

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO - UENF
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA – CCT
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - LEPROD

JÉSSICA ALMEIDA DE ABREU

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O MÉTODO MULTICRITÉRIO E SIMULAÇÃO
DISCRETA NO ESTUDO DE *LAYOUT* DE UMA PEQUENA INDÚSTRIA**

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

Outubro de 2017

JÉSSICA ALMEIDA DE ABREU

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O MÉTODO MULTICRITÉRIO E SIMULAÇÃO
DISCRETA NO ESTUDO DE *LAYOUT* DE UMA PEQUENA INDÚSTRIA**

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Engenharia de Produção do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof.^a: Jacqueline M. R. Cortes Barbirato, D.Sc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

Outubro de 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

79/2017

Abreu, Jéssica Almeida de

Análise comparativa entre o método multicritério e simulação discreta no estudo de layout de uma pequena empresa / Jéssica Almeida de Abreu. – Campos dos Goytacazes, 2017.

96 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia de Produção. Campos dos Goytacazes, 2017.

Orientador: Jacqueline Magalhães Rangel Cortes Barbirato.

Coorientador: Camila Mendonça Romero Sales.

Área de concentração: Gerência de produção.

Bibliografia: f. 82-89.

1. ARRANJO FÍSICO 2. SLP 3. AHP 4. SIMULAÇÃO I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia de Produção II. Título

CDD 658.4

JÉSSICA ALMEIDA DE ABREU

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O MÉTODO MULTICRITÉRIO E SIMULAÇÃO
DISCRETA NO ESTUDO DE LAYOUT DE UMA PEQUENA INDÚSTRIA**

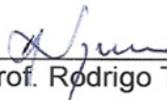
Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Engenharia de Produção do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em 5 de Outubro de 2017.

BANCA EXAMINADORA:



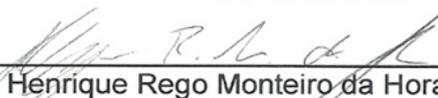
Prof.^a Jacqueline M. R. Cortes Barbirato, D. Sc. – UENF
Orientadora



Prof. Rodrigo Tavares Nogueira, D. Sc. – UENF



Prof.^a Camila Mendonça Romero Sales, D. Sc. – IFF
Co-orientadora



Henrique Rego Monteiro da Hora, D. Sc – IFF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

Outubro de 2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e capacidade de chegar nesse momento, sempre me guiando e me dando suporte para enfrentar as dificuldades e pelas conquistas até aqui alcançadas.

Agradeço a minha família que sempre me apoio em especial meus pais, Jorge e Julene, meus irmãos Jessamine e Lucas e meu noivo Diego, que sempre me incentivou e torceu por mim.

A minha orientadora meus agradecimentos, Jacqueline Magalhães Rangel Cortes Barbirato, por toda ajuda, ensinamentos, confiança e pelas orientações durante a realização desta pesquisa. Obrigado por acreditar no meu trabalho!

Agradeço também a minha Co-orientadora Camila Mendonça Romero Sales, pelas contribuições nesse estudo e pela confiança.

Aos meus amigos Josinaldo Dias, Phillipe Mota e Sânya Caldeira que sempre foram fonte de apoio e de incentivo. Agradeço também a Kellen Denise, Heitor Boa Morte e André Ornelas por toda ajuda e a empresa em estudo pela disponibilidade para a pesquisa.

Por fim, agradeço a todos que não foram citados, mas que de alguma forma fizeram parte da realização desse curso de mestrado em Engenharia de Produção na Uenf.

RESUMO

ABREU, J. A. Análise comparativa entre o método multicritério e simulação discreta no estudo de *layout* de uma pequena indústria.

O estudo do arranjo físico tem se tornado importante para as empresas, trazendo benefícios como aumento da produtividade, fluxos mais claros, melhoria do ambiente de trabalho, entre outros. Devido à relevância do tema, os gestores têm visto a necessidade de reformular seu *layout*. Mas selecionar o melhor *layout* dentro de arranjo físico existente é uma decisão difícil. Conforme essa problemática o objetivo deste trabalho é utilizar métodos para estudo de *layout*, na intenção de compará-los e evidenciar o comportamento das ferramentas a fim de auxiliar os decisores. A metodologia proposta usa o SLP (*Systematic Layout Planning*) para fornecer as opções de disposição física, também utiliza o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e a Simulação Discreta para auxiliar na avaliação das opções de arranjo físico. Para tanto foi realizado um estudo de caso em uma empresa de pequeno porte, de produtos de limpeza, do município de Campos dos Goytacazes– RJ. O resultado da pesquisa mostrou que com o método AHP é possível identificar a melhor alternativa de arranjo físico para a empresa em estudo. No entanto a simulação discreta não foi efetiva, pois os resultados dos experimentos foram parecidos. Assim foi concluído que não é possível escolher a opção adequada de *layout* através dessa ferramenta. Devido à empresa em estudo ser pequena e de processos simples, além das limitações que impossibilitaram o desenvolvimento de arranjos com uma área maior e modificações em geral, que poderia trazer uma conclusão diferente pelo método da simulação. Nesse estudo de caso o AHP é ideal, pois selecionou o *layout* adequado para a indústria estudada.

Palavras-chave: Arranjo físico; SLP; AHP; Simulação.

ABSTRACT

ABREU, J. A.; Comparative analysis between qualitative and quantitative method in the study of the layout of a small cleaning company

The study of the physical arrangement has become important for companies, bringing benefits such as increased productivity, clearer flows, improved work environment, among others. Due to the relevance of the theme, managers have seen the need to reshape their layout. However, selecting the best layout within existing physical arrangement is a difficult decision. According to this problem, the objective of this work is to use methods to study layout, with the intention to compare them and to show the behavior of the tools in order to assist the decision makers. The proposed methodology uses the Systematic Layout Planning (SLP) to provide the physical layout options, also uses the Analytical Hierarchy Process (AHP) and the Discrete Simulation to assist in the evaluation of physical arrangement options. For that, a case study was carried out in a small company, cleaning products, in the municipality of Campos dos Goytacazes - RJ. The result of the research showed that with the AHP method it is possible to identify the best alternative of physical arrangement for the company under study. However, the discrete simulation was not effective, because the results of the experiments were similar. Therefore, it was concluded that it is not possible to choose the appropriate layout option through this tool. Because the company under study is small and simple processes, in addition to the limitations that made it impossible to develop arrangements with a larger area and modifications in general, that could bring a different conclusion by the simulation method. In this case, the AHP is ideal, since it selected the layout suitable for the industry studied.

Keywords: Layout; SLP; AHP; Simulation.

SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA	3
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE QUADRO	12
LISTA DE TABELA	13
LISTA DE SIGLAS.....	14
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Considerações Iniciais	15
1.2 Objeto de estudo.....	16
1.3 Problema de pesquisa	16
1.4 Objetivos	16
1.4.1 Objetivo geral.....	17
1.4.2 Objetivos específicos	17
1.5 Justificativa	17
1.6 Estrutura do trabalho.....	17
CAPÍTULO 2 – ARRANJO FÍSICO	19
2.1 Definição de arranjo físico.....	19
2.2 Fundamentos básicos de arranjo físico.....	20
2.3 Motivadores para mudanças de <i>layout</i>	21
2.4 Tipos de arranjo físico.....	22
2.4.1 Arranjo por produto ou em linha	22
2.4.2 Arranjo por processo ou funcional	23
2.4.3 Arranjo celular.....	23
2.4.4 Arranjo por posição fixa	24
2.4.5 Arranjo físico misto	24
2.5 <i>Facility layout problem</i> – FLP	24
2.6 Indicadores para estudo de <i>layout</i>	25
CAPÍTULO 3 - MÉTODOS APLICADOS A ESTUDO DE ARRANJO FÍSICO	27
3.1 Alguns Métodos de auxílio para problemas de <i>layout</i>	27
3.2 Planejamento sistemático de <i>layout</i> – SLP	28
3.3 Uso do método SLP	32

3.4	Auxílio multicritério à decisão.....	33
3.4.1	Método AHP	34
3.5	Uso do método AHP	36
3.6	Simulação computacional	38
3.6.1	Alternativas para construir um modelo de simulação a evento discreto.....	41
3.6.2	Vantagens e desvantagens da simulação computacional	42
3.6.3	Linguagem IDEF-SIM	43
3.6.4	Uso do método Simulação	45
3.7	As combinações entre ferramentas para resolver problemas de <i>layout</i>	48
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA		51
4.1	Estrutura Metodológica	51
4.2	Pesquisa Bibliográfica.....	52
4.3	Levantamentos de dados	52
CAPÍTULO 5 - ESTUDO DE CASO.....		53
5.1	A estrutura da empresa.....	53
5.1.1	O processo produtivo.....	54
5.1.1.1	Produção de desinfetante.....	54
5.1.1.2	Produção de garrafas e envase.....	54
CAPÍTULO 6 - APLICAÇÃO DO SLP		57
6.1	Dados de entrada.....	57
6.1.1	Fluxo de materiais e atividades relacionadas	57
6.1.2	Espaço Necessário e espaço disponível	58
6.1.3	Mudanças consideradas e limitações práticas.....	60
6.1.4	Desenvolvimento das alternativas de arranjo físico	60
CAPÍTULO 7- APLICAÇÃO DO AHP.....		63
7.1	Estruturação Hierárquica dos Critérios e subcritérios	63
7.1.1	Seleção da melhor opção de <i>layout</i>	65
7.1.2	Cálculo das Prioridades globais – PG's.....	67
7.1.3	Verificação da Consistência dos julgamentos.....	68
CAPÍTULO 8 - APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL		70
8.1	Modelo conceitual	70
8.1.1	Validação do modelo	72

8.1.2 Experimentos simulados.....	72
8.1.3 Experimentos com <i>Layout</i> atual da empresa.....	73
8.1.3.1 Experimento 1	73
8.1.3.2 Experimento 2	74
8.1.3.3 Experimento 3	74
8.1.4 Experimento com o <i>Layout</i> Proposto B.....	74
8.1.4.1 Experimento 1	74
8.1.4.2 Experimento 2	74
8.1.4.3 Experimento 3	75
8.1.5 Experimento com o <i>Layout</i> Proposto C	75
8.1.5.1 Experimento 1.....	75
8.1.5.2 Experimento 2	75
8.1.5.3 Experimento 3	75
CAPÍTULO 9 - ANÁLISE DE RESULTADOS.....	77
9.1 Análise dos Resultados das ferramentas.....	77
9.2 Comparações entre os métodos AHP e Simulação	79
CAPÍTULO 10 - CONCLUSÕES.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
APÊNDICE 1 – PLANTA BAIXA DA EMPRESA	91
APÊNDICE 2 – MAPOFLUXOGRAMA DAS ALTERNATIVAS	93
ANEXO 1- QUESTIONÁRIOS UTILIZADOS	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cronologia de programas computacionais para problema de <i>layout</i> . Tortorella (2006) <i>apud</i> (Canen; williamson, 1998).....	28
Figura 2: Fases do SLP. <i>Fonte: Muther (1978) apud Azevedo e Braga (2013)</i>	29
Figura 3: O sistema de procedimentos SLP <i>Fonte: Muther (1978) apud Herrera e Costa (1999)</i>	29
Figura 4: Exemplo de carta de relacionamento. <i>Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2007)</i>	31
Figura 5: Etapas para a simulação. <i>Adaptado de Montevechiet al. (2007)</i>	40
Figura 9: Metodologia Proposta. <i>Adaptado de Muther (1978)</i>	51
Figura 6: Mapofluxograma do processo produtivo de desinfetante	54
Figura 7: Mapofluxograma do processo produtivo de garrafas de envase	55
Figura 8: Fluxograma do processo produtivo	56
Figura 10: Diagrama de relacionamento da empresa	58
Figura 11: Planta baixa da área de produção de desinfetante	61
Figura 12: Alternativa A – <i>layout</i> atual.....	61
Figura 13: Alternativa B.....	62
Figura 14: Alternativa C.....	62
Figura 15: Estrutura hierárquica da análise multicritério	64
Figura 16: Modelo conceitual	70
Figura 17: Funcionários e a variável de resposta.....	73

LISTA DE QUADRO

Quadro 1: Indicadores para <i>layout</i>	25
Quadro 2: Aplicação do AHP em diversos contextos	37
Quadro 3: Simbologia IDEF-SIM. Fonte: Leal, Almeida e Montevechi (2008).....	44
Quadro 4: Aplicações da Simulação Computacional em diversos contextos. <i>Adaptado de Abreu, Barbirato e Boa Morte (2016)</i>	46
Quadro 5: Legenda do diagrama de relacionamento	58
Quadro 6: Critérios e subcritérios considerados na pesquisa	63
Quadro 7: A Relação dos valores discretos com o grau de importância e desempenho.....	63
Quadro 8: Comparativo	78

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Escala de valor para julgamentos paritários. <i>Fonte: Saaty (2000) Apud Trevizano e Freitas (2005)</i>	35
Tabela 2: Quantidade de recursos humanos	56
Tabela3: Área de cada setor da empresa	59
Tabela 4: Espaço requerido para cada máquina.....	60
Tabela 5: Tabela de conversão para escala de Saaty	64
Tabela 6: Prioridades médias locais à luz das alternativas(continua)	65
Tabela 7: síntese das prioridades médias locais e prioridades globais.....	68
Tabela 8: Índice de consistência e Razão de Consistência	69
Tabela 9: Descrição do modelo conceitual.....	70
Tabela 10: Descrição das funções dos funcionários	73
Tabela 11: Capacidade produtiva dos cenários	77

LISTA DE SIGLAS

AMD- Auxílio Multicritério à Decisão

ELECTRE - Elimination Et Chiox Traduisan de la Realité

MAUT - Multiple Attribute Utility Theory

AHP - Analytic Hierarchy Process

SLP-Systematic *Layout* Planning

DEA - Data Envelopment Analysis

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Nesse capítulo apresenta-se o tema abordado nesta pesquisa, dando início ao estado da arte do assunto em estudo.

1.1 Considerações Iniciais

A organização dos maquinários, mobília, pessoal entre outros itens que fazem parte de uma organização é um aspecto importante, que influencia no processo produtivo. Sendo assim Tompkins et al. (1996) mencionam que um *layout* eficiente traz melhorias no fluxo de produção, aproveitamento adequado da área, redução na movimentação de equipamentos e pessoal entre outros. Esses benefícios auxiliam na busca por qualidade, competitividade e pelo aumento da produtividade.

