado proporcionou uma alavancagem na performance operacional do processo, aumentando sua produtividade, corroborando com o objetivo do trabalho de tornar o negócio competitivo e rentável, pois resultaram em reduções consideráveis de custos como meio da mitigação da ociosidade das máquinas e pessoas nos turnos de operação.

O estudo teve como destaque a fomentação da ferramenta que objetiva balancear adequadamente os recursos, além de apoiar no processo decisório da fábrica com ações que reduzem custos e despesas com consumo de energia elétrica, água, depreciação de máquinas, manutenções mecânicas e elétricas, assim como transportes, refeições, encargos sociais, assistência e benefícios sociais, licenças em geral e principalmente em operações correlatas cuja medida acaba por reduzir o número de funcionários de um setor. Neste caso de produção, é possível reduzir proporcionalmente de outros setores, como logística, administrativo, etc.

A melhoria observada corresponde a 173% em 2017 comparando-se a 2014, ano referência para o aumento do indicador, assim como, os custos absolutos já apresentaram quedas de aproximadamente 33% no mesmo período analisado.

Sendo assim, é possível concluir que esta pesquisa, a qual analisa a utilização de ferramenta de simulação matemática e estatística, gera um amplo portfólio de ações diretas e indiretas correlacionadas que apoiam a gestão da organização a tomar decisões que proporcionam resultados mais competitivos, corroborando com sua sobrevivência no mercado, aumentando sua rentabilidade e tornando o negócio viável e sustentável para operação, motivando os gestores de produção a utilizarem a ferramenta.

## **REFERÊNCIAS**

ANSOFF, I., 1965, Estratégia empresarial. S. Paulo: McGraw-hill 1977.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. Administração de produção e operações. São Paulo: Editora Atlas, 2004.

FALCONI, Vicente. O verdadeiro poder. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços, 2009.

GALUCH, L. Modelo para implementação das ferramentas básicas do controle estatístico do processo – CEP em pequenas empresas manufatureiras. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Fundamentos metodologia científica.. São Paulo: Atlas, 2001.

LEAN INSTITUTE BRASIL. São Paulo, c2017. Disponível em: <<https://www.lean.org.br/default.aspx>>. Acesso em 12 ago. 2017.

MACEDO, M.M. Gestão da produtividade nas empresas, Revista Organização Sistêmica, v. 1, n. 1, jan./jun. 2012.

MARCHWINSKI, Chet; SHOOK, John; LEAN ENTERPRISE INSTITUTE. Léxico lean: glossário ilustrado para praticante do pensamento lean. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2007.

MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando Piero. Administração da Produção. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. Administração da produção. Curitiba: UnicenP, 2007.

PINTO, Sandro C.M; ARANHA, Alexandre F; SANTOS, Carlos César R. Metodologia científica: artigo e relatório técnico e científico. São Paulo: All Print Editora, 2014.

PORTER, M. Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1986.

PORTAL ACTION: Ambiente virtual de aprendizado. São Carlos, c2017. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/ambiente-virtual-de-aprendizado>>. Acesso em: 23 abr. 2017.

ROSÁRIO, Marcelo B. Controle estatístico de processo: um estudo de caso em uma empresa da área de eletrodomésticos. 2004. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2004.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. Administração da Produção. São Paulo: Atlas S.A – 2. Ed. – 2002

VASCONCELLOS, M. A. S.; GARCIA, M. E. Fundamentos de Economia. São Paulo: Saraiva, 2004.

**APÊNDICE A – Quadro de fórmulas e observação da análise de balanceamento de recursos – Real (Histórico) das máquinas da fábrica de corte e dobra em 2016**

