



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JÉSSICA NOGUEIRA DE ANDRADE

**BALANCEAMENTO DE CÉLULAS DE PRODUÇÃO EM UMA EMPRESA DO
POLO DE CONFECÇÃO**

CARUARU

2019

JÉSSIKA NOGUEIRA DE ANDRADE

**BALANCEAMENTO DE CÉLULAS DE PRODUÇÃO EM UMA EMPRESA DO
POLO DE CONFECÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Gestão da Produção.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Tatiana Balbi Fraga.

CARUARU

2019

JÉSSIKA NOGUEIRA DE ANDRADE

**BALANCEAMENTO DE CÉLULAS DE PRODUÇÃO EM UMA EMPRESA DO
POLO DE CONFECÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à coordenação do Curso de
Engenharia Produção do Centro Acadêmico
do Agreste - CAA, da Universidade Federal
de Pernambuco - UFPE, em cumprimento
às exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Produção.

Área de concentração: **Gestão da
Produção.**

A banca examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o candidato
APROVADO com nota _____.

Caruaru, 11 de junho de 2019.

Banca examinadora:

Prof^a. DSc Tatiana Balbi Fraga _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof. DSc. Marcos Luiz Henrique _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof^a. DSc. Michele Mara de Araújo Espíndula Lima _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. DSc. Osmar Veras Araújo _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

AGRADECIMENTOS

Sozinha não poderia ter chegado a essa conquista.

Toda gratidão a Deus, que ao meu lado, me guiando todos esses anos e diante de tantas dificuldades, me proporcionou chegar até aqui.

Aos meus pais e irmãos, por serem parte de tudo que eu sou, por torcerem junto comigo para que esse dia chegasse, sempre me aconselhando e apoiando. Meus sobrinhos, por alegrarem a minha vida. E aos meus cunhados por todo apoio e incentivo. Sei que são vocês que posso sempre contar e compartilhar dos meus sonhos, desejos e conquistas.

A minha amiga Kamylla Atayza, com quem pude dividir durante anos o mesmo teto, por tantas noites em claro comigo, por todo apoio, ensinamento, amizade, risadas e choros. Juntas, sonhamos e batalhamos para chegarmos a esse momento. Te desejo todo sucesso e saiba que estarei aqui sempre que precisar.

A todos os mestres que compartilharam dos seus conhecimentos e experiências durante esses anos de graduação. Em especial a minha orientadora Tatiana Balbi Fraga, por todo apoio, conselhos e paciência durante a elaboração do meu projeto final.

Agradeço a universidade e todos seus funcionários pela oportunidade de crescimento.

Também gostaria de agradecer a empresa que me possibilitou executar esse projeto final, e a todos que de alguma forma colaboraram com a obtenção dos dados deste projeto, em especial a Diogo, Margaret e Wesley por tantos ensinamentos compartilhados.

E não poderia esquecer os meus tios, Cristina e Wagner, por sonharem e torcerem juntos comigo. Obrigada ao meu tio por tantas histórias e experiências contadas, e a minha tia por todo cuidado e carinho para comigo.

E, por fim, aos meus amigos e colegas que torceram por mim, me apoiaram e compreenderam minha ausência temporária.

RESUMO

O seguinte trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, proporciona a análise de proposta para utilização de um *Solver* desenvolvido para a realização do balanceamento de células de produção, de forma que tenha resultados mais rápidos e precisos. O estudo foi voltado para uma empresa de confecção, localizada no Polo de Confecção do Agreste Pernambucano, que está em mudança do seu arranjo físico, onde estão sendo criadas células de produção. A metodologia proposta seguiu a ordem de resolução: discursão breve de todas as etapas necessárias para realizar o balanceamento, descrição do método de como é realizado o balanceamento das células de produção pela empresa e, da metodologia proposta de solução, aplicação numérica das metodologias e ao final foram realizados testes do *Solver* utilizando o *LINGO* como ferramenta. Ao final foram destacadas algumas observações referentes ao uso do *Solver*, analisadas suas vantagens, desvantagens e propostas para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Balanceamento. Células de produção. *Solver*. *LINGO*.

ABSTRACT

The following work of Completion of Course, presented for obtaining the title of Bachelor in Production Engineering, provides the analysis of proposal for the use of a Solver developed for the realization of the production cell balancing, in a way that has faster and more accurate results . The study was aimed at a garment company, located in the Confectionery of Agreste Pernambucano, which is changing its physical arrangement, where production cells are being created. The proposed methodology followed the order of resolution: a brief discursment of all the steps necessary to carry out the balancing, a description of the method of balancing the production cells by the company and of the proposed solution methodology, numerical application of the methodologies and the Solver tests were performed using LINGO as a tool. In the end, some observations regarding the use of Solver were highlighted, their advantages, disadvantages and proposals for future work being analyzed.

Keywords: Balancing. Production cells. Solver. LINGO.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processos produtivos de qualquer indústria	17
Figura 2 – Tipos de processos	18
Figura 3 – Diagrama de precedência	21
Figura 4 – Decisão do arranjo físico	26
Figura 5 – Tipo de arranjos versus volume-variedade	28
Figura 6 – Tipos de arranjo físico	29
Figura 7 – Etapas anteriores ao balanceamento	33
Figura 8 – Modelo da planilha utilizada para o balanceamento	35
Figura 9 – Ferramenta LINGO: dados de entrada	37
Figura 10 – Máquinas X Operações	38
Figura 11 – Fluxograma do short	42
Figura 12 – Diagrama de precedência do short	42
Figura 13 – Balanceamento de célula de produção: modelo short	45
Figura 14 – Tempo de cada operador: modelo empresa	46
Figura 15 – Diferença entre os tempos: modelo empresa	47
Figura 16 – Arranjo físico célula modelo short	48
Figura 17 – Dados de entrada: teste 1	49
Figura 18 – Tempo de cada operador: teste 1	50
Figura 19 – Diferença entre os tempos: teste 1	51
Figura 20 – Dados de entrada: teste 2	51
Figura 21 – Tempo de cada operador: teste 2	52
Figura 22 – Diferença entre os tempos: teste 2	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Simbologia de fluxogramas utilizados para processos industriais.....	20
Tabela 2 – Dados de entrada: modelo short.....	41
Tabela 3 – Tempo de ciclo e quantidade de lotes	43
Tabela 4 – Cálculos dos dados de entrada	44
Tabela 5 – Tempo de cada operação para confeccionar cada pacote	44
Tabela 6 – Distribuição das operações entre os operadores e máquinas: modelo empresa.....	46
Tabela 7 – Distribuição das operações entre os operadores e máquinas: teste 1 ..	50
Tabela 8 – Distribuição das operações entre os operadores e máquinas: teste 2 ..	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Objetivos.....	13
1.2	Metodologia de realização do TCC	13
1.3	Problemática.....	14
2	EMBASAMENTO TEÓRICO	16
2.1	Processos produtivos.....	16
2.2	Tipo de processos das indústrias.....	17
2.2.1	Características dos tipos de processos.....	18
2.3	Estudo de Tempos.....	19
2.3.1	Técnicas de representação gráfica do processo.....	19
2.3.1.1.	<i>Fluxograma.....</i>	<i>20</i>
2.3.1.2.	<i>Diagrama de precedência.....</i>	<i>20</i>
2.3.2	Cronoanálise	21
2.3.3	Tempo total	22
2.3.4	Tempo Médio.....	22
2.3.5	Ritmo	22
2.3.6	Tempo Normal.....	23
2.3.7	Tolerância.....	23
2.3.8	Tempo Padrão.....	23
2.4	Capacidade Produtiva.....	23
2.4.1	Planejamento da produção	24
2.5	Arranjo físico.....	25
2.5.1	Decisão do arranjo físico	25
2.5.2	Definição	26
2.5.3	Objetivos do arranjo físico.....	27
2.5.4	Vantagens do arranjo físico	27
2.5.5	Mudança de arranjo físico.....	27
2.5.6	Tipos de arranjo físico.....	28
2.6	Célula de produção.....	29
2.6.1	Arranjo físico em célula de manufatura	29
2.6.2	Planejamento de células de produção	30

2.6.3	Balanceamento de células de produção	31
2.7	Modelagem matemática.....	31
2.8	Ferramentas de simulação.....	32
2.9	<i>LINGO</i>	32
3	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E DAS METODOLOGIAS DE SOLUÇÃO	
	APLICADAS	33
3.1	Descrição do problema estudado.....	33
3.2	Descrição da metodologia aplicada na empresa para realização do balanceamento.....	34
3.3	Descrição do <i>Solver</i> para realização do balanceamento.....	36
3.4	Aplicação da ferramenta <i>Solver</i>	37
3.4.1	Elaboração do arquivo de entrada (<i>input</i>).....	37
3.4.2	Interpretação dos dados de saída (<i>output</i>).....	39
4	ESTUDO DE CASO & APLICAÇÃO NUMÉRICA	40
4.1	Estudo de caso	40
4.2	Levantamento de dados	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
5.1	Balanceamento com a metodologia aplicada na empresa	45
5.2	Balanceamento com o <i>LINGO</i>	48
5.2.1	Análise de sensibilidade	49
6	CONCLUSÕES & TRABALHOS FUTUROS	54
6.1	Conclusões	54
6.2	Proposta de trabalhos futuros	54
	REFERÊNCIAS.....	56
	ANEXO A - TESTE 1	63
	ANEXO B - TESTE 2	73

1 INTRODUÇÃO

O balanceamento da produção atua como uma estratégia na gestão, podendo assegurar que o tempo que se leva para confeccionar um produto seja distribuído uniformemente entre os operadores, de forma a organizar as tarefas a serem executadas (GRZECHCA & FOULDS, 2015).

Esse tipo de problema teve origem na invenção de linha de montagem estimulada para produção em massa de produtos padronizados (GRZECHCA & FOULDS, 2015). Durante os primeiros quarenta anos de existência de linha de montagem, não foi utilizada nenhuma ferramenta para auxiliar no estudo desse tipo de problema, sendo apenas utilizado o procedimento de tentativa e erro (EREL & SARIN, 1998 *apud* GRZECHCA & FOULDS, 2015).

Atualmente esse tipo de problema continua sendo um desafio para os gestores, na maioria das vezes sendo necessária a avaliação de vários tipos de planos de balanceamento, podendo ser necessário lidar com soluções incertas. Desta forma, a utilização de heurísticas (FONSECA *et al.*, 2005) em *softwares* de modelagem (PINTONDO, 2016) que auxiliam no processo decisório está sendo cada vez mais aplicada (GRZECHCA & FOULDS, 2015).

Infelizmente essa não é uma realidade ainda para muitos que estão situados no Polo de Confeção do Agreste Pernambucano, devido ao fato dos empresários não possuírem conhecimento necessário, normalmente pela falta de uma formação adequada (95% destes possuem apenas o ensino médio), e também pelo fato de geralmente os empresários contratarem familiares para gerir a unidade produtiva, cujos graus de formação não são levados em consideração (SEBRAE-PE, 2012 *apud* FRAGA, 2018).

A busca por uma melhor produtividade está constante entre os gestores das empresas. E para as empresas de confecção essa busca está fortemente ligada ao arranjo físico da produção (SARAIVA, 2014).

A empresa em estudo está situada no Polo de Confeção do Agreste Pernambucano e atua no ramo de confecção, produzindo fardamentos e pijamas sob encomenda. Recentemente iniciou a mudança do seu tipo de processo, consequentemente o arranjo físico também, passando a ter dois tipos de processo. Para os produtos de maior demanda, seu tipo de

processo é em massa e o arranjo físico celular. Já para pedidos de menor demanda, o tipo de processo é por lotes e o arranjo físico é por processo (*job-shop*).

O foco deste trabalho será para os pedidos de maior demanda, no qual cada tipo de produto possui uma célula de produção. Para a construção do arranjo físico, é levado em consideração dois passos, mostrados a seguir. Para o caso em estudo, será para a construção do arranjo físico das células de produção.

Para Chiavenato (2005), o primeiro passo para se fazer antes de construir o arranjo físico, é conhecer o produto que será desenvolvido, quais materiais serão utilizados para a fabricação do mesmo, quais processos de produção e etc.

Para Saraiva (2014), o segundo passo para se fazer um bom arranjo físico de produção é o balanceamento da célula de produção.

O balanceamento de células de produção é fundamental para programar as células (OLORUNNIWO; UDO, 2002). Na empresa estudada é realizado o balanceamento para programar suas células de produção, porém não é utilizada nenhuma técnica ou ferramenta como auxílio, utilizando o método de tentativa e erro.

Diante disso, o trabalho considera a aplicação da metodologia adotada pela empresa e a utilização do *Solver* em linguagem LINGO (intitulado *LINGO based balancing Solver*, de autoria da Prof^a. Tatiana Balbi Fraga) para o balanceamento das células de produção, comparando os resultados e, em seguida, fazendo uma análise sobre as vantagens e desvantagens de ambas as aplicações.

O intuito deste trabalho é que a empresa estudada altere o desempenho do seu negócio, auxiliando-a se manter competitiva e a gerenciar melhor seus recursos operacionais e a sua mão de obra. É esperado que tal proposta tenha influência direta tanto no controle de produção quanto na qualidade e no planejamento da organização.

Com base nessa proposta, são definidos a seguir os objetivos, a metodologia aplicada no desenvolvimento do trabalho e a problemática do estudo.

1.1 Objetivos

No presente trabalho o principal objetivo consiste em auxiliar a resolução do problema de balanceamento de células de produção em uma empresa situada no Polo de Confeções do Agreste Pernambucano.

Para atingir o objetivo geral, buscaram-se seguir alguns objetivos específicos, tais quais:

- Aprender a utilizar o *LINGO*;
- Entender os dados de entrada e saída do *LINGO based balancing Solver*;
- Avaliar se utilizando o *LINGO based balancing Solver*, a empresa obtém resultados dos balanceamentos de forma mais rápida e eficaz.

1.2 Metodologia de realização do TCC

O presente projeto de TCC é subprojeto do projeto de pesquisa de FRAGA (2018). Assim, seus objetivos e metodologia foram desenvolvidos tendo como base o citado projeto de pesquisa. A metodologia de realização do TCC foi aplicada através das etapas apresentadas a seguir:

1ª etapa: revisão bibliográfica: essa etapa tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre o tema de problemas de balanceamento em células de produção;

2ª etapa: compreensão do problema: nessa etapa será realizado um estudo para compreender o problema de balanceamento com a finalidade de identificar as necessidades e prioridades do processo para confecção de um produto;

3ª etapa: balanceamento com a metodologia aplicada na empresa: nessa etapa será realizado o balanceamento de uma célula de produção da empresa usando uma técnica de tentativa e erro;

4ª etapa: aplicação da ferramenta *LINGO based balancing Solver*: nessa etapa será testado o *Solver* desenvolvido pela orientadora, utilizando a ferramenta *LINGO* para solução do problema estudado, buscando verificar a sua eficácia;

5ª etapa: comparação e análise: nessa etapa será realizada a comparação e análise de ambas as metodologias usadas para o balanceamento da célula de produção, e serão verificadas as vantagens e desvantagens de cada metodologia.

1.3 Problemática

O Polo de Confecções do Agreste Pernambucano teve participação considerável no quadro econômico de Pernambuco, sendo um dos que mais se desenvolve e cresce no setor de moda do país (FCEM, 2019).