Segundo Xie e Sahinidis (2008) um bom arranjo físico pode reduzir os custos operacionais em até 50% e contribui para a eficiência das operações.

Conforme a relevância de um bom arranjo físico, muitas empresas têm buscado reformular seu espaço físico. Assim inicia o problema de instalação de *layout* que é encontrar o arranjo ideal no *layout* existente.

Nesse contexto algumas ferramentas que auxiliam o estudo de arranjo físico, são o SLP (*Systematic Layout Planning*), Simulação Discreta e aquelas que consideram a análise de multicritérios, podem ser ELECTRE, MAUT, AHP ou ainda outras técnicas de otimização. Além desses métodos também é possível combiná-los, o que pode trazer resultados e respostas interessante. Então considerando essa ideia, alguns trabalhos integraram metodologias para o estudo de *layout*.

Yang, Su, Hsu (2000); Yang e Kuo(2003);Ertay, Ruan e Tuzkaya (2004); utilizam as ferramentas AHP/ DEA para solucionar problemas de *layout*. Tortorella e Fogliatto (2008) empregaram o método SLP e complementaram usando o AHP para selecionar a melhor alternativa de arranjo físico. Flessas et al. (2015) utilizaram o SLP para planejar o *layout* e o MAUT apoiou a seleção da melhor opção do mesmo. Herrera e Costa (1999) combinaram o SLP à técnica de multicritério ELECTRE III, com a intenção de demonstrar que a avaliação realizada pelo SLP, para determinar o grau de proximidade entre os departamentos e o processo de escolha da melhor alternativa, pode ser feita também pelo método AMD. Xu, Moon e Baek (2012) apresentaram um estudo usando simulação com o AHP para determinar a nova disposição de linha de produção. Oliveira et al. (2013) e Bremenkamp et al. (2013)

utilizaram SLP para analisar a situação real e sugerir alternativas e a simulação, para avaliar as opções de arranjo físico fornecidas.

Também é visto nas literaturas, porém menos disseminado, pesquisas que realizam comparações entre técnicas voltadas para o problema de decisão de *layout*. Dentre eles ressaltam-se os estudos de Anton, Grau e Andina (2004) que comparam os métodos ELECTRE I e AHP com método de Programação para eleger a melhor localização para o *layout* de ferrovia.

1.2 Objeto de estudo

Esta pesquisa tem como objeto de estudo a área de produção de uma empresa de produtos químicos de limpeza, localizada em Campos dos Goytacazes – RJ, em que foi percebida a necessidade de melhorar seu *layout* atual para otimizar o espaço existente.

A fábrica é de pequeno porte e produz amaciante, desinfetante e detergente. Esses produtos são produzidos por lotes e vendidos em atacado.

1.3 Problema de pesquisa

Conforme Meller e Gau (1996) o problema do projeto de *layout* tem sido explorado com certa frequência nas últimas décadas. A questão de escolher a melhor alternativa que seja adequado a cada tipo de projeto, pode ser resolvida com uso dos métodos para estudo de *layout* ou ainda a combinação deles.

Considerando essa problemática o presente trabalho busca responder a seguinte questão:

Como se comportam os métodos de Multicritério e Simulação Discreta no estudo de *layout* em uma pequena empresa do ramo de limpeza?

De acordo com esse cenário, foram utilizados os métodos AHP e Simulação para responder esta pergunta.

1.4 Objetivos

A seguir será exposto o objetivo geral que orienta o estudo, assim como os objetivos específicos.

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é evidenciar o uso de metodologias para questões relacionadas ao arranjo físico de uma pequena indústria

1.4.2 Objetivos específicos

- Aplicar o estudo de *layout* em uma empresa do ramo de limpeza de Campos dos Goytacazes;
- Identificar indicadores para aplicar nas ferramentas;
- Usar a ferramenta SLP integrada ao método AHP;
- Utilizar a técnica SLP combinada com o método Simulação;
- Realizar as comparações entre os métodos AHP e Simulação;
- Descobrir a melhor ferramenta para o estudo em questão.

1.5 Justificativa

O arranjo físico tem grande importância em relação à produção por trazer maior flexibilidade, produtividade, redução de custos entre outros benefícios. Assim, empresas têm procurado ajustar seus *layouts*. Segundo Trein e Amaral (2001) técnicas de melhorias de *layout* tem sido bastante utilizada para se adequarem a um processo otimizado.

Conforme a problemática de encontrar o arranjo adequado, algumas ferramentas são usadas. Diante deste cenário, existem metodologias que se dividem na área de otimização e de projetos (HERAGU, 2006). Sendo assim é observado na literatura o uso de técnicas quando o assunto é arranjo físico. Também é visto a combinação de ferramentas, assim como as comparações entre métodos que tratam da melhor disposição do *layout*.

Desse modo é percebido que o uso combinado e as comparações entre os métodos de arranjo físico podem ser mais explorados, a qual se pretende realizar um estudo com intuito de contribuir para difundir essa linha de pesquisa, visando à solução de problemas de instalação de *layout*.

1.6 Estrutura do trabalho

Capítulo 1 – Introdução: São expostas a contextualização do tema abordado e sua importância. Apresenta também o problema de pesquisa, o objetivo geral e

específico e as justificativas possíveis para utilização de esforços junto do estudo exibido.

Capítulo 2 – Arranjo Físico: Foi explanado sobre o arranjo físico, sua definição, princípios, motivadores, tipos de cada *layout*, problemas e indicadores, assuntos estes relevantes para a compreensão do tema.

Capítulo 3 – Métodos aplicados a estudo de arranjo Físico: Existem vários métodos utilizados para o estudo de *layout*. Portanto serão abordadas algumas ferramentas como: SLP, AHP e Simulação Discreta, assim como suas estruturas de aplicações. Também é visto nesse capítulo a integração dessas ferramentas, o que é importante para a realização deste trabalho, visto que serão efetuadas aplicações com as técnicas combinadas, assim como as devidas comparações.

Capítulo 4 – Metodologia: Apresentam quais os métodos usados e a estrutura proposta. O uso desses métodos foi dividido por capítulo para facilitar a análise.

Capítulo 5 – Estudo de Caso: Estão exibidos dados sobre a empresa e seus processos para entendimento do funcionamento da produção da fábrica.

Capítulo 6 – Aplicação do SLP: Nesta seção a ferramenta é usada conforme a estrutura de Muther (1978).

Capítulo 7 – Aplicação do AHP: Apresenta a aplicação do método de acordo com Saaty (1991) para avaliar a melhor alternativa de *layout*.

Capítulo 8 – Aplicação da Simulação Computacional: Expõe a aplicação da simulação, modelo conceitual, seus experimentos e resultados, para avaliar o arranjo adequado.

Capítulo 9 – Análise de resultados: Apresentam os resultados e discussões das respostas de cada ferramenta.

Capítulo 10 - Conclusões: são exibidas as conclusões da presente pesquisa, evidenciando sugestões de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – ARRANJO FÍSICO

Este capítulo apresenta uma revisão obtida através de livros e periódicos, possibilitando a compreensão do arranjo físico que quando bem efetuado, pode trazer grandes benefícios para a empresa.