<b>ITENS</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>OBSERVAÇÃO</b>
<b>Prod. Total(t/h)</b>	Produção (t)/Tempo Útil (h)	Tempo útil considera exatamente o tempo de duração de produção da máquina excluindo as paradas programadas e não programadas diariamente, calcula-se a média móvel dos últimos 3 meses.
<b>Prod Real (t/h)</b>	Produção (t)/TPP (h)	Tempo programado de produção considera exatamente o tempo de duração de produção da máquina + paradas não programadas, excluindo as paradas programadas diariamente, calcula-se a média móvel dos últimos 3 meses.
<b>Turno</b>	Quantidade de turnos disponíveis para operação em 1 dia	Na empresa trabalha-se com 2 turnos diários no regime de 5x2, folgando nos finais de semana.
<b>Colaborador/Máq - Teórico (Qtde)</b>	Quantidade de colaboradores necessários para operação na máquina	
<b>Turno/dia (Qtde)</b>	Quantidade de turnos disponíveis para operação/dia	Turno 1: 7h às 16:48h Turno 2: 21:12h às 7h (Segunda a Sexta-Feira)
<b>Frequência Preventiva (a cada x meses)</b>	Periodicidade de preventiva (n <sup>o</sup> )	Ex: Mensal: 1 Bimensal: 2 Trimestral: 3
<b>PP Preventiva (%)</b>	(Parada Preventiva (h/dia) / (Duração <u>total</u> de um turno (h) x Quantidade de turnos disponíveis para operação no dia x 22 dias de trabalho x Frequência Preventiva (a cada x meses: n <sup>o</sup> ))	Considerar o tempo de duração <u>total</u> de um turno o tempo que o operador está disponível para trabalho na máquina, considerando também os tempos que o mesmo está em reunião de DDS pela manhã, higiene pessoal na saída e refeição, preventiva, corretiva ou seja, Tempo programado total (TPT).
<b>Tempo Oper/dia (h) - TPP</b>	(Duração de um turno (h) (TPP com Preventiva dia) x Quantidade de turnos disponíveis para operação no dia) – ((Duração <u>total</u> de um turno (h) (TPT dia) x PP Preventiva (%))	Considerar o tempo de duração do turno que o operador está disponível para trabalho na máquina, abatendo os tempos que o mesmo está em reunião de DDS pela manhã, higiene pessoal na saída e refeição, ou seja, paradas programada (TPP com Preventiva), nesta unidade considera-se: Refeição: 1h DDS: 20min Higiene Pessoal: 20min O TPP real só é encontrado após subtração das preventivas
<b>Cap Efetiva (t/dia)</b>	Produtividade (T/h) x Tempo Operação (h/dia) (TPP)	Tempo Operação = TPP TPP = Tempo Programado Total – Paradas Programadas
<b>Indisponibilidade (%)</b>	(Interrupção (h) / Tempo Programado p/Produção (h)	Indisponibilidade = 1- Disponibilidade  Dados relacionados a média móvel dos últimos 3 meses

<b>Cap Real (t/dia)</b>	Cap Efetiva - (Cap Efetiva x Indisponibilidade)	Cap Real = Cap Efetiva - % Indisponibilidade
<b>Prod Real Méd/dia útil (t)</b>	Cálculo médio de produção diária de cada máquina	Desconsidera os dias que não há produção, ou seja, os "zeros" para que a média tenha menor desvio padrão e seja observado a real necessidade de capacidade de produção diária, além da média móvel dos 3 últimos meses
<b>Prod Real Méd/Mês (t)</b>	Cálculo médio de produção mensal de cada máquina	Considera-se a média móvel dos 3 últimos meses
<b>Performance (%)</b>	Prod Real Méd/dia útil (t) / Cap Real (t/dia)	Os fatores que impactam diretamente na performance são: ineficiência dos operadores, materiais fora de especificação e falta de treinamento dos funcionários, quebras de máquina e etc.
<b>Tempo Oper Real (h/dia)</b>	Tempo Oper/dia (h) x Performance (%)	Tempo utilizado para identificar quantas horas de utilização de cada máquina são realmente necessárias de acordo com a demanda média de produção dos últimos 3 meses
<b>Colab. Atual/dia (QL)</b>	Quantidade de colaboradores real disponíveis para produção	
<b>Colab. Proposto (QL)</b>	Turno/Máq. Proposto x Colaborador/Máq - Teórico (Qtde)	Convenciona-se internamente que se os resultados estiverem entre: 1- 0,3 e 1,3 considera-se 1 x Colaborador/Máq - Teórico (Qtde) 2- 1,3 e 2 considera-se 2 x Colaborador/Máq - Teórico (Qtde) 3- > 2 considera-se N° x Colaborador/Máq - Teórico (Qtde)
<b>Balanço (QL)</b>	Colab. Proposto (QL) - Colab. Atual/dia (QL)	
<b>Turno/Máq. Proposto</b>	Tempo Oper Real (h/dia) / (Tempo Oper/dia (h) / Turno/dia (Qtde))	
<b>Balanço (Turno)</b>	Turno/Máq. Proposto - Turno/dia (Qtde)	

Fonte: Próprio Autor (2017)

**APÊNDICE B - Quadro de fórmulas e observação da análise de balanceamento de recursos – Previsão das máquinas da fábrica de corte e dobra**

<b>ITENS</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>OBSERVAÇÃO</b>
<b>Representação/Mês (%)</b>	Cálculo médio da relação da produção mensal de cada máquina pela produção da fábrica	Considera-se a média móvel dos 3 últimos meses
<b>Prod Real Méd/Mês (t)</b>	Representação/Mês (%) x Produção (Previsão)	
<b>Prod Real Méd/dia útil (t)</b>	Prod Real Méd/Mês (t) / 22 dias	

Fonte: Próprio Autor (2017)