Apesar do Polo de Confecção do Agreste ser parte importante na contribuição do crescimento do estado (JORNAL DO COMMERIO, 2017), foi observado que aplicação de técnicas e ferramentas para auxiliar na redução dos desperdícios e na otimização dos recursos ainda encontra-se embrionária, ou até inexistente, nas empresas deste setor (FRAGA, 2018).

Conforme apontado por Oliveira *et al.* (2012), é importante que as empresas façam uso de técnicas gerenciais para continuarem ativas e com maior participação no mercado, já que investir em alta tecnologia e *softwares* avançados é complicado para pequenas empresas (PITONDO, 2016). Dessa forma, pode-se conseguir melhorar o processo existente tendo bons efeitos (PITONDO, 2016), aumentando assim os seus ganhos que podem refletir na geração de novos investimentos (OLIVEIRA, 2012).

Uma das questões atuais que exige a aplicação de técnicas de Engenharia de Produção se trata da emergente mudança de arranjo físico das empresas do setor de confecções, passando de modelos do tipo *job shop* para células de produção. Essa alteração gera grandes benefícios, visto que, segundo Tam & Li (1991), sugere minimizar os custos, aumentar a qualidade das tarefas, melhorar o andamento da produção dentre outros.

Contudo, para as células serem instaladas, surge à necessidade da realização do balanceamento das diversas células, dificultando de forma significativa o processo de planejamento (MARTINS, 2006).

Nesse sentido, a importância do estudo sobre o balanceamento de células pode ser mensurado através das publicações científicas sobre o assunto.

Segundo Lemos & Torres (2014), o sistema de balanceamento de células de produção é a integração das abordagens determinística e estocástica. Esta publicação destaca que possíveis melhorias podem ser feitas através do uso de ferramenta de simulação computacional para demonstrar o real comportamento de um balanceamento de célula de produção.

Pitondo (2016) apresentou em sua publicação um estudo de viabilidade para criação de um novo arranjo físico na linha de produção em uma empresa de laticínios, onde foram usados para o balanceamento da linha de produção os cálculos do tempo de operações das máquinas, o limite de capacidade de produção e o total de funcionários. Para identificar o balanceamento ideal, Pitondo (2016) usou métodos heurísticos em um *software* de modelagem.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

É necessário que as empresas estejam preparadas para aumentar o desempenho do seu negócio, e assim conseguir acompanhar o crescimento, ficando a frente da concorrência no mercado. Uma forma de auxiliar os gestores para isso é aperfeiçoando suas operações. A mudança de arranjo físico pode ser uma alternativa para o aperfeiçoamento.

Para Chiavenato (2005), antes de construir o arranjo físico da empresa, é imprescindível conhecer o produto que será desenvolvido, quais materiais serão utilizados para a fabricação do mesmo, quais processos de produção e etc.

Este capítulo demonstra um embasamento teórico relacionado à teoria aplicada à construção de células de produção, baseado no balanceamento das células de produção, a qual fundamenta o trabalho. Dentre os temas estão os conceitos de processos produtivos, técnicas de representação de processo, tipos de processamento em manufatura, arranjo físico, arranjo físico em células de manufatura, análises estatísticas dos tempos e estudos de tempos, técnicas de balanceamento e o LINGO.

2.1 Processos produtivos

As organizações estão em busca de reduzir ao máximo o tempo ocioso das suas máquinas e funcionários, aumentar a qualidade e alcançar um padrão de eficiência e eficácia em seus processos produtivos (CÔRREA, 2013).

Estes, por sua vez, são os fluxos de tarefas ou etapas quem tem como entrada, chamada de *input*, os materiais, informações, pessoas, máquinas e/ou métodos e como saída, chamada de *output*, o produto físico, informações e/ou serviço (ADAIR & MURRAY, 1994; SLACK, 2009).

A Figura 1 mostra como é o processo produtivo de qualquer indústria, onde são necessários os recursos de entrada que serão transformados em dados de saída (*i.e.*, lotes de produtos).

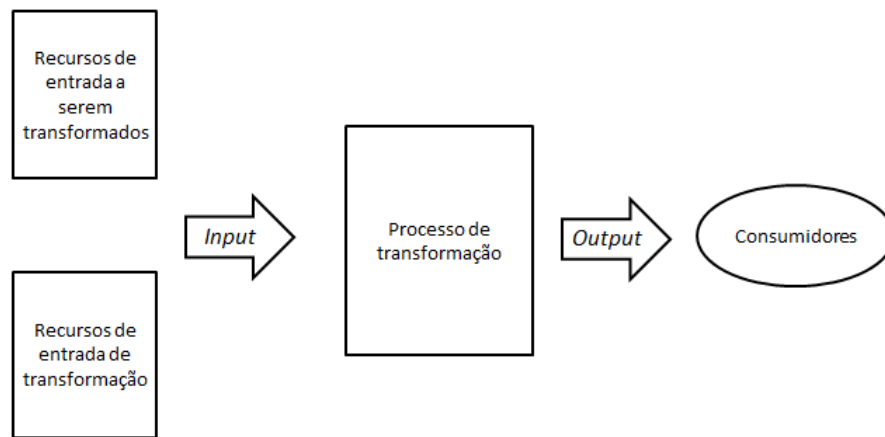


Figura 1 - Processos produtivos de qualquer indústria

Fonte: Adaptado de Slack et al. (2009)

Cada indústria tem seu tipo de processo que será usado na transformação dos recursos, porém, algumas características devem ser levadas em consideração na escolha do tipo: volume, variedade e a variação da demanda (SLACK *et al.*, 2009).

2.2 Tipo de processos das indústrias

O tipo de processo escolhido pela indústria vai depender da estratégia operacional que a empresa adota e dos tipos de produtos que são fabricados (MEIRE, 2013).

Slack *et al.* (2009) considera que operações produtivas diferentes podem adotar diversos tipos de processos e de arranjo físico, mesmo aquelas que estão dentro da mesma indústria.

Conforme a Figura 2 apresenta, para os processos de baixo volume se tem uma alta variedade de produtos ou serviços produzidos e vice-versa, assim, para a escolha do tipo de processo das indústrias deve ser levado em consideração o volume e a variedade dos produtos ou serviços (SLACK, 2002).

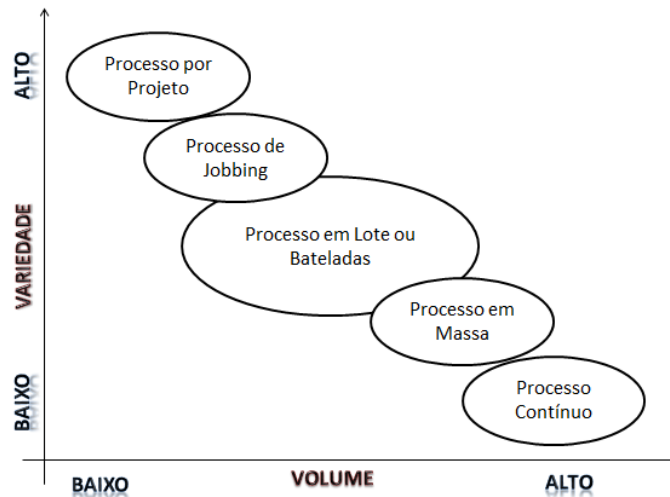


Figura 2 - Tipos de processos

Fonte: Adaptado de Slack et al. (2009)

Portanto, cada tipo de processo das indústrias apresenta características diferentes, as quais, de forma sucinta, serão apresentadas a seguir.

2.2.1 Características dos tipos de processos

Segundo Slack et al. (2009):

- **Projeto:** Produtos com bastante customização e longo tempo para fazer o produto. Baixo volume e alta variedade;
- **Jobbing ou processamento por tarefas:** Mesma operação é feita para diversos produtos. Quase não existe repetição e a maioria das vezes é um único trabalho, geralmente feito sob encomenda. Baixo volume e alta variedade;
- **Lotes ou bateladas:** Existe uma limitação da variedade de produtos; Não existe um padrão do fluxo de processo. O processo de produção é realizado em conjunto para mais de um produto, ou seja, quando o processo de produção termina para um lote, é produzido um novo lote. Volume e variedade são moderados;
- **Massa:** Atividades repetitivas e previsíveis. Produtos ou serviços são padronizados, onde os recursos são arranjados conforme o sentido da produção. Alto volume e variedade apertada;
- **Contínuo:** Fluxo sem interrupção; Alto volume e baixa variedade.

Decidido o tipo de processo da indústria, em seguida pode-se fazer a escolha do tipo de arranjo físico. Nesse sentido, de acordo com informações apresentadas no site do SEBRAE (2019) profissionais qualificados, como engenheiros, podem auxiliar na questão de alterações do fluxo das operações.

Mas, antes de elaborar um arranjo físico é indispensável à informação sobre a capacidade de peças/produto que será confeccionado (MARTINS & LAUGINI, 2005). Essa informação pode ser respondida através do Estudo de Tempos.

2.3 Estudo de Tempos

O estudo de tempos teve origem por Taylor no início do século XX (BARNES, 1977), e é utilizado como uma técnica de medida de trabalho, imprescindível a qualquer sistema de Gestão de Produção (GASPAR, 2016).

Alguns motivos são mais frequentes para a realização do Estudo dos Tempos. Pode-se determinar o tempo necessário para realizar uma tarefa, como também para tentar achar um padrão de referencia que servirá para: determinar a capacidade produtiva da empresa; elaborar programas de produção; determinar o valor de mão-de-obra; julgar o custo de um novo produto durante o período de criação; balancear as linhas de produção e montagens (PEINADO & GRAEML, 2007).

Para o Estudo dos Tempos é importante entender como o processo para executar as operações necessárias para criação do produto/peça é realizado. Como também para indicar o padrão de trabalho para executar as operações ou a regra do processo. Onde para isso existem algumas técnicas utilizadas.

2.3.1 Técnicas de representação gráfica do processo

Técnicas de representação gráfica são utilizadas para facilitar o entendimento do processo por parte de todos os envolvidos. Podem ser aplicadas para melhorar a concepção do trabalho, mostrando como o trabalho deve ser realizado, e/ou, designando um padrão de trabalho ou regra de procedimento (PEINADO & GRAEML, 2007).

Muitos projetos são iniciados com a representação gráfica do processo, onde o fluxograma é considerado o mais utilizado para isso.

2.3.1.1. Fluxograma

Fluxograma, também chamado de mapa de processo, descreve como as atividades inclusas no processo são relacionadas umas com as outras (SLACK *et al.*, 2009).

Para Slack *et al.* (2009) o objetivo do fluxograma é identificar os tipos de atividades e mostrar o andamento do fluxo de materiais, pessoas ou informações, tendo como vantagem o aperfeiçoamento do processo, assim aumentando sua eficiência (SLACK *et al.*, 2009).

Peinado & Graeml (2007) afirmam que o fluxograma é utilizado para facilitar a análise da sequência dos passos de qualquer tarefa onde são representados por meio de símbolos gráficos.

Slack *et al.* (2009) asseguram que, apesar de não existir símbolos utilizados em todo o mundo para um tipo de processo, existem alguns que são usualmente usados, conforme apresentados a seguir:

Tabela 1- Simbologia de fluxogramas utilizados para processos industriais

Símbolo	Descrição
	Início ou fim do processo.
	Atividade que precisa ser executada.
	Ponto de tomada de decisão. Cada decisão, positiva ou negativa, segue um caminho diferente.
	Indica a direção do caminho.
	Indica que o fluxograma prossegue a partir deste ponto em outro fluxograma utilizando o mesmo tipo de símbolo, sendo indicado com a mesma letra ou número em seu interior.

Fonte: Adaptado de Peinado & Graeml (2007); Slack et al. (2009).

2.3.1.2. Diagrama de precedência

Método simples de ser construído, que é utilizado para evitar problemas futuros, e através do qual são apresentadas as dependências ou interdependências entre as atividades à medida que se relacionam umas com as outras (BRUZZI, 2008).

Este método apresenta as atividades que são necessárias para confecção de um item representadas através de nós e que são conectados por setas para mostrar suas dependências (PMBOK, 2000). A Figura 3 representa um exemplo de diagrama de precedência.

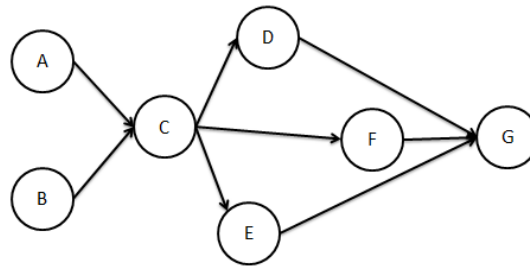


Figura 3 - Diagrama de precedência

Fonte: Adaptado de PMBOK (2000)

Há quatro tipos de relacionamento para este método (PMBOK, 2000):

- Término/Início (*finish-to-start*): tipo frequentemente mais usado; A atividade “de” (*from*) deve finalizar antes que a atividade “para” (*to*) inicie;
- Término/Término (*finish-to-finish*): a atividade “de” (*from*) deve finalizar antes que a atividade “para” (*to*) finalize;
- Início/Início (*start-to-start*): a atividade “de” (*from*) deve ter início antes que a atividade “para” (*to*) inicie;
- Início/Término (*start-to-finish*): muito pouco usado; A atividade “de” (*from*) deve ter início antes que a atividade “para” (*to*) finalize.

2.3.2 Cronoanálise

Gaspar (2016) diz que a técnica mais utilizada no Estudo dos Tempos é a cronoanálise.

A cronoanálise é realizar análises dos tempos que um operador leva para executar uma tarefa no processo produtivo, no qual é admitido um tempo e tolerância para as necessidades pessoais, quebras de máquinas admissíveis, entre outros (LOPES, 2017).

Lopes (2017) afirma que a viabilidade econômica, planejamento e previsões, arranjo físico da indústria, capacidade das máquinas e humana, programação de produção de acordo com as metas, controle de estoque, custos de produção, organização geral da empresa, entre outros, são os benefícios que a cronoanálise pode trazer para as indústrias.

É essencial que se façam vários registros dos tempos para conseguir uma média aritmética, sendo utilizado um cronometro para os registros (LOPES, 2017). Vale ressaltar que são ignorados os tempos registrados que fogem muito do valor das demais leituras (PEINADO & GRAEML, 2007).

A partir do registro dos tempos, alguns cálculos são necessários para definição do Tempo Padrão (TP) e, conseqüentemente, da Capacidade Produtiva (CP), onde serão explicados a seguir.

2.3.3 Tempo total

Tempo total é o somatório de todos os registros realizados para uma operação em específico.

TT representa o Tempo Total das leituras cronometradas.

Onde:

$$TT = \sum \text{leituras cronometradas} \quad (2.1)$$

2.3.4 Tempo Médio

TM representa o tempo médio.

$$TM = \frac{TT}{n} \quad (2.2)$$

n representa a quantidade de leituras realizadas.

2.3.5 Ritmo

Talvez a parte mais importante e difícil da cronoanálise seja o julgamento do ritmo (PEINADO & GRAEML, 2007). Por meio de observações do cronoalista, é julgado o ritmo do operador em comparação com seu próprio conceito de ritmo normal (PEINADO & GRAEML, 2007).