2.1 Definição de arranjo físico

Na grande maioria dos casos, tanto o arranjo físico como os fluxos não são perfeitos, assim quanto mais aprimorados forem o arranjo físico e os fluxos de materiais, maior a possibilidade de elevar de modo significativo a produtividade das organizações. Logo se as organizações elaborarem e colocarem em prática um sistema de planejamento de *layout* poderá obter um produto ou serviço que satisfaçam às exigências do mercado a respeito da diminuição de tempos e custos no sistema, assim como atender aos consumidores em relação a menores preços (HARMON e PETERSON, 1991).

É possível compreender melhor o significado do arranjo físico, com base na definição de diversos autores, aos quais são similares ou complementares. Assim seguem algumas definições sob a ótica de alguns estudiosos:

- 1- O propósito do arranjo físico de um depósito necessita atestar a máxima utilização da área, possibilitando modos mais eficientes de deslocamento de materiais, oportunizar uma estocagem mais econômica, propiciar mais flexibilidade e arrumação do local de armazenagem (MOURA, 1997);
- 2- *Layout* é relativo ao arranjo dos muitos postos de trabalho encontrados nos presentes espaços na organização, englobando a atenção de melhor ajustar o pessoal ao ambiente de trabalho, conforme a natureza da tarefa exercida, a organização da mobília, aparelhos, ferramentas e matérias primas (CURY, 2000);
- 3- É a estrutura das secções departamentais, centros de trabalho e das acomodações e utensílios, com especial destaque para a locomoção melhorada, por intermédio do sistema, dos fatores aos quais se emprega o trabalho (STEVENSON, 2001);
- 4- É elaborar as posições de todos os maquinários, estações de trabalho, utilidades, locais de apoio ao consumidor, de armazenamento de materiais, sanitários, áreas de passagem, divisórias internas, refeitórios, bebedouros, salas de computador e escritórios etc., sem esquecer também de elaborar os

padrões de fluxo de materiais e de pessoal que se movimentam no local (GAITHER e FRAZIER, 2001);

- 5- Estabelecer qualquer arranjo físico é planejar e integrar os trajetos dos elementos de um bem físico, com o propósito de alcançar uma relação eficiente e econômica entre os funcionários, ferramentas e materiais que se deslocam (CORRÊA e CORRÊA, 2004);
- 6- É a preocupação como posicionamento dos recursos de transformação, ou seja, a tomada de decisão de onde dispor todas as máquinas, utensílios, instalações e pessoal da produção (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2007).

2.2 Fundamentos básicos de arranjo físico

Para a construção de um arranjo físico é importante levar em consideração alguns aspectos. Assim Peinado e Graeml (2007) apontam algumas observações, as quais são descritas abaixo:

- **Segurança:** é essencial que haja treinamento e esclarecimento aos funcionários em relação à segurança e saúde na área de trabalho. Alguns exemplos de medidas são a presença de utensílios de segurança em bom estado, sinalização adequada nas saídas de incêndio entre outras;
- **Economia de movimentos:** quanto melhor for o modo de serem efetuadas as atividades ocupacionais, menor será o tempo despendido com as operações, com redução do grau de ociosidade e obtenção de melhor rendimento dos empregados. Logo, quando são executados movimentos mais difíceis e maiores pelos funcionários, estes podem favorecer lesões aos mesmos;
- **Flexibilidade de longo prazo:** é importante que se atente à construção do arranjo físico, pois este deve ser projetado com o propósito de ser posteriormente aproveitado, se houver necessidade de alteração e dessa forma economizar com o custo da modificação;
- **Princípio da progressividade:** deve haver a preocupação em se efetuar o arranjo físico sem que haja a desordenação dos fluxos das tarefas e informações, os quais precisam ser direcionados sem caminhos de volta e com sentidos aleatórios;

- **Uso do espaço:** a utilização da área de trabalho é um ponto de suma importância, devendo ser empregado adequadamente, sem deixar de levar em conta a ocupação vertical.

Outros autores como Cury (2000), Araújo (2001) e Oliveira (2006) também mencionam sobre determinados princípios lembrados para trabalhar no arranjo físico como: as ferramentas e móveis que devem ser arranjados em simetria e também em linha retilínea sempre que possível, e as normas referentes ao espaço que precisam ser apropriadas conforme as necessidades do emprego e da comodidade dos funcionários.

Como verificado, além dos fundamentos iniciais sobre o *layout* a se considerar, também deve se pensar quais são as motivações que levam às modificações do arranjo. Assim no próximo tópico alguns autores se posicionam a respeito desse assunto.

2.3 Motivadores para mudanças de *layout*

O desejo de alteração do arranjo pode ter alguns motivadores que serão evidenciados, mas antes é necessário entender que após o estabelecido do modelo de *layout*, será determinada a forma como a firma se comporta diante de sua produção. Chase, Jacobs e Aquilano (2006) comentam que é importante efetuar um estudo bem arquitetado para evitar que posteriormente suceda erros.

Alguns fatores que levam a mudanças no arranjo são apontados por Peinado e Graeml (2007), dentre elas estão:

- **Ampliação da capacidade de fabricação:** a necessidade de expandir a capacidade com o intuito de atender a demanda ou ainda, aprimorar sua produção a partir do uso de novo maquinário. É fundamental que se efetue um estudo para buscar posicionar melhor tais utensílios e pessoal;
- **Alto custo de produção:** um *layout* planejado incorretamente pode acarretar baixos níveis de qualidade e produtividade. Dessa maneira torna-se necessário realizar melhorias;
- **Inserção de nova linha e produtos:** o arranjo existente pode não ser apropriado caso crie-se um novo produto, portanto favorecendo as modificações do *layout*;
- **Melhoria do espaço de trabalho:** quando não se tem condições favoráveis na área de trabalho, estas podem ser a causa de menores níveis de produtividade,

assim como dos altos graus de ociosidade e esgotamento dos empregados, os quais atingem as firmas de modo direto.

2.4 Tipos de arranjo físico

Estão presentes nas literaturas os tipos de arranjo físico, cada adequado a um modelo de produção. Corrêa e Corrêa (2006) e Slack, Chambers e Johnston, (2007), evidenciam quatro ou cinco formas de arrumação, podendo ser:

- Arranjo por produto ou por linha;
- Arranjo por processo ou funcional;
- Arranjo celular;
- Arranjo por posição fixa ou posicional;
- Arranjo híbrido.

Na seção seguinte será esclarecido cada tipo de arranjo, demonstrando seu melhor uso, quando são mais apropriados e quando não representam uma boa opção.

2.4.1 Arranjo por produto ou em linha

Esse modelo de arranjo está ligado ao local das máquinas, os quais são postos de acordo com a ordem das operações, assim sua efetuação acompanha a sequência acordada.

Algumas consequências da adoção desse modelo podem ser: formação de monotonia, estresse nos funcionários, dificuldades relacionado à qualidade dos produtos e investimento em equipamentos, os quais são elevados (MARTINS e LAUGENI, 2002).

Esse arranjo é de simples monitoramento, por ter um fluxo que não possui dificuldade de compreensão e que pode ser calculado. Logo, o que faz selecionar o arranjo por produto é a uniformidade daquilo que é solicitado. No que se refere a operações de serviço, esse arranjo pode ser praticado se for presente uma ordenação comum, segundo suas necessidades.