Quando o ritmo do operador é julgado normal, é atribuído um ritmo de 100%. Pode-se julgar o ritmo acima de 100% quando a velocidade do operador estiver acima do normal, ou abaixo de 100% para velocidades inferiores (PEINADO & GRAEML, 2007).

2.3.6 Tempo Normal

O tempo cronometrado ajustado a uma velocidade ou ritmo normal é chamado de tempo normal (PEINADO & GRAEML, 2007).

Esse tempo é definido pela seguinte equação:

$$TN = TM \times \text{ritmo} \quad (2.3)$$

Onde:

TN representa o Tempo Normal.

Para o TN são acrescentadas as tolerâncias para questões de necessidades pessoais, fadiga e esperas, procedendo ao TP da operação (BARNES, 1900).

2.3.7 Tolerância

A tolerância pode variar de país para país, de pessoa para pessoa, e de acordo a natureza e com o ambiente de trabalho (PEINADO & GRAEML, 2007). No Brasil, para trabalhos normais e que tenham condições de ambientes normais, as empresas estão utilizando tolerância entre 15% e 20% (PEINADO & GRAEML, 2007).

2.3.8 Tempo Padrão

O TP representa o trabalho executado pelo operador, onde são levadas em considerações as necessidades e tudo que pode impactar no tempo de processo (LOPES, 2017).

Para calcular o TP, o TN é multiplicado por um fator de tolerância para compensar o tempo que o operador não trabalha, devido suas necessidades pessoais ou por motivos alheios a sua vontade (PEINADO & GRAEML, 2007).

O TP é calculado da seguinte maneira:

$$TP = TN \times \text{tolerância} \quad (2.4)$$

2.4 Capacidade Produtiva

A partir dos tempos calculados no Estudo dos Tempos, pode-se mensurar a Capacidade Produtiva (CP) da indústria ou apenas de um setor (LOPES, 2017).

A CP é definida como o máximo de atividade que agrega valor, realizada em um determinado período de tempo sob condições normais (SLACK, 2002).

De acordo com Martins & Laugini (2005), para saber a CP da empresa também é levada em consideração a quantidade de funcionários, tempo que a empresa vai trabalhar e também os materiais que estão disponíveis para ajudar no desenvolvimento do produto (MARTINS & LAUGINI, 2005).

2.4.1 Planejamento da produção

Planejamento da produção é uma tarefa administrativa que tem como finalidade determinar, antecipadamente, as metas a serem alcançadas pela empresa e como será feito para ser alcançada da melhor maneira possível (CHIAVENATO, 1990).

O planejamento da produção é a relação da real necessidade da empresa juntamente com o que ela pode oferecer (SLACK, 2006). Por isso, o planejamento deve iniciar pela soma da quantidade de peças vendidas do produto, para assim poder identificar a real necessidade da quantidade de operadores, calculada da seguinte maneira:

$$\text{PROD. DIA} = \frac{\text{PEDIDO}}{\text{DIASTRAB}} \quad (2.6)$$

Onde:

PEDIDO representa a quantidade de peças do produto vendidas;

DIASTRAB representa a quantidade de dias úteis disponíveis para atender ao pedido.

Para atender a demanda pela procura do produto, é necessário determina a quantidade de peças quem devem ser produzidas por cada ciclo do lote. Onde, cada ciclo do lote refere-se aos minutos necessários para produzir um pacote. Cada pacote contém a quantidade de peças representada por PROD. CICLO, onde é calculada da seguinte maneira:

$$\text{PROD. CICLO} = \frac{\text{PRODDIA}}{\text{LOTES}} = \frac{\text{PROD. DIA}}{\text{MIN. DIA}} \times \text{TEMPOCICLO} \quad (2.7)$$

LOTES representa a quantidade de lotes que devem ser produzidos em um dia de produção;

TEMPOCICLO representa o tempo do ciclo, em minutos, que gasta para realizar as operações de cada pacote.

Bruzzi (2008) afirma que o tempo do ciclo é o tempo total que se leva para iniciar e finalizar um projeto, incluindo os tempos que agregam valor ou não.

E para finalizar o planejamento da produção, a quantidade de operadores (QT.OP) necessários para atingir as metas deve ser calculada. Sendo que, para saber essa informação, deve-se saber a produção que cada operador pode realizar (PROD.OP) em um dia de trabalho.

$$\text{PROD. OP} = \frac{\text{MIN. DIA}}{\sum \text{TP}} \quad (2.8)$$

$$\text{QT. OP} = \frac{\text{PROD. DIA}}{\text{PROD. OP}} \quad (2.9)$$

O cálculo anterior pode influenciar no planejamento da empresa, auxiliando na análise da necessidade de contratação e demissão dos operadores.

2.5 Arranjo físico

Decidido o tipo de processo da indústria, seguido do Estudo de Tempos, pode-se decidir qual o arranjo físico mais adequado.

2.5.1 Decisão do arranjo físico

Cada tipo de arranjo físico é mais adequado a um tipo de processo específico, mas não necessariamente é obrigado seguir as regras. Cada empresa deve adaptar ou alterar seus projetos de acordo com suas necessidades. A Figura 4 demonstra as decisões que são necessárias para decidir qual tipo de arranjo físico é mais adequado para empresa, de acordo com sua realidade.

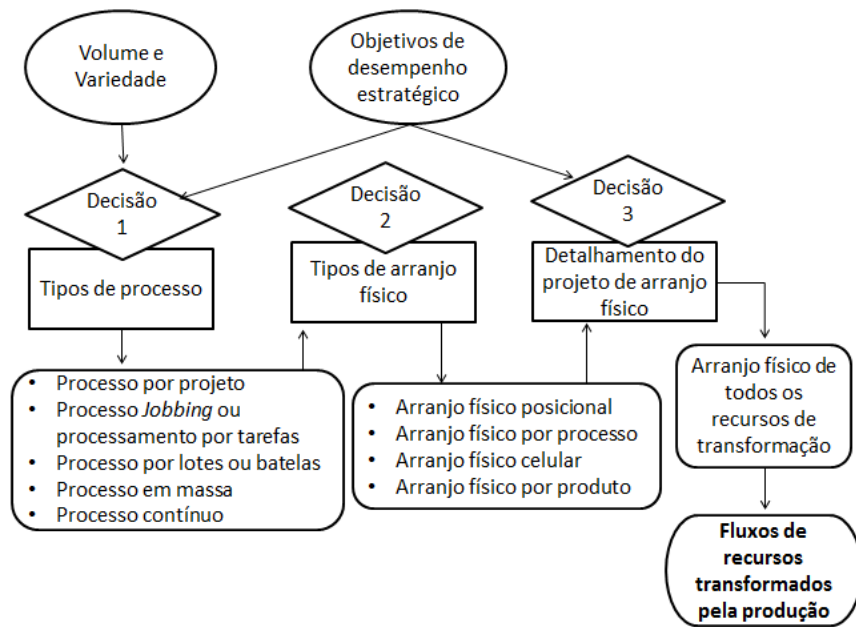


Figura 4 - Decisão do arranjo físico

Fonte: Slack et al. (2009) apud Wilmers (2019)

Para perceber a importância do arranjo físico e quais são os seus impactos na indústria, existe a necessidade de fazer a sua definição e descrever quais são seus tipos, características, objetivos e aplicações.

2.5.2 Definição

O arranjo físico de uma empresa é constituído pelo equipamento da indústria e como são distribuídos na linha de produção, no qual inclui o espaço adequado para movimentar qualquer atividade ou serviço, dependente de onde estejam alojados, seja ele no arranjo físico já acomodado ou que ainda esteja no papel (PUGLIESI & WALTER, 1989).

De acordo com Slack et al. (2009), o arranjo físico de uma operação ou processo é como as máquinas, equipamentos e pessoas são distribuídos uns em relação aos outros e como as múltiplas tarefas da operação serão distribuídas a esses recursos de transformação.

Para Chiavenato (2005), arranjo físico de uma empresa, ou até mesmo de um setor, é como máquinas e equipamentos são organizados dentro da indústria da melhor maneira possível e com um melhor aproveitamento do tempo, no qual, através de cálculos e definições instituídas de acordo com o produto a ser fabricado.

2.5.3 Objetivos do arranjo físico

Os objetivos para um bom arranjo físico identificados por Slack *et al.* (2009) são:

- Caminhos mais rápidos, diretos e previsíveis;
- Menor tempo dos processos;
- Operações flexíveis;
- Menores custos.

2.5.4 Vantagens do arranjo físico

O arranjo físico tem como vantagem aumentar a eficiência do sistema de produção através da forma como é relacionado o homem-máquina (JONES & GEORGE, 2008).

Shingo (1996) afirma que a distribuição das máquinas na indústria deve estar alinhada com o caminho do processo e não por tipo de máquina, também afirma que a melhoria do arranjo físico é gradual e separada por etapas, no qual proporcionam benefícios, tais quais:

- Encurtamento de horas-homem no transporte;
- Resposta mais rápida sobre os defeitos, no qual pode ajudar na sua redução;
- Diminuição de horas-homem ao encurtar ou abolir as esperas por lote ou por processo;
- Decréscimo no ciclo de produção.

Wild (1974) assegura que o arranjo físico sugere uma melhor organização do ambiente de trabalho, maior qualificação dos trabalhadores, redução nos tempos de ciclos dos processos, possibilidade de várias combinações de operações, mas tendo a escolha limitada, entre outras vantagens.

Os ganhos financeiros são vantagens alcançadas com um planejamento de arranjo físico eficiente e adequado, podendo ser levados em maior consideração pelos empresários (MARTINS, 2001; BALLOU, 2004).

2.5.5 Mudança de arranjo físico

Jiang & Nee (2013) afirmam que algumas características são necessárias para mudança de arranjo físico:

- Ter cuidado com o processo existente para não o tornar difícil por impossibilidade de modificações;
- Buscar praticar tarefas de pequenas escalas, como a retirada ou inclusão de um número de máquinas.

2.5.6 Tipos de arranjo físico

Para os tipos de arranjo físico, deve ser levado em consideração o volume e a variedade do produto final (SLACK *et al.*, 2009), conforme apresentado na Figura 5.

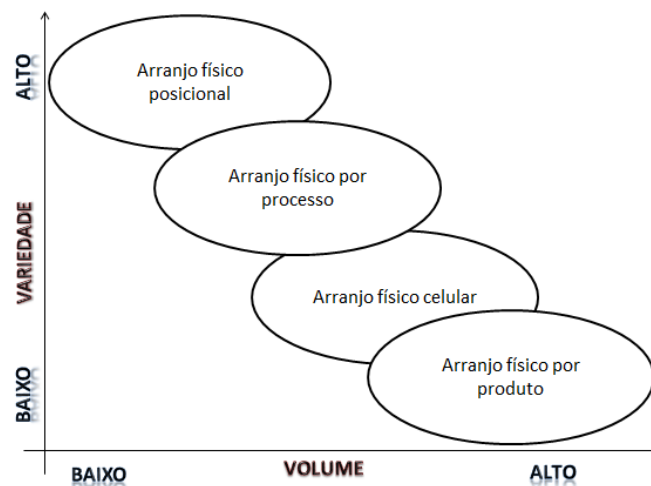


Figura 5 - Tipo de arranjos versus volume-variedade

Fonte: Adaptado de Slack *et al.* (2009)

São definidos por Slack *et al.* (2009) os tipos básicos de arranjo físico:

- **Arranjo físico posicional:** conhecido também como arranjo físico de posição fixa. Os materiais e pessoas que são utilizados para a transformação se movimentam entre os recursos que sofrerá a transformação;
- **Arranjo físico por processo (*job-shop*):** conhecido também como arranjo físico funcional. Para esse tipo de arranjo, os materiais ou processos parecidos são posicionados próximos. Os roteiros percorridos dependem da necessidade dos produtos ou clientes;
- **Arranjo físico celular:** os recursos que são transformados são escolhidos ou pré-escolhidos para movimentar-se para uma parte específica da operação (ou célula). A célula pode ser organizada com outro do tipo de arranjo físico;

- **Arranjo físico por produto:** também é conhecido como arranjo físico em fluxo ou em linha. Cada cliente, produto ou elemento de informação segue um percurso. Máquinas são posicionadas na mesma sequência de operações que o produto sofrerá.

A Figura 6 demonstra os tipos de arranjo físico.

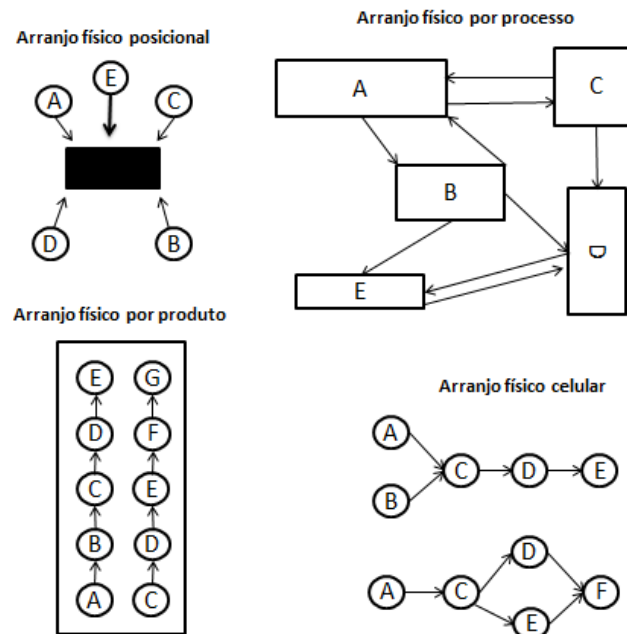


Figura 6 - Tipos de arranjo físico

Fonte: Adaptado Leveck (2019)

2.6 Célula de produção

A célula de produção foi inserida pela Toyota no Japão (CONTADOR, 2019), e consiste no trabalho cooperativo ou em conjunto de pessoas que formam um grupo harmonioso para atingir a produção, tendo como benefícios deixar as pessoas mais motivadas, melhorar a qualidade da produção e aumentar a produtividade (MEIRE, 2013).

2.6.1 Arranjo físico em célula de manufatura

Foram identificados por Contador (1991), quatros tipos de arranjo em célula de produção:

- **Por produto com predominância da máquina:** é o modelo típico usado pela Toyota. Resume-se a um operário operar mais de uma máquina, cada uma com uma função específica;
- **Por produto com predominância do homem:** é o modelo em quem os postos de trabalho são organizados na sequência das etapas do processo para fabricar um produto ou parte dele;
- **Por processo:** é o modelo em que são agrupadas operações que são realizadas por o mesmo tipo de máquinas realizado pelo mesmo operador;
- **Por posição fixa do produto:** é o modelo em que o produto fica fixo e os operadores trabalham em sua volta.

As células de produção também podem ser classificadas em funções. Para Contador (2019), são elas: (1) em função da quantidade de modelos do produto que será produzido na célula; (2) em função da quantidade de operários que irá trabalhar na célula; (3) em função da predominância sobre as tarefas, seja exercida pela máquina ou pelo homem.

2.6.2 Planejamento de células de produção

Para a montagem das células de produção é preciso realizar um planejamento.