Os benefícios verificados nesse modelo de arranjo são: chance de especialização de ferramentas, boa locomoção de materiais e clientes. Sobre algumas desvantagens são descritas a baixa flexibilidade de mix de possibilidade de ser um trabalho repetitivo (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2007).

2.4.2 Arranjo por processo ou funcional

O arranjo por processo também conhecido como funcional é estabelecido no mesmo espaço. Isso se dá pela similaridade, desse modo são reunidos equipamentos e operações no mesmo local. Dentre as características desse tipo de arranjo se tem a flexibilidade, a presença de longos fluxos e a adequação para produções distintas podendo ser em quantidades pequenas e médias (MARTINS e LAUGENI, 2002).

Herrera (2000) destaca alguns benefícios: a flexibilidade em relação às modificações no ordenamento das operações e a variação do produto; adequação a produtos de alta variação estacional; simplicidade na supervisão por existir um responsável qualificado para cada tarefa.

As desvantagens também ressaltadas pelo mesmo autor são: o elevado manejo e alta quantidade de objetos em processo.

2.4.3 Arranjo celular

Conforme Peinado e Graeml (2007), esse modelo de arranjo busca ligar as vantagens do arranjo físico por processo com os benefícios do arranjo por produto. A célula de fabricação consiste em apenas se dispor em um local, com distintos maquinários que venham a confeccionar o produto por completo. O funcionamento se dá com a locomoção do material no interior da célula, procurando os procedimentos que são necessários, entretanto a movimentação acontece em linha.

Martins e Laugeni, (2002) mencionam que esse *layout* reduz o transporte de material, estoques e também viabiliza um grau positivo de qualidade e produtividade.

Dentre as vantagens conforme Herrera (2000): elevar a quantidade de uma determinada linha de produtos e produzir elementos em um tempo regular; oportunizar a aquisição de grande volume de utensílios a um preço de atacado; minimizar ou até excluir a ocorrência de problemas nos prazos de preparação dos equipamentos. Peinado e Graeml (2007) ainda destacam a redução de transporte de material e estoque.

Em relação às desvantagens tanto Herrera (2000) como Peinado e Graeml (2007), concordam que os problemas são referentes à complexidade de se construir o arranjo e por ser muito peculiar para uma família de produtos.

2.4.4 Arranjo por posição fixa

Conforme os estudiosos Gaither e Frazier (2001) este modelo de *layout* é empregado se o produto for bastante volumoso ou frágil e que seja de movimentação complicada.

De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2007),

“Em vez de materiais, informações ou clientes fluírem por uma operação, quem sofre o processamento fica estacionário, enquanto equipamento, maquinário, instalações e pessoas movem-se na medida do necessário” (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2007, p 202).

Esse modo de arranjo também pode ser chamado de arranjo posicional. Dentre as vantagens estão: a maior flexibilidade de mix, produtos e atividades de alta variedade para mão de obra. Sobre as desvantagens percebidas são: a presença de custos unitários maiores, complexidade na programação de espaço, possibilidade de elevada movimentação tanto de mão de obra como de utensílios (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2007).

2.4.5 Arranjo físico misto

Esse modelo é a combinação de alguns ou todos os tipos de arranjos físicos. Algumas empresas podem utilizar esse tipo de organização, de acordo com suas operações.

Slack, Chambers e Johnston (2007) citaram um exemplo de um hospital para melhor explicar esse tipo de arranjo, pelo fato de o hospital possuir muitos setores e cada um deles necessitar de um arranjo que seja apropriado para seu modelo. O laboratório, por exemplo, é arrumado conforme o arranjo por produto, já a sala de cirurgia acompanha um arranjo posicional e assim segue as outras repartições, ainda que normalmente um estabelecimento médico tenha um arranjo físico por processo e que em cada seção exista um procedimento, porém podem ser aplicados no interior de cada repartição diferentes tipos de arranjos físicos.

2.5 Facility layout problem – FLP

Estabelecer a disposição dos centros de trabalho ideal é um desafio. Sendo assim um fator que gera impacto significativo no desempenho do sistema, ou seja, a questão de arrumação de tudo que faz parte do processo produtivo é um problema de instalação de *layout* (KUSIAK e HERAGU, 1987).

Conforme Heragu (2006) existem duas abordagens no que diz respeito ao *Facility Layout Problem* – FLP (problema de instalação de *layout*). Uma linha de estudo está direcionada à otimização e a outra ao projeto, como a metodologia *Systematic Layout Planning* – SLP (planejamento sistemático de *layout*).

De acordo com os autores Shahin e Poormostafa (2011), os métodos voltados para otimização, de modo geral temos objetivos e restrições dos arranjos físicos facilitados. Já a técnica de projeto integra questões qualitativas assim como quantitativas em sua elaboração. Seu êxito está ligado à capacidade de produzir com qualidade possibilidades de disposições físicas.

Conforme abordagens da área de otimização e gestão da produção, no próximo capítulo serão evidenciadas as técnicas: SLP, AHP e Simulação computacional, no intuito de demonstrar como estas se aplicam aos problemas de arranjo físico.

2.6 Indicadores para estudo de *layout*

Realizar as avaliações nas empresas, setores ou grupos de trabalho é importante para saber como está o cumprimento das metas. Porém quanto maior a quantidade de indicadores e metas a desempenhar, dificulta a avaliação macro do desempenho da unidade.

As dificuldades de comparação podem ser a falta de correlação das unidades entre os vários indicadores, a não priorização e de definição da importância dos objetivos, por último a falta de metas a serem realizadas (FRANCISCHINI e CABEL, 2003).

De acordo com a necessidade de priorização entre os indicadores, pode ser utilizado o método AHP que é uma ferramenta bem difundida para esse tipo de análise HARKER e VARGAS (1987 *apud* FRANCISCHINI E CABEL, 2003).

Com intuito de recolher indicadores para o estudo de arranjo físico, foi realizada uma revisão de trabalhos de critérios usados em pesquisas realizadas nos últimos 15 anos, demonstrados no quadro 1.

Quadro 1: Indicadores para *layout*

Autor	Indicadores
Yang, Su e Hsu (2000)	Capacidade, produtividade, flexibilidade de <i>layout</i> e o fluxo de WIP.
Iannoni e Morabito (2002)	Tempo de ciclo e taxa de utilização.

Yang e Kuo (2003)	Distância de fluxo, pontuação de adjacência, forma de relacionamento, flexibilidade, acessibilidade e manutenção.
Abdi (2005)	Reconfiguração de <i>layout</i> , custo, qualidade, confiabilidade.
Ertay, Ruan e Tuzkaya (2006)	Qualidade e flexibilidade
Tortorella (2006)	Fatores humanos, relacionamento entre SPUs (unidades de planejamento de espaço), flexibilidade para futuras expansões, nível de re- <i>layout</i> , custo, aproveitamento da área, linearidade do fluxo.
Júnior e Filho (2007)	Tempo de produção e distância percorrida.
Cassel e Vaccaro (2007)	Tempo de espera, <i>lead time</i> da peça, ocupação de recurso.
Soares et al. (2011)	Número de operadores, capacidade produtiva, WIP, <i>lead time</i> de produção, ociosidade de operadores e ociosidade de máquinas.
Xu, Moon e Baek (2012)	Posto de trabalho por hora (Jobs-per-hour), <i>lead time</i> , WIP, custo de investimento.
Bremenkamp et al. (2013)	Fluxo do processo produtivo, tempo gastos nos equipamentos e tempo de espera desnecessário.
Neto (2015)	Tempo de manutenção, frequência da manutenção, tempo de ciclo, regime dos turnos, tempo de <i>setup</i> e frequência de <i>setup</i> .
Flessas et al. (2015)	Produtividade, Custos operacionais, Work-in process (WIP), distâncias percorridas, acidentes de trabalho, utilização da área produtiva, custos de re- <i>layout</i> , tempo de espera perdido.

Os trabalhos apresentados no quadro 1, envolvem critérios que foram abordados utilizando a técnica de simulação ou AHP, para escolher o melhor arranjo físico.

A seleção dos critérios utilizados nesse estudo, foram baseados nessa revisão, exposta no quadro 1, que possibilitou a criação do questionário aplicado à responsável técnica.

CAPÍTULO 3 - MÉTODOS APLICADOS A ESTUDO DE ARRANJO FÍSICO

Nessa seção estão apresentadas as ferramentas utilizadas para resolver problemas de *layout*, como SLP, AHP e Simulação, as quais são utilizadas na metodologia desse trabalho.

3.1 Alguns Métodos de auxílio para problemas de *layout*

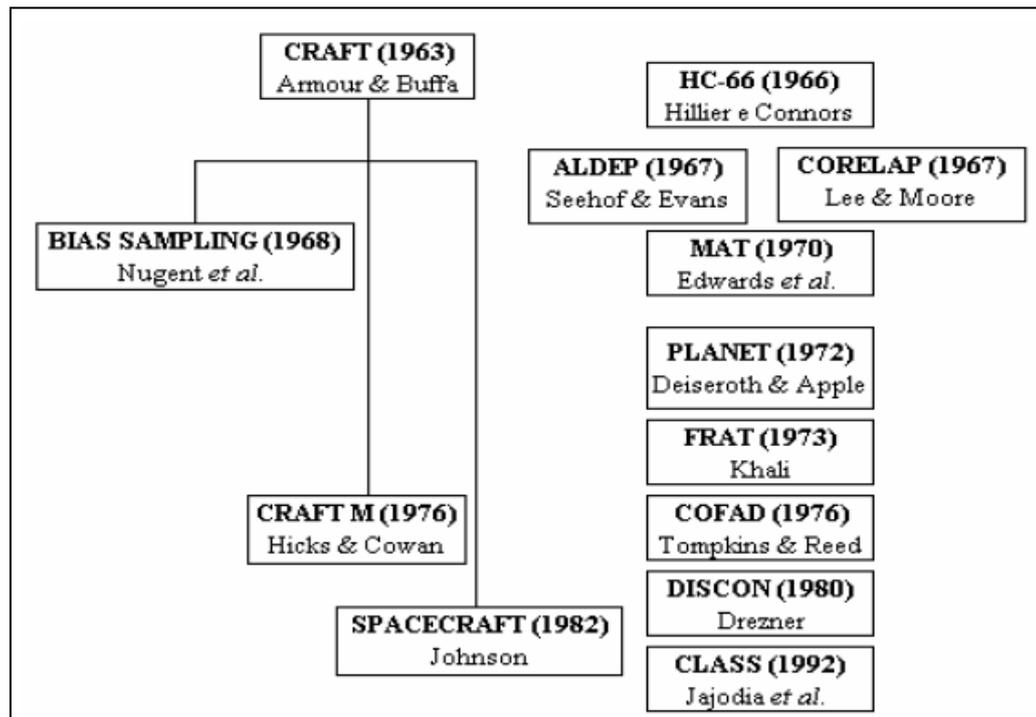
Existem várias opções de métodos que podem ser utilizados, para solucionar problema referente ao arranjo físico. De acordo com Fould (1983) há quatro fases que demonstram a evolução dos métodos para auxiliar no estudo de *layout*. As fases são divididas em (i) Métodos Esquemáticos, (ii) Métodos Sistemáticos, (iii) Métodos apoiados no computador e (iv) Tendências atuais.

No Método esquemático os analistas utilizam da sua intuição e conhecimento próprio para resolver a questão de *layout*. Alguns exemplos de técnicas empregadas são o diagrama de operações, de fluxo de processos, técnica de tempo entre outros.

No Método sistemático necessita-se de menos intuição dos analistas para seu progresso. É uma técnica mais objetiva, porém sem versão computadorizada. Dentre os métodos populares estão o *Systematic Layout Planning*, *Travell Charting* e o *Analysis Sequence Operations*.

Técnicas apoiadas no computador se utilizam de *softwares*, os quais vêm surgindo nos últimos trinta anos. Conforme a rapidez do computador é possível alcançar alternativas de *layout* de forma ágil e de qualidade. Estas técnicas utilizam distintos métodos heurísticos a fim de obter solução, para o problema de disposição física, alguns dos programas usados são o CRAFT, PLANET, ALDEP, CORELAP, FRAT, COFAD, etc. Na figura 1 pode ser percebida a cronologia desses programas para problemas referentes ao arranjo físico.

Figura 1: Cronologia de programas computacionais para problema de *layout*. Tortorella (2006) *apud* (Canen; Williamson, 1998)



urísticas (método

Na Tendência atual alguns métodos são destacados como: técnicas heurísticas (método DISCON), análise de multicritério, teoria de conjunto fuzzy, teoria de grafos, sistemas especialistas (análise de multicritério junto com métodos apoiados no computador) e Simulação. Na simulação vale destacar alguns softwares comerciais como GPSS, ProModel®, Simul8®, FlexSim®, Arena®, Ururau entre outros. destacar alguns softwares comerciais como GPSS, ProModel®, Simul8®, FlexSim®, Arena®, Ururau entre outros.

3.2 Planejamento sistemático de *layout* – SLP

Esse método tem sido bastante empregado quanto a estudos de definição de arranjo físico, em acordo com os estudiosos Shahin e Poormostafa (2011); Souza Jr et al. (2012) que afirmam quanto a sua grande utilização.

Para Muther (1978) o SLP funciona como um apoio aos tomadores de decisão, quanto a assuntos referentes à melhor localização dos maquinários, ferramentas, operadores e instalações.

O SLP foi proposto em 1961 por Muther e a metodologia está estruturada em quatro passos conforme Muther e Wheeler (2000). As etapas foram elaboradas com a intenção de planejar, detectar, visualizar e ordenar as muitas tarefas, relações e

opções compreendidas em qualquer programa de arranjo físico, levando em consideração suas restrições e compatibilidades.

A organização das quatro fases, visualizada na figura 2, é exposta em Muther (1978). Na primeira estabelece-se a localização do espaço em que será realizado o planejamento do estabelecimento. Na segunda fase são definidas as posições entre os vários setores. A terceira etapa engloba o ponto em que cada máquina e utensílios se localizam. Na quarta e último passo se faz a implantação, procurando que a instalação seja efetuada conforme foi acordado no planejamento.