Para Hales, Andersen & Fillmore (2004), devem-se seguir seis passos para realizar o planejamento de células de produção:

- 1º. Guiar o projeto: nesse passo deve-se organizar o projeto, identificar os objetivos, fazer as melhorias necessárias;
- 2º. Classificar as partes: nesse passo devem-se dividir as partes que competem à célula e as que não competem, como material, tamanho, entre outros;
- 3º. Analisar o processo: analisar o quanto será necessário de máquinas, pessoas e estações de trabalho para produzir a demanda;
- 4º. Adequar às células: o arranjo físico deve conter os equipamentos que serão utilizados, o percurso dos materiais, treinamento do pessoal e suporte a célula;
- 5º. Selecionar o melhor plano: deve ser feito a análise levando em consideração os custos envolvidos;
- 6º. Detalhar e programar o plano: devem ser definidos os equipamentos, localização dos operadores e ferramentas, corredores, posição da iluminação, entre outros.

As empresas vão agir sob incertezas, caso façam o planejamento de suas células de produção levando em consideração a demanda de longo prazo, podendo ficar no futuro, ociosa ou sobrecarregada, sendo necessária a reconfiguração da linha (SILVA, 2019).

A reconfiguração de uma linha de montagem é um problema de decisão chamado de problema de balanceamento de linha de montagem (CSILLAG, 1974).

2.6.3 Balanceamento de células de produção

De acordo com Dembogurski *et al.* (2008), uma das técnicas aplicadas nas empresas que buscam um diferencial, melhorando o desempenho de seus processos e simplificando a gestão, é o balanceamento de células de produção.

Csillag (1974) afirma que, o objetivo do balanceamento para esse tipo de célula é subdividir ou agrupar as tarefas necessárias, de modo que todos os grupos ou pessoas tenham tempos iguais para o processo de montagem. Cada operador poderá executar uma ou mais de uma operação no produto e em seguida encaminha para o próximo operador (CSILLAG, 1974).

Uma forma de realizar o balanceamento de células de produção é através da modelagem matemática.

2.7 Modelagem matemática

Samed *et al.* (2013) afirma que a modelagem matemática analisa a metodologia de transformar problemas reais em problemas matemáticos, em seguida resolve o problema para serem interpretados as soluções na visão do mundo real.

A representação simplificada de um sistema real pode ser considerada um modelo matemático (SODRÉ, 2007). O mesmo autor ainda afirma que a sua forma de representação é quantitativa, consistindo em um conjunto de equações que são determinadas em função de alguns valores que podem ser conhecidos ou previstos pelo mundo real, ainda podendo ser testadas através de comparações com os dados conhecidos ou previstas.

Esses testes e comparações podem ser realizados através da utilização de ferramentas de simulações.

2.8 Ferramentas de simulação

Ferramentas de simulação trazem informações mais precisas e rápidas para tomada de decisão. Por isso, está se tornando indispensáveis na resolução de vários tipos de problemas (LUCENA, 2005).

Carvalho *et al.* (2017) dizem que para os problemas de maior porte, que envolve muitas restrições e variáveis, estão sendo utilizados cada vez mais *software* baseado em técnicas de otimização.

Um exemplo de *software* que resolva problemas que envolvem restrições e variáveis baseados em técnicas de otimização se chama *LINGO*.

2.9 LINGO

O *LINGO* é um *software* de modelagem de otimização para programação linear, não linear e inteira, permitindo que o usuário minimize o tempo de desenvolvimento de forma simples e intuitiva (Lindo Systems Inc., 2019).

LINGO é uma ferramenta simples que tem a finalidade de encontrar a solução ótima de um problema, usada para formular problemas lineares e não lineares, resolvê-los e analisar suas soluções (LUCERO, 2002).

Essa ferramenta deixa que os modelos sejam expressos de forma compactada, como se estivessem sendo escritos em um papel, assim, facilitando a construção de modelos (LUCENA, 2005). Seus diferenciais em relação a outras ferramentas são, uma linguagem fácil, flexibilidade das suas funções e por permitir modificações rápidas no modelo, mas que não o altere (LUCENA, 2005).

3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E DAS METODOLOGIAS DE SOLUÇÃO APLICADAS

Aqui será descrito o problema de balanceamento das células de produção encontrado na empresa em estudo, e as respectivas metodologias de soluções aplicadas.

3.1 Descrição do problema estudado

A empresa em estudo está modificando seu tipo de arranjo físico, no qual estão sendo criadas células de produção com predominância do homem para os produtos que possuem maior demanda na empresa.

Para o planejamento de cada célula de produção é necessário realizar o balanceamento das operações entre os operadores, de acordo com seus objetivos e restrições, no qual a forma utilizada pela empresa é manual, do modo de tentativa e erro, logo, devido à falta de um *software* para auxiliar, o resultado do balanceamento pode não ser o ótimo.

Para iniciar o processo de balanceamento das células de produção, se faz necessário que algumas etapas sejam realizadas. A Figura 7 mostra quais são essas etapas.

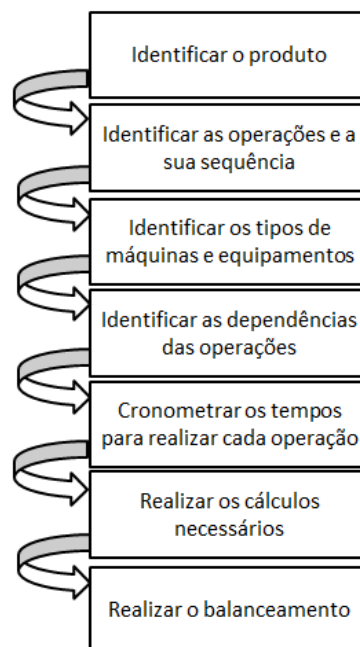


Figura 7 - Etapas anteriores ao balanceamento

Fonte: Elaborada pela Autora

Após as etapas que precedem o balanceamento terem sido realizadas, se tem os seguintes dados de entrada necessários para iniciar o processo de balanceamento:

- Operações e sua sequência;
- Máquinas utilizadas para cada operação;
- Dependência das operações;
- MINDIA;
- PROD. CICLO;
- PROD. DIA;
- QT. OP;
- TP para cada operação em centésimo de minutos.

A empresa não utiliza nenhuma técnica ou ferramenta que facilite a visualização da sequência das operações e as suas dependências. Os cálculos indispensáveis foram explicados nas Seções 2.3 e 2.4.

Visto quais são as etapas necessárias para realização do balanceamento, as metodologias utilizadas serão explicadas a seguir.

3.2 Descrição da metodologia aplicada na empresa para realização do balanceamento

Para realizar o balanceamento das células de produção na empresa é utilizada uma planilha do Microsoft Excel. O modelo dessa planilha será apresentado a seguir na Figura 8.

BALANCEAMENTO DE GRUPO									
MODELO									
DESCRICAO									
DATA									
QT. OPR									

MIN. DIA										
PROD DIA										
PROD CICLO										

SEQ.	MÁQUINA	DESCRICAO DA OPERACAO MAQUINA	Dep.	TEMPO PADRAO	NEC MAQ	MIN MAQ	BALANCEAMENTO POR OPERADOR(A) A 100%											
							MINUTO / HORA											
							Op. 1	Op. 2	Op. 3	Op. 4	Op. 5	Op. 6	Op. 7	Op. 8	Op. 9	Op. 10	Op. 11	
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
TEMPO CELULA A 100 %				0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
				Costura	00:00:00													

Figura 8 - Modelo da planilha utilizada para o balanceamento

Fonte: Dados fornecidos pela empresa (2018)

O tempo para processar a quantidade de peças de um lote para cada operação é calculado da seguinte maneira:

$$\text{TempoProces.} = \text{TP} \times \text{PROD. CICLO} \quad (3.1)$$

O objetivo para o balanceamento realizado na empresa é que todas as operações sejam distribuídas entre os operadores, e que o tempo total para cada um seja igual ou bem próximo ao tempo de ciclo para processar cada lote. Cada operador tem habilidade em alguma operação, mas não empata dele realizar outra operação que não tenha tanta habilidade.

Cada operador deve ficar com pelo menos uma operação, a que ele tenha mais habilidade para executá-la. E para os casos em quem o operador fique com mais de uma operação, o balanceamento é realizado da seguinte maneira:

1. A busca é realizada por uma operação que seja precedente da operação em que o operador já vai executar, e que seja realizada no mesmo tipo de máquina. Caso o somatório dos tempos ultrapasse o tempo de ciclo, é realizada outra busca;
2. A próxima busca é realizada da mesma forma que foi descrita anteriormente, eliminando a restrição de precedência. Caso não exista essa possibilidade, é realizada outra busca;

3. A próxima busca é por uma operação aleatória que consiga preencher o tempo total do ciclo para o operador.

É utilizado um lote intermediário para cada operação, onde a célula só é iniciada quando se tem um lote preparado. Esse lote é referente à quantidade de peças da produção do ciclo e deve estar preparado às operações antecedentes a que vai ser realizada.

A produção do lote só passa para o próximo operador após ter sido totalmente preparado.

O intuito desse lote intermediário é que os operadores não fiquem parados, já que existe a possibilidade de um operador fazer mais de uma operação e os tempos não serem os mesmos para todas as operações.

3.3 Descrição do *Solver* para realização do balanceamento

Foi desenvolvido pela orientadora deste projeto, Prof^a. Dr^a Tatiana Balbi Fraga, um *Solver* em linguagem *LINGO* para uma possível utilização no balanceamento de células de produção. O *Solver* foi intitulado de: *LINGO based balancing Solver*.

O *LINGO* foi escolhido devido sua fácil linguagem e por permitir incluir de forma rápida e fácil informações ao modelo, sem que o altere. Além disso, o *LINGO* tem sua versão gratuita, que apesar de limitar seu acesso, pode ser utilizado com bons benefícios.

O objetivo do *Solver* desenvolvido foi minimizar a máxima distância do tempo dos operadores em relação ao TEMPOCICLO. Para calcular essa distância foi criada uma variável chamada de DIF.

Esse termo de penalidade é utilizado como parâmetro no *LINGO based balancing Solver* para justificar a retirada de uma máquina no balanceamento. De forma que, retirando uma máquina, o tempo do operador não pode ser superior ao Limit Processing time. Assim, caso seja interessante para a empresa reduzir o número de máquinas, com acréscimo no tempo de ciclo inferior à penalidade, a solução com menor número de máquinas e maior tempo de ciclo será aceita.

O intuito do *LINGO based balancing Solver* é o de alcançar a solução ótima para função definida a seguir:

$$\text{MIN (quantidade de máq. utilizadas} \times \text{termo de penalidade)} + \text{MÁX. |DIF|} \quad (3.2)$$

3.4 Aplicação da ferramenta *Solver*

Nesta seção será explicada como é a elaboração dos dados de entrada na aplicação do *LINGO based balancing Solver* e a interpretação dos seus dados de saída.

3.4.1 Elaboração do arquivo de entrada (*input*)

A Figura 9 mostra o modelo usado como arquivo de entrada dos dados da ferramenta LINGO para realizar o balanceamento de células de produção.

```
! Number of employees;
~

! Number of machines;
~

! Number of operations;
~

! Ideal cycle time;
~

!Limit Processing time;
~

!Penalty term;
~

! Processing time;
! Pt Cadeia - Pt Cadeia Adap - Pt Cadeia - Pt Cadeia - Elástico - Pt Cadeia - Galoneira;
```

~

Figura 9 - Ferramenta LINGO: dados de entrada

Fonte: LINGO (Elaborado pela orientadora)

Nesta ferramenta devem ser colocados os seguintes dados de entrada:

- Quantidade de operadores, representado por: `Number of employees;`
- Quantidade de máquinas, representado por: `Number of machines;`
- Quantidade de operações para confeccionar o produto, representado por: `Number of operations;`
- Tempo do ciclo, determinado por: `Ideal cycle time;`

- Tempo limite de processamento, representa o tempo máximo que um operador pode ter, representado por: `Limit Processing time`;
- Tempo de penalidade, no qual somado ao tempo do operador, é analisado se o tempo ultrapassa o tempo de limite de processamento, representado por: `Penalty term`;
- Operações e sua sequência;
- Tipo de máquinas utilizadas em cada operação;
- TempoProces. de cada operação, representado por: `Processing time`. (Conforme Equação 3.1).

Os cálculos necessários devem ser realizados conforme foram apresentados nas Seções 2.4 e 2.5.

No `Processing time` os TempoProces. são colocados da seguinte maneira no LINGO:

		MÁQUINAS						
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
OPERAÇÕES	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	7							

Figura 10 - Máquinas X Operações

Fonte: Elaborada pela Autora

As linhas são consideradas as operações em sua sequência e as colunas as máquinas. Onde, para cada operação é colocado o TempoProces. Caso a operação não possa ser realizada naquela máquina, é atribuído um valor bem acima do limite de processamento. Com isso, o *LINGO based balancing Solver* é forçado a procurar outra máquina para realizar a tal operação.

3.4.2 Interpretação dos dados de saída (*output*)

É indispensável interpretar a distribuição das máquinas, operações e tempos entre os operadores.

O tempo designado para cada operador é interpretado pela variável `OPERATOR_TIME( X)`, e a sua diferença com o `Ideal cycle time` é dado pela `DIF( X)`, usado para atingir o objetivo do Solver.

O resultado da variável `MACHINE_OPERATOR( X)`, menciona qual vai ser o operador que vai operar a máquina X. E o resultado para o `OPERATOR( X)` refere-se a operação que o operador X irá realizar.

O resultado da variável `PROCESSOR( X)`, menciona o operador que irá realizar a operação X.

O valor dado como resultado para a variável `PROCESSING_TIME( X, Y)`, menciona o valor que a operação X é realizada na máquina Y.

E por fim dos dados de saída temos a variável `ALLOCATION ( X, Y, Z)`. Quando tiver como resultado o valor 1, refere-se que a operação X, será realizada pelo operador Y e na máquina Z.

4 ESTUDO DE CASO & APLICAÇÃO NUMÉRICA

Nesta seção será descrito o estudo de caso relacionado ao balanceamento de células de produção da indústria de confecção, e será demonstrado como é realizado o levantamento dos dados necessários para realização do balanceamento.

4.1 Estudo de caso

O problema escolhido para este projeto foi o balanceamento de células de produção, levando em consideração uma empresa de confecção situada no Polo de Confecção do Agreste Pernambucano.

O processo de balanceamento das células de produção na indústria de confecção inicia do entendimento de como são os processos para confeccionar o produto que se deseja. Em seguida, pode-se dar início a cronometragem dos tempos para realizar cada operação que seja necessária. Após isso, os cálculos são imprescindíveis para identificar o tempo padrão das operações, a necessidade de materiais e de pessoas. A partir daí o balanceamento pode ser realizado.

O balanceamento das células de produção se dá a distribuição uniforme das operações necessárias para fabricar um ou mais de um produto entre os operadores. Onde, na região do Polo de Confecção do Agreste, a prática em utilizar alguma técnica ou *software* para auxiliar os gestores na decisão do problema de balanceamento não é utilizada pela grande maioria, inclusive pela empresa que está sendo estudada.

A empresa examinada trabalha sob encomenda, confeccionando pijamas e fardamentos, no qual existe uma variação da demanda dos produtos que a empresa oferece. Recentemente, foi iniciada uma mudança do seu arranjo físico, devido à busca por melhores práticas, procurando ter uma melhor produtividade.

O foco deste trabalho será nos produtos que possuem maior demanda na empresa, onde o processo produtivo é em massa e o seu arranjo físico do tipo celular. Aos poucos estão sendo criadas células de produção para cada tipo de produto que é mais vendido.