Figura 2: Fases do SLP. Fonte: Muther (1978) apud Azevedo e Braga (2013)

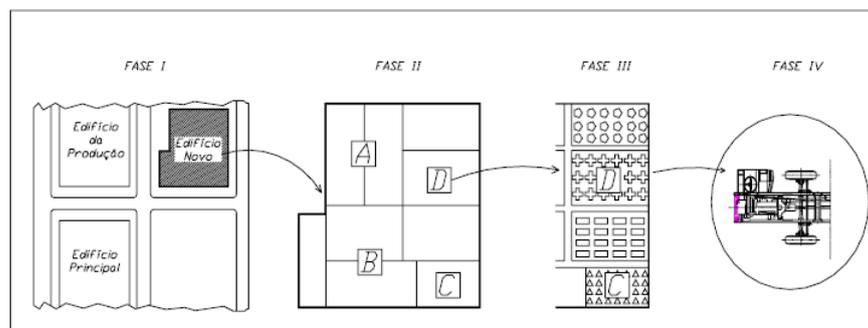
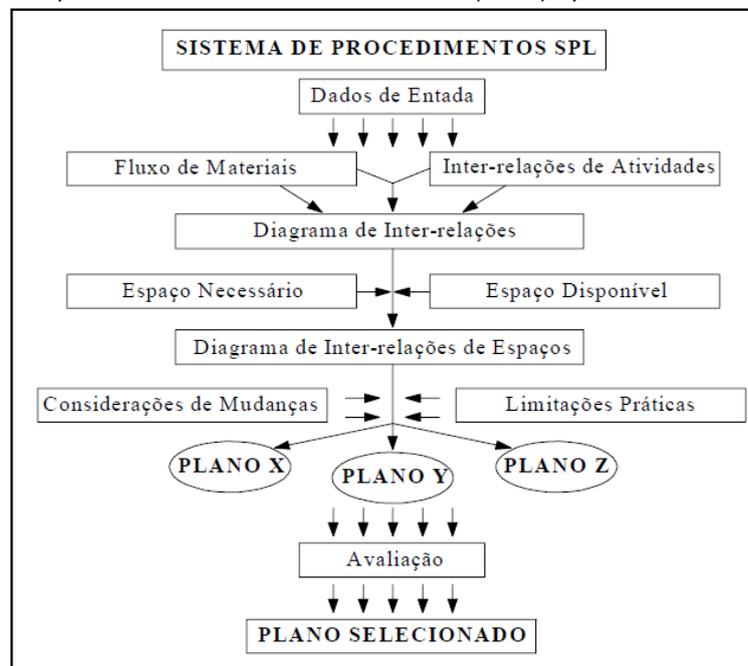


Figura 3: O sistema de procedimentos SLP. Fonte: Muther (1978) apud Herrera e Costa (1999).



Para maior entendimento das etapas envolvidas no processo SLP, como visto na figura 3, segue a estruturação de casa passo:

Dados de entrada: essa seção está envolvida com a coleta de informações quantitativas e qualitativas, pois estas são essenciais para desenvolver o projeto Lee (1998). Ainda segundo os autores Yang, Su e Hsu (2000) os dados iniciais considerados são as análises PQRST, que são relacionados ao produto-P, qualidade-Q, Rota-R, Suporte-S e tempo-P.

Fluxo de material: A análise de processos serve de auxílio para determinar a movimentação de materiais. Assim Muther (1978) destaca que tais processos podem ser executados por meio de diagramas de processos, ou processos múltiplos ou ainda pela planilha De-Para.

Do mesmo modo Yang, Su e Hsu (2000) comentam a carta De-Para, mencionando que esta descreve a intensidade de fluxo entre os distintos e variados setores.

Muther (1978) ainda ressalta que se deve atentar ao volume e à diversidade dos produtos a serem gerados, com o propósito de facilitar a escolha do método de análise do fluxo de materiais.

Inter-relação das atividades: é efetuada a análise qualitativa para definir a relação de proximidade entre as diversas repartições da empresa (YANG, SU e HSU, 2000).

Para demonstrar a inter-relação das tarefas, Slack, Chambers e Johnston (2007) fazem menção à carta de relacionamentos, que indica o quanto é desejável ou não manter a proximidade de determinados departamentos.

É importante também examinar a área necessária para os setores assim como o espaço livre do estabelecimento (MUTHER e WHEELER, 2000).

Com posse das informações necessárias obtidas pelos passos acima descritos, o resultado é a geração do diagrama de inter-relações. Um desses modelos de diagramas, também conhecidos como carta de relacionamentos, diagrama de relacionamento, ou ainda de carta de interligações preferenciais, pode ser visualizado na figura 4.

Figura 4: Exemplo de carta de relacionamento. *Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2007).*

		Código	Proximidade é...	
		A	Absolutamente necessário	
		E	Especialmente importante	
		I	Importante	
		O	Proximidade normal	
		U	Não importante	
		X	Indesejável	

Metrologia					
E	Teste eletrônico				
A	I	Análise			
O	U	I	Teste ultra-sônico		
X	U	O	I	Teste de fadiga	
X	U	A	O	E	Teste de impacto

Espaço necessário e espaço disponível: com a realização da análise de espaço, é possível retratar o espaço existente. Os diagramas de espaço apontam qual é o modelo presente de arranjo físico (LEE, 1998).

Pode-se estabelecer quanto espaço será reservado para cada repartição da firma, a partir da análise de espaço necessário e livre. Também é ressaltado que pode ser crítica a decisão para o projeto, pelo fato de ser preciso realizar futuras ampliações (YANG, SU e HSU, 2000).

Diagrama de inter-relacionamento de espaço: é o resultado da combinação do espaço necessário e o disponível, esse diagrama tem como propósito evidenciar as áreas perdidas e ociosas dentro da empresa. Quando finalizado o diagrama formará um *layout*.

No diagrama de relacionamento de espaço devem ser acrescentados os dados referentes ao tamanho dos setores. Antes de se produzir um *layout* em blocos é necessário reconhecer as restrições e limitações adicionais (TOMPKINS et al.,1996).

Mudanças consideradas e limitações práticas: nesta etapa são efetuados os devidos ajustes e alterações no arranjo físico elaborado na fase acima, considerando as exigências da almejada nova linha de manufatura.

Algumas necessidades a serem atentadas podem ser: técnicas de movimentação, aspectos referentes ao terreno e a edificação, recursos de armazenagem, necessidades de mão de obra entre outros. Toda questão considerada deve ter suas restrições práticas analisadas (COSTA, 2004).

Avaliação: depois de concluídas todas as devidas mudanças de acordo com a etapa acima e geradas as alternativas de *layout*, inicia-se a fase final, em que é feita a seleção da melhor alternativa de disposição física.

Para Costa (2004) selecionar qual será a melhor opção, pode ser executada através de uma análise de custo e aspectos intangíveis. O *layout* adequado em geral é aquele obtido quando se efetua um confronto entre as vantagens e desvantagens de cada projeto.

Muther e Wheeler (2000) também revelam que a escolha da melhor alternativa é realizada comparando as várias especificidades de cada arranjo.

Selecionado o modelo de *layout*, faz-se necessário a autorização e liberação da firma para iniciar a preparação da modificação do arranjo-físico (COSTA, 2004).

3.3 Uso do método SLP

O SLP é uma abordagem de simples aplicação que consiste em um passo-a-passo para projetos de *layout*. Assim de acordo com Gilbert (2004; *apud* FLESSAS et al., 2015), a técnica SLP é muito utilizada para estudos de melhorias de arranjo físico, em especial nas pequenas e médias empresas por ser de fácil aplicação.