Para criação das células se faz necessário todo um levantamento de dados. A seguir serão expostos os dados de um modelo de short confeccionado na empresa.

Esse modelo foi o escolhido para ser utilizado como teste neste trabalho, devido a ser a menor célula existente na empresa, com a menor quantidade de máquinas, operações e operadores. Assim, facilitando o estudo, mas não interferindo no objetivo deste trabalho.

4.2 Levantamento de dados

O levantamento dos dados refere-se a todos os dados que são de necessidade para criação de células de produção.

A Tabela 2 expõe os dados de entrada que necessitam para realizar o balanceamento: as operações e sua sequência, a dependência das operações, tipo de máquina para realizar cada operação e o TP para cada uma.

Tabela 2 - Dados de entrada: modelo short

Sequência	Operações	Dependência	Tipo de máquinas	TP (centésimo de minutos)
1	Fechar lateral	-	Ponto cadeia	0,798
2	Pregar friso na barra	1	Ponto cadeia adaptada	0,471
3	Fechar entrepernas	2	Ponto cadeia	0,917
4	Fechar gancho frente e costa	3	Ponto cadeia	0,911
5	Pregar elástico	4	Máq. de elástico	0,218
6	Fechar emenda	5	Ponto cadeia	1,093
7	Rebater elásticos	6	Galoneira	0,494
7				4,902

Fonte: Elaborada pela Autora

Na Seção 2.3 foi exposta a forma que é realizada para calcular o TP de cada operação. Foi realizada uma amostra de 20 tempos de cada operação. O ritmo de cada operador foi julgado 100% para todos, devido à empresa está em fase de treinamento dos seus cronometristas, para que possam iniciar os julgamentos de forma correta. E para a tolerância das operações foram julgadas 20%, já que a empresa ainda está em fase de estudo para encontrar este valor.

Como forma de melhor visualização da sequência das operações para confeccionar o short, foi realizado o fluxograma, apresentado pela Figura 11:

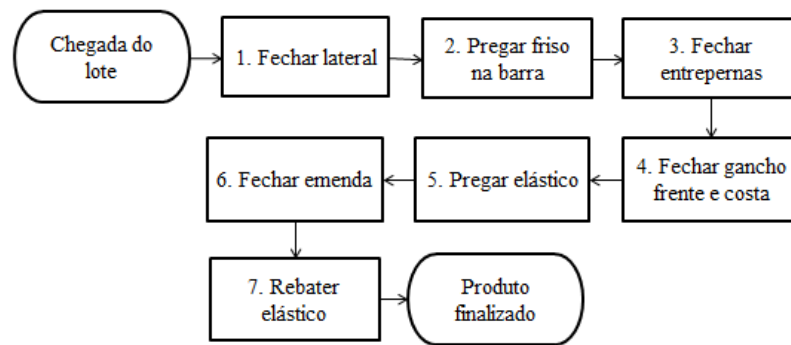


Figura 11 - Fluxograma do short

Fonte: Elaborada pela Autora

De acordo com a figura anterior, pode-se realizar o diagrama de dependência, para melhor visualização das dependências entre as operações, apresentada pela Figura 12.



Figura 12 - Diagrama de precedência do short

Fonte: Elaborada pela Autora

A partir da figura anterior, pode-se observar que, para a operação 2 iniciar, a operação 1 tem que ter sido finalizada, e assim por diante. Caso contrário, o operador da operação 2 ficará parado aguardando que a operação 1 seja finalizada.

Para iniciar os cálculos dispostos na Tabela 4, se faz necessário saber a quantidade de pedidos que a empresa tem para esse modelo de short e de dias úteis para atender ao pedido, os minutos disponíveis que a empresa trabalha e o tempo de ciclo.

- PEDIDO = 8.100 = peças;
- DIASTRAB = 15;

Os minutos trabalhados de segunda a quinta são diferentes da sexta, mas todos os dias tem uma hora de almoço, das 12:30 as 13:30, e 10 minutos de lanche, das 10:00 as 10:10. O horário trabalhado das segundas as quintas é das 07:27 as 17:27, resultando em 520 minutos, e nas sextas é das 07:27 as 16:27, resultando em 460 minutos.

O tempo de ciclo determinado pela empresa foi de 58 minutos, conforme foi visto que fica bem ajustado aos minutos trabalhados do dia da empresa. A Tabela 3 apresenta o horário de cada lote de produção, conforme seu horário de trabalho.

Tabela 3 - Tempo de ciclo e quantidade de lotes

LOTE	HORÁRIO
1	07:30 – 08:28
2	08:28 – 09:26
3	09:26 – 10: 34
4	10:34 – 11:32
5	11:32 – 12:30
6	13:30 – 14:28
7	14:28 – 15:26
8	15:26 – 16:24
9	16:4 – 17:22

Fonte: Elaborada pela Autora

E, também foi escolhido esse tempo, pelo fato de a empresa ter uma revisão de qualidade de 100% da sua produção. Assim, a cada lote é verificado se está acontecendo algum problema para deixar as peças com defeitos, podendo o problema ser solucionado imediatamente, não sendo prolongado para os lotes seguintes.

Na Tabela 4 são mostrados como foram realizados os cálculos dos dados de entrada para realização do balanceamento, conforme foram apresentados na Seção 2.4.

Tabela 4 - Cálculos dos dados de entrada

Dados	Cálculos
PROD. DIA	$PROD. DIA = \frac{PEDIDO}{DIASTRAB} = \frac{8100}{15} = 540 \text{ peças}$
PROD. CICLO	$PROD. CICLO = \frac{PROD. DIA}{MIN. DIA} \times TEMPOCICLO = \frac{540}{520} \times 58 \cong 60 \text{ peças}$
PROD. OP	$PROD. OP = \frac{MIN. DIA}{\sum TP} = \frac{520}{4,902} \cong 106,08$
QT. OP	$QT. OP = \frac{PROD. DIA}{PROD. OP} = \frac{540}{106,08} \cong 5 \text{ operadores}$

Fonte: Elaborada pela Autora

A tabela a seguir mostra o TempoProces. para realizar cada operação.

Tabela 5- Tempo de cada operação para confeccionar cada pacote

TP × PROD. CICLO (60)	
Operação	(min)
Fechar lateral	47,88
Pregar friso na barra	28,26
Fechar entrepernas	55,02
Fechar gancho frente e costa	54,66
Pregar elástico	13,08
Fechar emenda	65,58
Rebater elástico	29,64

Fonte: Elaborada pela Autora

Explicado como foram realizados os levantamentos dos dados, segue abaixo o resultado do balanceamento da célula que produz o short, utilizando a metodologia aplicada na empresa e a ferramenta LINGO.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são expostas as principais implicações obtidas neste estudo e, para o que for de importância, será realizada uma análise de sensibilidade.

5.1 Balanceamento com a metodologia aplicada na empresa

A seguir será demonstrado o resultado do balanceamento da célula de produção do short e serão feitos comentários que sejam pertinentes ao assunto.

BALANCEAMENTO DE GRUPO

MODELO	1
DESCRICAO	Short Doll
DATA	12-jul-18
QT. OPR	5

MIN. DIA	520
PROD DIA	540
PROD	60,0

LANCEAMENTO POR OPERADOR(A) A 10											
SEQ.	MÁQUINA	DESCRICAO DA OPERACAO		TEMPO	NEC	MIN	MINUTO / HORA				
		MAQUINA	Dep.	PADRÃO	MAQ	MAQ	Op. 1	Op. 2	Op. 3	Op. 4	Op. 5
1	Ponto Cadeira	Fechar Lateral	-	0,798	0,80	47,9	47,9				
2	Ponto Cadeira Adap.	Pregar Friso na Barra	1	0,471	0,47	28,3					28,3
3	Ponto Cadeira	Fechar Entrepernas	2	0,917	0,92	55,0		55,0			
4	Ponto Cadeira	Fechar Gancho Frente e Costa	3	0,911	0,91	54,7			54,7		
5	Máquina de Elástico	Pregar Elástico	4	0,218	0,22	13,1	13,1				
6	Ponto Cadeira	Fechar Emenda	5	1,093	1,09	65,6				65,6	
7	Galoneira	Rebater Elástico	6	0,494	0,49	29,6					29,6
TEMPO CELULA A 100 %				4,902	4,90	294,1	61,0	55,0	54,7	65,6	57,9

Costura 00:04:54

Figura 13 - Balanceamento de célula de produção: modelo short

Fonte: Dados fornecidos pela empresa (2018)

O balanceamento realizado pela empresa teve como resultado a necessidade de 7 máquinas, distribuídas entre os operadores para realizar suas devidas operações, conforme é apresentado na tabela a seguir.

Tabela 6 - Distribuição das operações entre os operadores e máquinas: modelo empresa

Operador	Operação	Sequência	Tempo	Máquinas
1	Fechar lateral	1	61	1
	Pregar elástico	5		5
2	Fechar entrepernas	3	55	3
3	Fechar gancho frente e costa	4	54,7	4
4	Fechar emenda	6	65,6	6
5	Pregar friso na barra	2	57,9	2
	Rebater elástico	7		7

Fonte: Elaborada pela Autora

Como melhor forma de observar o resultado dos TempoProces. para cada operador, foi elaborada a Figura 14.

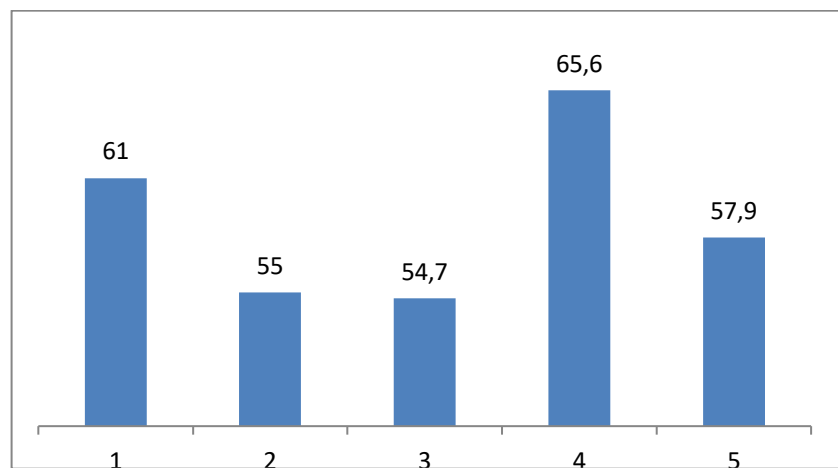


Figura 14 - Tempo de cada operador: modelo empresa

Fonte: Elaborada pela Autora

Podemos observar que existe um desnivelamento na distribuição dos tempos, ou seja, uns operadores ultrapassam o tempo do ciclo, já outros ficam abaixo. Esse procedimento necessário para que nenhuma pequena parte da operação seja dividida com outro operador.

O engenheiro responsável pelo balanceamento da empresa, junto com a gerente de produção, acredita que os operadores que ficaram com seu tempo acima do tempo de ciclo de, possam ficar habilitados nas suas respectivas operações, devido à frequência repetitiva em realiza-la, assim conseguindo baixar seu tempo.

Já os operadores que ficaram com o tempo abaixo, podem iniciar o lote intermediário que se tem, ou, caso seja necessário, ajudar a outro operador na operação que esteja fazendo gargalo por algum motivo.

No início da sua execução é feito um acompanhamento para realizar possíveis ajustes para que consiga nivelar o tempo dos operadores.

A diferença entre o TempoProces. e o TEMPOCICLO pode ser observada na figura abaixo.

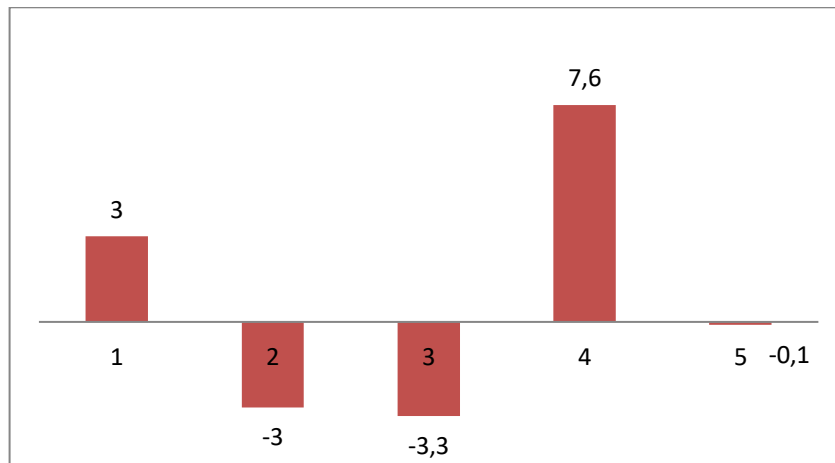


Figura 15 - Diferença entre os tempos: modelo empresa

Fonte: Elaborada pela Autora

Podemos ver que o operador 4 ficou com um tempo muito acima, sendo o operador que merece atenção especial inicialmente. Caso com os acompanhamentos ele não consiga baixar seu tempo, algumas peças do lote serão divididas com outro operador que esteja com tempo folgado.

Após realizar o balanceamento, o arranjo físico da célula pode ser montado. Segue a baixo o modelo utilizado na empresa para confeccionar o short.

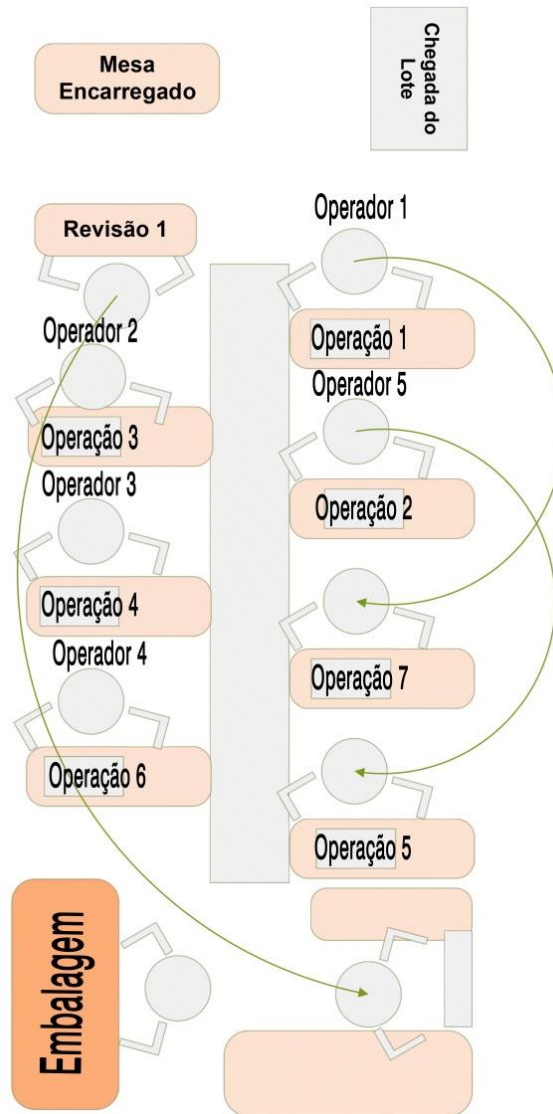


Figura 16 - Arranjo físico célula modelo short

Fonte: Dados fornecidos pela empresa (2018), adaptado pela Autora

Podemos observar que os operadores 1 e 5, são destinados a ficar com mais de uma operação, tendo que ser realizadas em máquinas diferentes, terão que se deslocar. Os demais operadores ficarão fixos em seus locais. A bancada no meio da célula serve para passarem os lotes de um operador para o outro, quando não é necessário o encarregado cortar e/ou desdobrar as peças para poder entregar ao próximo operador.

5.2 Balanceamento com o *LINGO*

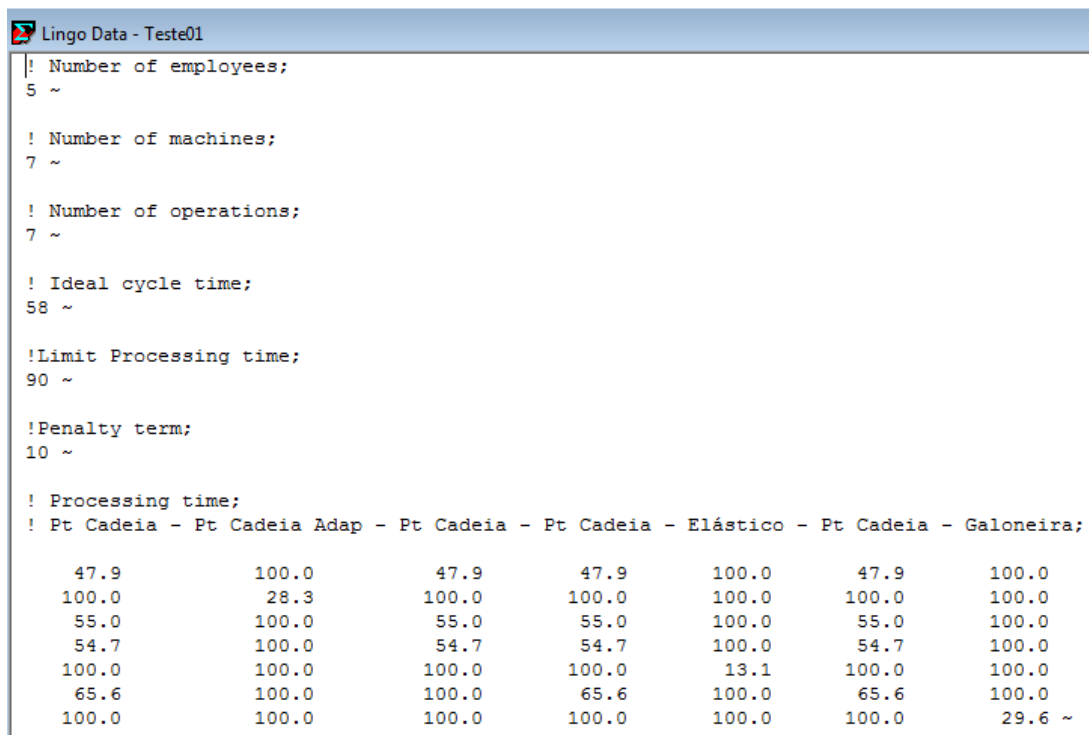
Nesta seção serão demonstrados dois testes, realizados para analisar seus resultados e avaliar a possibilidade do uso da ferramenta *LINGO based balancing Solver* para

balanceamento dos operadores nas células de produção da empresa estudada. Onde, a autora deste trabalho, como uma futura Engenheira de Produção, foi capaz de analisar e interpretar os resultados dos dados da ferramenta *LINGO*. Os resultados interpretados estão dispostos nos Anexos A e B.

5.2.1 Análise de sensibilidade

Para realizar a análise de sensibilidade serão utilizados dois testes modificando apenas o termo de penalidade.

A Figura 17, mostra quais foram os dados de entrada para realização do teste 1, utilizando a metodologia proposta para este trabalho.



Lingo Data - Teste01

```

! Number of employees;
5 ~

! Number of machines;
7 ~

! Number of operations;
7 ~

! Ideal cycle time;
58 ~

!Limit Processing time;
90 ~

!Penalty term;
10 ~

! Processing time;
! Pt Cadeia - Pt Cadeia Adap - Pt Cadeia - Pt Cadeia - Elástico - Pt Cadeia - Galoneira;

```

47.9	100.0	47.9	47.9	100.0	47.9	100.0
100.0	28.3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
55.0	100.0	55.0	55.0	100.0	55.0	100.0
54.7	100.0	54.7	54.7	100.0	54.7	100.0
100.0	100.0	100.0	100.0	13.1	100.0	100.0
65.6	100.0	100.0	65.6	100.0	65.6	100.0
100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	29.6 ~

Figura 17 - Dados de entrada: teste 1

Fonte: *LINGO* (Desenvolvido pela orientadora)

Utilizou-se 10 minutos para o *Penalty term*, onde, analisando o resultado do balanceamento realizado na empresa, esse tempo seria o que se aproximaria do tempo maior que se teve para os operadores.

O resultado do balanceamento para este teste foi dado com 43,95 segundos, e a distribuição das máquinas e operações entre os operadores resultou conforme é apresentado na tabela a seguir.

Tabela 7 - Distribuição das operações entre os operadores e máquinas: teste 1

Operador	Operação	Sequência	Tempo	Máquinas
1	Fechar lateral	1	61	1
	Pregar elástico	5		5
2	Fechar emenda	6	65,6	6
3	Fechar gancho frente e costa	3	55	4
4	Pregar friso na barra	2	57,9	2
	Rebater elástico	7		7
5	Fechar emenda	4	54,7	3

Fonte: Elaborada pela Autora

Pode-se observar que o tempo dos operadores e a quantidade de máquinas ficaram os mesmos que do balanceamento realizado com a metodologia da empresa, diferenciando apenas a ordem da distribuição. Logo o arranjo físico pode ser o mesmo.

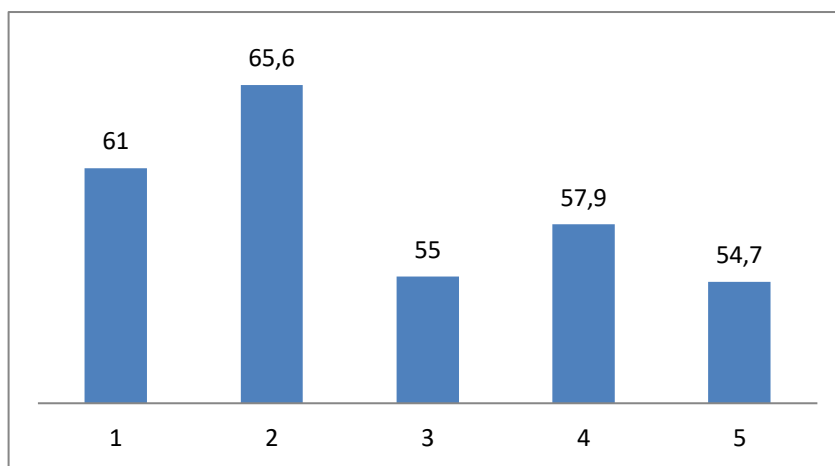


Figura 18 - Tempo de cada operador: teste 1

Fonte: Elaborada pela Autora

Como já era esperado, resultou no mesmo desnível dos tempos que tinha dado com a aplicação da metodologia da empresa. A figura seguir mostra os tempos que deram de diferença do tempo de ciclo para cada operador.

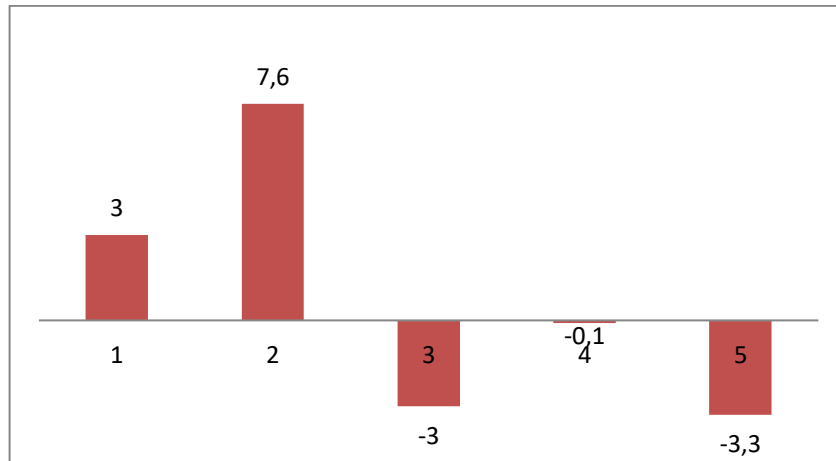


Figura 19 - Diferença entre os tempos: teste 1

Fonte: Elaborada pela Autora

A Figura 20, mostra os dados de entrada para realização do teste 2, utilizando a metodologia proposta neste trabalho.

Lingo Data - Teste02														
! Number of employees;														
5	~													
! Number of machines;														
7	~													
! Number of operations;														
7	~													
! Ideal cycle time;														
58	~													
!Limit Processing time;														
90	~													
!Penalty term;														
35	~													
! Processing time;														
! Pt Cadeia - Pt Cadeia Adap - Pt Cadeia - Pt Cadeia - Elástico - Pt Cadeia - Galoneira;														
47.9	100.0	47.9	47.9	100.0	47.9	100.0								
100.0	28.3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0								
55.0	100.0	55.0	55.0	100.0	55.0	100.0								
54.7	100.0	54.7	54.7	100.0	54.7	100.0								
100.0	100.0	100.0	100.0	13.1	100.0	100.0								
65.6	100.0	100.0	65.6	100.0	65.6	100.0								
100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	29.6	~							

Figura 20 - Dados de entrada: teste 2

Fonte: LINGO (Desenvolvido pela orientadora)

Utilizou-se 35 minutos para o Penalty term, onde, seria um tempo que ficaria bem acima do maior tempo do operador no resultado do balanceamento realizado na empresa. Assim, é verificado o comportamento do *LINGO based balancing Solver*.

O resultado do balanceamento para este teste foi dado com 22,74 segundos, e a distribuição das máquinas e operações entre os operadores resultou conforme é apresentado na tabela a seguir.

Tabela 8 - Distribuição das operações entre os operadores e máquinas: teste 2

Operador	Operação	Sequência	Tempo	Máquinas
1	Fechar lateral	1	113,5	1
	Fechar emenda	6		1
2	Rebater elástico	7	29,6	7
3	Fechar entrepernas	3	109,7	6
	Fechar gancho frente e costa	4		6
4	Pregar friso na barra	2	28,3	2
5	Pregar elástico	5	13,1	5

Fonte: Elaborada pela Autora

Pode-se observar que as máquinas 3 e 4 não foram utilizadas para essa solução de balanceamento. Mas, apesar disso, teve um desnível dos tempos alto, sendo uma proposta não aceitável para ser utilizada.

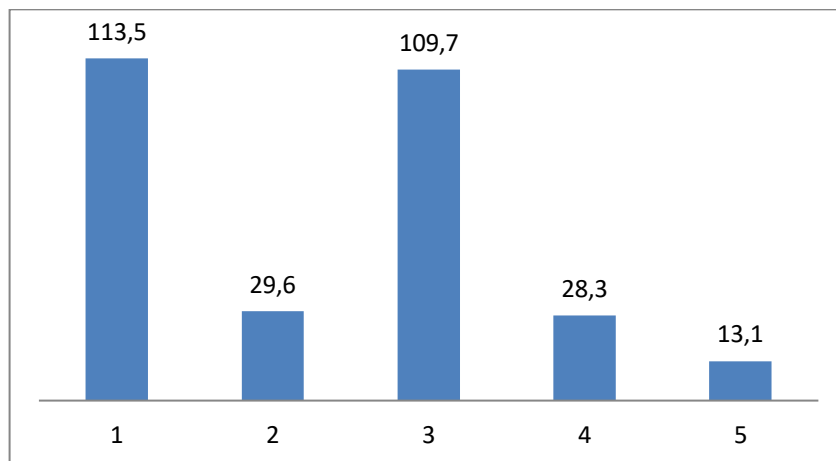


Figura 21 - Tempo de cada operador: teste 2

Fonte: Elaborada pela Autora

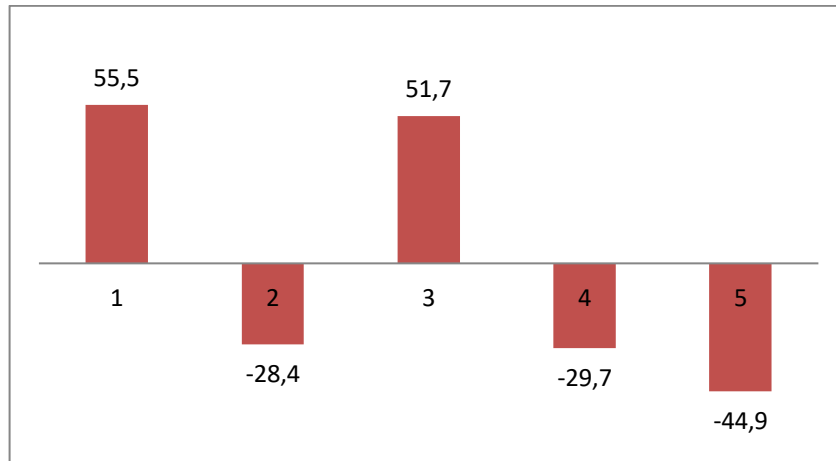


Figura 22 - Diferença entre os tempos: teste 2

Fonte: Elaborada pela Autora

A figura anterior só comprova o alto desnível que o resultado deu.

6 CONCLUSÕES & TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões

Devido ao interesse das empresas buscarem uma maior produtividade, gerenciar melhor seus recursos operacionais e de mão de obra, a busca pela alteração do seu arranjo físico está sendo uma solução, onde muitas empresas estão passando a ter seu arranjo físico do tipo celular. Para criação das células, é necessário fazer o balanceamento.

Esta pesquisa abordou a análise da utilização de um *Solver* para o balanceamento das células de produção em uma indústria de confecção intitulado de *LINGO based balancing Solver*. Sendo necessário mostrar e explicar todas as etapas que se fazem necessárias para a realização do balanceamento.

É interessante o uso do *LINGO based balancing Solver*, por permitir analisar vários testes rapidamente. Para este trabalho foram realizados dois testes, e analisada as suas soluções. Com isso pode-se concluir que o *LINGO based balancing Solver* pode ser utilizado para o balanceamento das células de produção, mas análises serão necessárias depois.

O teste 1 deu exatamente igual ao balanceamento realizado na metodologia da empresa, já que o termo de penalidade colocado foi 10, no qual somado ao tempo de ciclo, se aproxima do tempo maior que se teve no balanceamento da empresa.

Já o teste 2, fugiu totalmente do objetivo em distribuir os tempos das operações de forma uniforme entre os operadores, devido ao termo de penalidade ter sido muito alto, a quantidade de operadores ter permanecido o mesmo e não se ter uma penalidade para o tempo dos operadores.

O exemplo da célula de produção utilizado foi de um modelo de short, que pode ser considerado uma célula pequena por possuir pequenas quantidades de operações, máquinas e operadores, não sendo tão difícil realizar o balanceamento utilizando a metodologia da empresa. Mas, para casos maiores a dificuldade aumenta, como também o tempo para realizar o balanceamento e a incerteza que aquela será a melhor solução.

6.2 Proposta de trabalhos futuros

Uma proposta de trabalho futuro é a de incluir uma restrição de penalidade para o tempo dos operadores, assim, a distribuição do tempo entre os operadores será sempre uniforme.

Também como proposta é a realização de um estudo para encontrar um intervalo de confiança para ser utilizado no termo de penalidade.

Outra proposta trata da criação de uma interface da empresa com o *LINGO based balancing Solver*. Assim a empresa poderá realizar seus balanceamentos, quando necessário, tendo a melhor resposta de solução e economizando tempo, onde, se pode ter um balanceamento em questão de segundos.

REFERÊNCIAS

- ADAIR, CHARLENE B. & MURRAY, BRUCE A. **Revolução total dos processos – Estratégias para maximizar o valor do cliente**. São Paulo: Nobel 1994.
- AM, K. Y & LI, S.G., **A hierarchical approach to the facility layout problem**. International Journal of Production research.Vol.29, no.1, 165 – 184, 1991.
- ANDRADE FILHO, J. F. & SANTOS, L. F. **Introdução à tecnologia têxtil**. Vol. III. Rio de Janeiro: SENAI – Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil, 1980.
- BALLOU, RONALD H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. São Paulo: Atlas, 2011.
- BARNES, RALPH MOSSER, 1900. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. Tradução da 6ª ed. americana por Sérgio Luiz Oliveira Assis, José S. Guedes Azevedo e Arnaldo Pallotta, revisão técnica por Miguel de Simoni e Ricardo Seidl da Fonseca. São Paulo, Edgard Blucher, 1977.
- BRUZZI, D. G. **Gerência de projetos**. Brasília: Senac-DF, 2008.
- CARVALHO, M., MELO, C. T. M. C. B.& CARVALHO, B. C. T. **Aplicação e funcionalidade da programação linear inteira mista em problemas de otimização energética**. CIDEI. UNISOCIESC, Joinville, 2017.
- CHENG, Y., SUN, F., ZHANG, Y. & TAO, F. Task allocation in manufacturing: A review. **Journal of Industrial Information Integration**, 2018.
- CHIAVENATO, IDALBERTO. **Gestão de pessoas**. Segunda edição. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

_____. **Iniciação ao Planejamento e Controle de Produção**. São Paulo: Mc Graw Hill, 1990.

CONTADOR, JOSÉ CELSO. **Células de manufatura**. Produção. Guaratinguetá – SP, 2019.

_____. **Tipologia da 64 Célula de Manufatura**. Segundo Simpósio de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Estadual Paulista, Campos do Jordão, 1991.

CSILLAG, J. M. **O problema do balanceamento de linhas de montagem**. Tese de mestrado. Escola de administração de empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, 1974.

DANTAS, RAFAEL. **Polo Têxtil do Agreste aposta em design**. Revista Algo mais. A revista de Pernambuco, 2019.

DEMBOGURSKI, RENAN, *et al.* **Balanceamento de linha de produção**. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_sto_069_490_11644.pdf>. Acessado em: 13/09/2018.

EREL, E. & SARIN, S.C. **A survey of the assembly line balancing procedures**, *Production Planning and Control*, 9, 414-434, 1998.

FCEM. **Como se preparar para retomada no setor têxtil em 2019**, 2019. Acessado em: <https://fcem.com.br/noticias/como-se-preparar-para-retomada-no-setor-textil-em-2019/?utm_campaign=news_082019__retomada__agreste__webinar&utm_medium=email&utm_source=RD+Station#.XKP-1FVKjIV>. Acessado em: 02/04/2019.

HALES, H.L.; ANDERSEN, B.J. & FILLMORE, W.E. **Planning Manufacturing Cells**, 2014.

FRAGA, TATIANA BALBI. Análise e Modelagem do Problema de Balanceamento de Células de Produção em uma Confeção do Agreste Pernambucano. Projeto de Pesquisa registrado em 21/09/2018 na Propesq-UFPE. Processo 23076.037141/2018-37, 2018.

FONSECA, D.J., GUEST, C.L., ELAM, M., KARR, C.L. **A fuzzy logic approach to assembly line balancing**, Mathware & Soft Computing, 12, 57-74, 2005.

GASPAR, VASCO LUÍS MARCOS. **Análise de Tempos e Métodos numa Linha de Produção de Autocarros**. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industria. FCTUC – FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA UNIVERSIDADE DE COIMBRA, departamento de engenharia mecânica, 2016.

GENG, H. **Manufacturing Engineering Handbook**. Michigan: Society of Manufacturing Engineers, p52.1-52.24, 2004.

GRZECHCA, W. & FOULDS, L. R. **The Assembly Line Balancing Problem with Task Splitting: A Case Study**. Science Direct. IFAC-Papers On Line 48-3 2002-2008, 2015.

HARDING, HAMISH ALAN. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1981.

JIANG, S. & NEE, A. Y. C. **A Novel Facility Layout Planning and Optimization Methodology**. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2013.

JORNAL DO COMMERCCIO. **Polo de confecções. Agreste empreendedor**, 2017. Disponível em: <<http://especiais.jconline.ne10.uol.com.br/agresteempreendedor/polo-de-confeccoes/>>. Acessado em: 07/09/2018.

LACERDA, A. **Agreste tem 2º maior polo têxtil do país**, 2013. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,agreste-tem-2-maior-polo-textil-do-pais-imp-,981078>>. Acessado em: 07/09/2018.

LEMO, FERNANDO OLIVEIRA & TORRES, CRISTINA DA SILVA. **Sistemática para balanceamento de células de manufatura integrando abordagens determinística e estocástica: estudo de caso em uma empresa do ramo automotivo**. Produto & Produção, vol. 15 n.4 p. 89-104, 2014.

LEVECK, SINTRA GEOVANE. **Arranjo físico ou layout**, 2019. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/7055607/>>. Acessado em: 20/06/2019.

Lindo Systems Inc. **Software LINGO**, 2019. Disponível em: <<https://www.lindo.com/index.php/products/lingo-and-optimization-modeling>>. Acessado em: 09/06/2019.

LOPES, LUIZA CAMARGO. **Estudo de tempos e movimentos: um estudo de caso em uma indústria química**. Universidade federal de Uberlândia, faculdade de ciências integradas do Pontal, curso de engenharia de produção. Ituiutaba - MG, 2017.

LUCENA, LUIS GUSTAVO SCHWERZ. **Resolução de Problemas de Otimização Utilizando Ferramentas Computacionais**. Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção. Maringá, 2005.

LUCERO, PAOLA & CANIZO, ERICA. **Software Para Programación Lineal – LINGO/LINDO** – Investigación Operativa, 2002.

MARTINS, F. A. A. **Modelo para avaliação do lead time produtivo nas empresas têxteis**. DISSERTAÇÃO, Florianópolis, 2013.

MARTINS, PETRÔNIO G. & LAUGENI, PIERO FERNADO. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 2006.

MARTINS, PETRÔNIO G. & ALT, PAULO R. C. **Administração de Materiais e Recursos Patrimoniais**. São Paulo: Saraiva, 2001.

MARTINS PETRÔNIO G. & LAUGENI PIERO FERNADO. **Administração da produção**. São Paulo, SP, 2005.

MEIRE. **Análise de processos em manufatura. Gestão de processos**, 2013. Disponível em: <<https://blogdaqualidade.com.br/analise-de-processos-em-manufatura/>>. Acessado em: 20/06/2019.

MOREIRA, M. C. O., MIRALLES, C. & COSTA, A. M. **Model and Heuristics for the Assembly Line Worker Integration and Balancing Problem**. Computers & Operations Research, v. 54, p. 64 - 73, 2015.

OLIVEIRA, F. N; QUEIROZ, V. T. M; TEIXEIRA, C. S. L; RAMOS, D. S; GAMA, A. B. C. S. **Balanceamento de linha de produção: Um estudo de caso em uma indústria naval**. In: **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Anais... XXXII ENEGEP. Bento Gonçalves, 2012.

OLORUNNIWO, F.; UDO, G. **The impact of management and employees on cellular manufacturing implementation**. International Journal Production Economics. n. 76, p. 27 - 38, 2002.

OKSUZ, M. K.; BUYUKOZKAN, K.; SATOGLU, S. I. **U-shaped assembly line worker assignment and balancing problem: A mathematical model and two meta-heuristics**. Computers and Industrial Engineering, v. 112, p. 246–263, 2017.

PEINADO, JURANDIR & GRAEML, ALEXANDRE REIS. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.

PITONDO, R. J. L. **Análise de balanceamento de linha de produção: um estudo de caso na indústria de laticínios**. Trabalho de conclusão de curso. Ponta Grossa, 2016.

PMBOK - **Project Management Body of Knowledge** – PORTUGUÊS, 2000.

PUGLIESI, M; WALTER, W. **Layout Industrial**. São Paulo: Icone, 1989.

SAMED, M. M. A. **Resolução de um problema de localização industrial por meio de métodos: determinísticos e probabilísticos**. Revista Tecnológica, Maringá, edição especial SIMEPRO, p. 25-33, 2013.

SEBRAE-PE. **Estudo Econômico do Arranjo Produtivo local de confecções do agreste Pernambuco**, 2012.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**; trad. Eduardo Schaan – Segunda edição. – Porto Alegre: Artmed, 1996.

SILVA, O. C. J., MIRANDA, G. J. & VIEIRA, S. C. **O Problema Dinâmico de Re-projeto de Sistemas de Montagem**, 2019.

SODRÉ, U. **Modelos matemáticos**. Matemática – UEL - Londrina, 2007.

SLACK, N.; CHAMBERS, S. & JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SLACK, NIGEL. **Administração de Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

_____. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2006.

TAHA, HAMDY A. **Pesquisa operacional: uma visão geral** / Hamdy A. Taha: tradução Arlete Simille Marques; revisão técnica Rodrigo Arnaldo Scarpel. 8ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

TRIBUNA DO NORTE. **Com incentivos, indústria têxtil se consolida no Nordeste**, 2012. Disponível em: <<http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/com-incentivos-industria-ta-xtil-se-consolida-no-nordeste/404095>>. Acessado em: 05/05/2019.

TOMPKINS, J. A. *et al.* **Facility planning** (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc. 1996.

UDESC-CCT, W. G. **Utilização de *mock-ups* para mudanças de layout, um estudo de caso**. p. 1–10, 2009.

WILD, RAY. Group technology, cells and flow-lines. **Omega**, v. 2, n. 2, p. 269–274, 1974.

WILMERS, RODOLPHO ANTONIO MENDONÇA. **Administração das Operações Produtivas**. Arranjo físico e fluxo. MÓDULO 6 - FASCÍCULO 6 – AOP, 2019.

Referências da internet

http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-industria-de-confeccao,ca187a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD_. Acessado em: 05/05/2019.

ANEXO A - TESTE 1

Global optimal solution found.

Objective value:	77.60000
Objective bound:	77.60000
Infeasibilities:	0.000000
Extended solver steps:	16756
Total solver iterations:	583140
Elapsed runtime seconds:	43.95

Model Class:	MINLP
--------------	-------

Total variables:	277
Nonlinear variables:	262
Integer variables:	266

Total constraints:	799
Nonlinear constraints:	502

Total nonzeros:	3257
Nonlinear nonzeros:	1002

Model Title: Production_Cell_Balancing

Variable	Value	Reduced Cost
NUMBER_OF_EMPLOYEES	5.000000	0.000000
NUMBER_OF_MACHINES	7.000000	0.000000
NUMBER_OF_OPERATIONS	7.000000	0.000000
IDEAL_CYCLE_TIME	58.00000	0.000000
LIMIT	90.00000	0.000000
PENALTY	10.00000	0.000000
PENALTY_COST	70.00000	0.000000
OPERATOR_TIME(1)	61.00000	0.000000
OPERATOR_TIME(2)	65.60000	0.000000
OPERATOR_TIME(3)	55.00000	0.000000
OPERATOR_TIME(4)	57.90000	0.000000
OPERATOR_TIME(5)	54.70000	0.000000
DIF(1)	3.000000	0.000000

DIF(2)	7.600000	0.000000
DIF(3)	3.000000	0.000000
DIF(4)	0.1000000	0.000000
DIF(5)	3.300000	0.000000
MACHINE_OPERATOR(1)	1.000000	0.000000
MACHINE_OPERATOR(2)	4.000000	0.000000
MACHINE_OPERATOR(3)	5.000000	0.000000
MACHINE_OPERATOR(4)	3.000000	0.000000
MACHINE_OPERATOR(5)	1.000000	0.000000
MACHINE_OPERATOR(6)	2.000000	0.000000
MACHINE_OPERATOR(7)	4.000000	0.000000
OPERATOR(1)	1.000000	0.000000
OPERATOR(2)	4.000000	0.000000
OPERATOR(3)	3.000000	0.000000
OPERATOR(4)	5.000000	0.000000
OPERATOR(5)	1.000000	0.000000
OPERATOR(6)	2.000000	0.000000
OPERATOR(7)	4.000000	0.000000
PROCESSOR(1)	1.000000	0.000000
PROCESSOR(2)	2.000000	0.000000
PROCESSOR(3)	4.000000	0.000000
PROCESSOR(4)	3.000000	0.000000
PROCESSOR(5)	5.000000	0.000000
PROCESSOR(6)	6.000000	32.80000
PROCESSOR(7)	7.000000	0.000000
PROCESSING_TIME(1, 1)	47.90000	0.000000
PROCESSING_TIME(1, 2)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(1, 3)	47.90000	0.000000
PROCESSING_TIME(1, 4)	47.90000	0.000000
PROCESSING_TIME(1, 5)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(1, 6)	47.90000	0.000000
PROCESSING_TIME(1, 7)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(2, 1)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(2, 2)	28.30000	0.000000
PROCESSING_TIME(2, 3)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(2, 4)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(2, 5)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(2, 6)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(2, 7)	100.0000	0.000000

PROCESSING_TIME(3, 1)	55.00000	0.000000
PROCESSING_TIME(3, 2)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(3, 3)	55.00000	0.000000
PROCESSING_TIME(3, 4)	55.00000	0.000000
PROCESSING_TIME(3, 5)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(3, 6)	55.00000	0.000000
PROCESSING_TIME(3, 7)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(4, 1)	54.70000	0.000000
PROCESSING_TIME(4, 2)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(4, 3)	54.70000	0.000000
PROCESSING_TIME(4, 4)	54.70000	0.000000
PROCESSING_TIME(4, 5)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(4, 6)	54.70000	0.000000
PROCESSING_TIME(4, 7)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(5, 1)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(5, 2)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(5, 3)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(5, 4)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(5, 5)	13.10000	0.000000
PROCESSING_TIME(5, 6)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(5, 7)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(6, 1)	65.60000	0.000000
PROCESSING_TIME(6, 2)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(6, 3)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(6, 4)	65.60000	0.000000
PROCESSING_TIME(6, 5)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(6, 6)	65.60000	0.000000
PROCESSING_TIME(6, 7)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(7, 1)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(7, 2)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(7, 3)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(7, 4)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(7, 5)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(7, 6)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(7, 7)	29.60000	0.000000
ALLOCATION(1, 1, 1)	1.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 1, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 1, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 1, 4)	0.000000	0.000000

ALLOCATION(1, 1, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 1, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 1, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 2, 1)	0.000000	47.90000
ALLOCATION(1, 2, 2)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(1, 2, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 2, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 2, 5)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(1, 2, 6)	0.000000	47.90000
ALLOCATION(1, 2, 7)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(1, 3, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 3, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 3, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 3, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 3, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 3, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 3, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 4, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 4, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 4, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 4, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 4, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 4, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 4, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 5, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 5, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 5, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 5, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 5, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 5, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 5, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 1, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 1, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 1, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 1, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 1, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 1, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 1, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 2, 1)	0.000000	100.0000

ALLOCATION(2, 2, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 2, 3)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(2, 2, 4)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(2, 2, 5)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(2, 2, 6)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(2, 2, 7)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(2, 3, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 3, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 3, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 3, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 3, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 3, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 3, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 4, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 4, 2)	1.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 4, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 4, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 4, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 4, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 4, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 5, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 5, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 5, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 5, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 5, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 5, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 5, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 1, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 1, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 1, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 1, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 1, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 1, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 1, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 2, 1)	0.000000	55.00000
ALLOCATION(3, 2, 2)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(3, 2, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 2, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 2, 5)	0.000000	100.0000

ALLOCATION(3, 2, 6)	0.000000	55.00000
ALLOCATION(3, 2, 7)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(3, 3, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 3, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 3, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 3, 4)	1.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 3, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 3, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 3, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 4, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 4, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 4, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 4, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 4, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 4, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 4, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 5, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 5, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 5, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 5, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 5, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 5, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 5, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 1, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 1, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 1, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 1, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 1, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 1, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 1, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 2, 1)	0.000000	54.70000
ALLOCATION(4, 2, 2)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(4, 2, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 2, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 2, 5)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(4, 2, 6)	0.000000	54.70000
ALLOCATION(4, 2, 7)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(4, 3, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 3, 2)	0.000000	0.000000

ALLOCATION(4, 3, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 3, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 3, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 3, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 3, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 4, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 4, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 4, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 4, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 4, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 4, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 4, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 5, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 5, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 5, 3)	1.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 5, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 5, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 5, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 5, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 1, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 1, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 1, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 1, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 1, 5)	1.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 1, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 1, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 2, 1)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(5, 2, 2)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(5, 2, 3)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(5, 2, 4)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(5, 2, 5)	0.000000	13.10000
ALLOCATION(5, 2, 6)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(5, 2, 7)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(5, 3, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 3, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 3, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 3, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 3, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 3, 6)	0.000000	0.000000

ALLOCATION(5, 3, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 4, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 4, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 4, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 4, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 4, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 4, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 4, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 5, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 5, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 5, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 5, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 5, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 5, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 5, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 1, 1)	0.000000	98.40000
ALLOCATION(6, 1, 2)	0.000000	65.60000
ALLOCATION(6, 1, 3)	0.000000	32.80000
ALLOCATION(6, 1, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 1, 5)	0.000000	-32.80000
ALLOCATION(6, 1, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 1, 7)	0.000000	-98.40000
ALLOCATION(6, 2, 1)	0.000000	164.0000
ALLOCATION(6, 2, 2)	0.000000	165.6000
ALLOCATION(6, 2, 3)	0.000000	132.8000
ALLOCATION(6, 2, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 2, 5)	0.000000	67.20000
ALLOCATION(6, 2, 6)	1.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 2, 7)	0.000000	1.600000
ALLOCATION(6, 3, 1)	0.000000	98.40000
ALLOCATION(6, 3, 2)	0.000000	65.60000
ALLOCATION(6, 3, 3)	0.000000	32.80000
ALLOCATION(6, 3, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 3, 5)	0.000000	-32.80000
ALLOCATION(6, 3, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 3, 7)	0.000000	-98.40000
ALLOCATION(6, 4, 1)	0.000000	98.40000
ALLOCATION(6, 4, 2)	0.000000	65.60000
ALLOCATION(6, 4, 3)	0.000000	32.80000

ALLOCATION(6, 4, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 4, 5)	0.000000	-32.80000
ALLOCATION(6, 4, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 4, 7)	0.000000	-98.40000
ALLOCATION(6, 5, 1)	0.000000	98.40000
ALLOCATION(6, 5, 2)	0.000000	65.60000
ALLOCATION(6, 5, 3)	0.000000	32.80000
ALLOCATION(6, 5, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 5, 5)	0.000000	-32.80000
ALLOCATION(6, 5, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 5, 7)	0.000000	-98.40000
ALLOCATION(7, 1, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 1, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 1, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 1, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 1, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 1, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 1, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 2, 1)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(7, 2, 2)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(7, 2, 3)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(7, 2, 4)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(7, 2, 5)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(7, 2, 6)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(7, 2, 7)	0.000000	29.60000
ALLOCATION(7, 3, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 3, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 3, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 3, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 3, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 3, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 3, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 4, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 4, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 4, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 4, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 4, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 4, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 4, 7)	1.000000	0.000000

ALLOCATION(7, 5, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 5, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 5, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 5, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 5, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 5, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 5, 7)	0.000000	0.000000

ANEXO B - TESTE 2

Global optimal solution found.

Objective value:	230.5000
Objective bound:	230.5000
Infeasibilities:	0.000000
Extended solver steps:	6530
Total solver iterations:	305097
Elapsed runtime seconds:	22.74

Model Class:	MINLP
--------------	-------

Total variables:	277
Nonlinear variables:	262
Integer variables:	266

Total constraints:	799
Nonlinear constraints:	502

Total nonzeros:	3257
Nonlinear nonzeros:	1002

Model Title: Production_Cell_Balancing

Variable	Value	Reduced Cost
NUMBER_OF_EMPLOYEES	5.000000	0.000000
NUMBER_OF_MACHINES	7.000000	0.000000
NUMBER_OF_OPERATIONS	7.000000	0.000000
IDEAL_CYCLE_TIME	58.00000	0.000000
LIMIT	90.00000	0.000000
PENALTY	35.00000	0.000000
PENALTY_COST	175.0000	0.000000
OPERATOR_TIME(1)	113.5000	0.000000
OPERATOR_TIME(2)	29.60000	0.000000
OPERATOR_TIME(3)	109.7000	0.000000
OPERATOR_TIME(4)	28.30000	0.000000
OPERATOR_TIME(5)	13.10000	0.000000
DIF(1)	55.50000	0.000000

DIF(2)	28.40000	0.000000
DIF(3)	51.70000	0.000000
DIF(4)	29.70000	0.000000
DIF(5)	44.90000	0.000000
MACHINE_OPERATOR(1)	1.000000	0.000000
MACHINE_OPERATOR(2)	4.000000	0.000000
MACHINE_OPERATOR(3)	0.000000	0.000000
MACHINE_OPERATOR(4)	0.000000	0.000000
MACHINE_OPERATOR(5)	5.000000	0.000000
MACHINE_OPERATOR(6)	3.000000	0.000000
MACHINE_OPERATOR(7)	2.000000	0.000000
OPERATOR(1)	1.000000	0.000000
OPERATOR(2)	4.000000	0.000000
OPERATOR(3)	3.000000	0.000000
OPERATOR(4)	3.000000	0.000000
OPERATOR(5)	5.000000	0.000000
OPERATOR(6)	1.000000	0.000000
OPERATOR(7)	2.000000	0.000000
PROCESSOR(1)	1.000000	-9.580000
PROCESSOR(2)	2.000000	0.000000
PROCESSOR(3)	6.000000	0.000000
PROCESSOR(4)	6.000000	0.000000
PROCESSOR(5)	5.000000	0.000000
PROCESSOR(6)	1.000000	-13.12000
PROCESSOR(7)	7.000000	0.000000
PROCESSING_TIME(1, 1)	47.90000	0.000000
PROCESSING_TIME(1, 2)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(1, 3)	47.90000	0.000000
PROCESSING_TIME(1, 4)	47.90000	0.000000
PROCESSING_TIME(1, 5)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(1, 6)	47.90000	0.000000
PROCESSING_TIME(1, 7)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(2, 1)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(2, 2)	28.30000	0.000000
PROCESSING_TIME(2, 3)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(2, 4)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(2, 5)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(2, 6)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(2, 7)	100.0000	0.000000

PROCESSING_TIME(3, 1)	55.00000	0.000000
PROCESSING_TIME(3, 2)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(3, 3)	55.00000	0.000000
PROCESSING_TIME(3, 4)	55.00000	0.000000
PROCESSING_TIME(3, 5)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(3, 6)	55.00000	0.000000
PROCESSING_TIME(3, 7)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(4, 1)	54.70000	0.000000
PROCESSING_TIME(4, 2)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(4, 3)	54.70000	0.000000
PROCESSING_TIME(4, 4)	54.70000	0.000000
PROCESSING_TIME(4, 5)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(4, 6)	54.70000	0.000000
PROCESSING_TIME(4, 7)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(5, 1)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(5, 2)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(5, 3)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(5, 4)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(5, 5)	13.10000	0.000000
PROCESSING_TIME(5, 6)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(5, 7)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(6, 1)	65.60000	0.000000
PROCESSING_TIME(6, 2)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(6, 3)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(6, 4)	65.60000	0.000000
PROCESSING_TIME(6, 5)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(6, 6)	65.60000	0.000000
PROCESSING_TIME(6, 7)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(7, 1)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(7, 2)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(7, 3)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(7, 4)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(7, 5)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(7, 6)	100.0000	0.000000
PROCESSING_TIME(7, 7)	29.60000	0.000000
ALLOCATION(1, 1, 1)	1.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 1, 2)	0.000000	61.68000
ALLOCATION(1, 1, 3)	0.000000	19.16000
ALLOCATION(1, 1, 4)	0.000000	28.74000

ALLOCATION(1, 1, 5)	0.000000	90.42000
ALLOCATION(1, 1, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 1, 7)	0.000000	109.5800
ALLOCATION(1, 2, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 2, 2)	0.000000	-38.32000
ALLOCATION(1, 2, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 2, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 2, 5)	0.000000	-9.580000
ALLOCATION(1, 2, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 2, 7)	0.000000	9.580000
ALLOCATION(1, 3, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 3, 2)	0.000000	-38.32000
ALLOCATION(1, 3, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 3, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 3, 5)	0.000000	-9.580000
ALLOCATION(1, 3, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 3, 7)	0.000000	9.580000
ALLOCATION(1, 4, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 4, 2)	0.000000	-38.32000
ALLOCATION(1, 4, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 4, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 4, 5)	0.000000	-9.580000
ALLOCATION(1, 4, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 4, 7)	0.000000	9.580000
ALLOCATION(1, 5, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 5, 2)	0.000000	-38.32000
ALLOCATION(1, 5, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 5, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 5, 5)	0.000000	-9.580000
ALLOCATION(1, 5, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(1, 5, 7)	0.000000	9.580000
ALLOCATION(2, 1, 1)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(2, 1, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 1, 3)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(2, 1, 4)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(2, 1, 5)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(2, 1, 6)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(2, 1, 7)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(2, 2, 1)	0.000000	0.000000

ALLOCATION(2, 2, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 2, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 2, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 2, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 2, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 2, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 3, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 3, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 3, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 3, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 3, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 3, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 3, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 4, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 4, 2)	1.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 4, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 4, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 4, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 4, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 4, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 5, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 5, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 5, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 5, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 5, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 5, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(2, 5, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 1, 1)	0.000000	55.00000
ALLOCATION(3, 1, 2)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(3, 1, 3)	0.000000	55.00000
ALLOCATION(3, 1, 4)	0.000000	55.00000
ALLOCATION(3, 1, 5)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(3, 1, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 1, 7)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(3, 2, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 2, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 2, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 2, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 2, 5)	0.000000	0.000000

ALLOCATION(3, 2, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 2, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 3, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 3, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 3, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 3, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 3, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 3, 6)	1.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 3, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 4, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 4, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 4, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 4, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 4, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 4, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 4, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 5, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 5, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 5, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 5, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 5, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 5, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(3, 5, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 1, 1)	0.000000	54.70000
ALLOCATION(4, 1, 2)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(4, 1, 3)	0.000000	54.70000
ALLOCATION(4, 1, 4)	0.000000	54.70000
ALLOCATION(4, 1, 5)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(4, 1, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 1, 7)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(4, 2, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 2, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 2, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 2, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 2, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 2, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 2, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 3, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 3, 2)	0.000000	0.000000

ALLOCATION(4, 3, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 3, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 3, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 3, 6)	1.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 3, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 4, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 4, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 4, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 4, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 4, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 4, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 4, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 5, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 5, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 5, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 5, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 5, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 5, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(4, 5, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 1, 1)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(5, 1, 2)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(5, 1, 3)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(5, 1, 4)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(5, 1, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 1, 6)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(5, 1, 7)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(5, 2, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 2, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 2, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 2, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 2, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 2, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 2, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 3, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 3, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 3, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 3, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 3, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 3, 6)	0.000000	0.000000

ALLOCATION(5, 3, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 4, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 4, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 4, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 4, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 4, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 4, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 4, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 5, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 5, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 5, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 5, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 5, 5)	1.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 5, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(5, 5, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 1, 1)	1.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 1, 2)	0.000000	47.52000
ALLOCATION(6, 1, 3)	0.000000	60.64000
ALLOCATION(6, 1, 4)	0.000000	39.36000
ALLOCATION(6, 1, 5)	0.000000	86.88000
ALLOCATION(6, 1, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 1, 7)	0.000000	113.1200
ALLOCATION(6, 2, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 2, 2)	0.000000	-52.48000
ALLOCATION(6, 2, 3)	0.000000	-39.36000
ALLOCATION(6, 2, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 2, 5)	0.000000	-13.12000
ALLOCATION(6, 2, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 2, 7)	0.000000	13.12000
ALLOCATION(6, 3, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 3, 2)	0.000000	-52.48000
ALLOCATION(6, 3, 3)	0.000000	-39.36000
ALLOCATION(6, 3, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 3, 5)	0.000000	-13.12000
ALLOCATION(6, 3, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 3, 7)	0.000000	13.12000
ALLOCATION(6, 4, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 4, 2)	0.000000	-52.48000
ALLOCATION(6, 4, 3)	0.000000	-39.36000

ALLOCATION(6, 4, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 4, 5)	0.000000	-13.12000
ALLOCATION(6, 4, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 4, 7)	0.000000	13.12000
ALLOCATION(6, 5, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 5, 2)	0.000000	-52.48000
ALLOCATION(6, 5, 3)	0.000000	-39.36000
ALLOCATION(6, 5, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 5, 5)	0.000000	-13.12000
ALLOCATION(6, 5, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(6, 5, 7)	0.000000	13.12000
ALLOCATION(7, 1, 1)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(7, 1, 2)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(7, 1, 3)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(7, 1, 4)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(7, 1, 5)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(7, 1, 6)	0.000000	100.0000
ALLOCATION(7, 1, 7)	0.000000	29.60000
ALLOCATION(7, 2, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 2, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 2, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 2, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 2, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 2, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 2, 7)	1.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 3, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 3, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 3, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 3, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 3, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 3, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 3, 7)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 4, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 4, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 4, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 4, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 4, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 4, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 4, 7)	0.000000	0.000000

ALLOCATION(7, 5, 1)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 5, 2)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 5, 3)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 5, 4)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 5, 5)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 5, 6)	0.000000	0.000000
ALLOCATION(7, 5, 7)	0.000000	0.000000