Os autores Shengchong, Wei e Hongli (2015) também comentam que o SLP é amplamente utilizado e vem ganhando notoriedade para o estudo de arranjo nas indústrias. Diante desse contexto alguns trabalhos que aplicaram este método para estudos de *layout*, são destacados abaixo:

Neuman e Milani (2009) realizaram um estudo em uma empresa que trabalha com metal-mecânico, que tinha como propósito apresentar melhorias no *layout*. Tinha como principais metas otimizar o processo produtivo, reduzir os deslocamentos entre os setores da empresa e a movimentação de materiais, por fim melhorar o relacionamento entre os departamentos. Para tanto fez uso da ferramenta SLP simplificada.

Como conclusões conseguiram diminuir a distância total, no deslocamento de materiais e aproximação dos setores por afinidade, conforme a carta de relacionamento. Também foi percebido que o método de estudo foi eficiente e proporcionou a elaboração de um novo arranjo físico.

Os trabalhos de pesquisas feitos por Borba, Luna e Silva (2014) na microempresa de manufatura de medalha e similares, em Florianópolis, teve como propósito sugerir um *layout* para a nova fábrica através do uso da metodologia SLP.

Sendo assim foram geradas cinco alternativas de arranjo físico, das quais uma foi selecionada, por minimizar as distâncias percorridas pelos materiais e pessoal no interior da fábrica. O *layout* proposto também possibilitou maior eficiência nos processos.

O arranjo sugerido foi implantado na empresa e foi concluído na prática que trouxe melhorias como: departamentos adequadamente dimensionados, estabelecimento de áreas para armazenagem de materiais, proporcionando maior eficiência nos processos e minimização da movimentação.

Carlo et al. (2013) tiveram como objetivo do trabalho realizado em uma linha de produção de moda, efetuar uma comparação dos distintos métodos de design de *layout* para linhas de produção de moda por lote e de baixo volume. O estudo foi aplicado à linha de manufatura de chapéus. Foram usadas três metodologias, um Método Empírico, SLP e Mapa fluxo de valor, dos quais derivaram três configurações de arranjo físicos muito semelhantes, para verificar o desempenho produtivo foi feita uma simulação, o qual possibilitou analisar a eficiência de cada alternativa.

Está pesquisa concluiu que o melhor método para redesenhar linhas de fabricação em lote de baixo volume, é uma metodologia de princípios de produção enxuta – Mapa fluxo de valor, considerando a redução de desperdícios, que de fato trouxe redução de tempos e custos.

3.4 Auxílio multicritério à decisão

Uma das áreas da Pesquisa Operacional é o Apoio Multicritério à Decisão (AMD), a qual tem como propósito propiciar ao decisor alguns meios que auxiliarão no tratamento de uma problemática, levando em conta muitos critérios e perspectivas que muitas vezes podem ser contraditórias (FREITAS, 2007).

Do mesmo modo Moraes e Almeida (2002), também mencionam os pontos de vistas e critérios que normalmente são conflitantes, argumentado que por esse motivo o procedimento de tomada de decisão deve ser conduzido por uma análise em que se utilizem técnicas de multicritérios, para dar suporte ao decisor na seleção das opções.

Os métodos multicritério da Escola Americana tem como base teoricamente o grupamento de todas as informações referentes ao problema, o qual se objetiva encontrar resposta. Em relação a essa técnica são presentes dois importantes

exemplos como: A Teoria de Utilidade Multiatributo (MAUT) e o método AHP como o mais famoso (RANGEL e GOMES, 2010).

De acordo com o autor Tortorella (2006) quando o procedimento de escolha de alternativas de arranjo físico engloba distintos critérios de análise com rígidos requisitos, se utiliza de modo eficiente a abordagem de apenas um critério de síntese. Dentre as técnicas existentes, o AHP seria o mais aconselhável, por tornar possível a comparação entre pares de opções para cada dimensão de análise, produzindo pesos entre as opções conforme cada dimensão.

3.4.1 Método AHP

A técnica AHP é definida por Rafaeli e Muller (2007) como um método estruturado, empregado para a solução de problemas que contenham diferentes variáveis que precisam ser estimadas ao mesmo tempo.

No início dos anos 70, o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), foi proposto por Saaty. Este método é o mais disseminado e empregado no auxílio à tomada de decisão para encontrar respostas dos problemas negociados em situações que possuam diversos critérios (COSTA, 2002).

Conforme Saaty (1991), o AHP reconhece a melhor escolha dentro das possíveis opções e dá suporte na determinação e prioridades; também leva em conta fatores quantitativos e qualitativos.

O mesmo autor menciona que para aplicar o AHP, o tomador de decisão realiza algumas atividades como estabelecer o objetivo geral, e com isso, elege os atributos para conseguir o objetivo; os componentes precisam estar estruturados de maneira hierárquica.

Uma boa vantagem do AHP é viabilizar que os indivíduos que utilizam essa técnica possam atribuir pesos relativos para as diversas dimensões, ou muitas alternativas para um critério específico. Esses pesos são concedidos de forma intuitiva e simultaneamente, efetua-se uma comparação realizada de par a par entre os mesmos. Isso torna possível que se reconheça qual das dimensões é mais importante através da experiência das pessoas, mesmo que duas variáveis não sejam comparáveis (SAATY, 1991).

Desse modo o procedimento AHP se fundamenta em três princípios Saaty (1991);

- a) **Construção de hierarquias:** os critérios e alternativas são organizados de modo hierárquico, auxiliando a melhor compreensão e avaliação do mesmo. Onde o primeiro patamar equivale ao propósito total do problema, o segundo aos critérios e as alternativas se encontram no terceiro nível. Segundo Bornia e Wernke (2001) o arranjo hierárquico proporciona ao decisor ter uma visualização do sistema de forma totalitária, seus componentes, suas interações e os impactos que os mesmos realizam sobre o sistema. Assim, compreender de maneira geral o problema e sua complexidade, facilitando na avaliação do critério e seus conteúdos, por meio de uma comparação homogênea dos itens.
- b) **Definição de prioridades:** Está baseada na habilidade do indivíduo compreender o relacionamento entre objetos e situações visualizadas, comparando pares sob a luz de um específico critério, ou julgamentos paritários conforme Costa (2002; *apud* TREVIZANO e FREITAS, 2005). Nesta etapa é essencial cumprir os seguintes passos:
- Julgamentos paritários: julgar par a par os itens de um patamar da hierarquia, à luz de cada item em conexão em um grau superior, construindo as matrizes de julgamento A, por intermédio da utilização da escala de Saaty demonstrada abaixo na tabela 1.

Tabela 1: Escala de valor para julgamentos paritários. *Fonte: Saaty (2000) Apud Trevizano e Freitas (2005)*

Escala Verbal	Escala Numérica
Igual preferência (importância)	1
Preferência (importância) fraca	3
Preferência (importância) moderada	5
Preferência (importância) forte	7
Preferência (importância) absoluta	9
2, 4, 6, 8 são associados a julgamentos intermediários	

O número de julgamentos essenciais para a construção de uma matriz de julgamentos geral A é $n(n-1)/2$, onde n é o número de elementos que fazem parte desta matriz. Os elementos de A, são estabelecidos pelas seguintes condições:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \text{ onde: } \begin{array}{l} a_{ij} > 0 \Rightarrow \text{positiva} \\ a_{ij} = 1 \therefore a_{ji} = 1 \\ a_{ij} = 1/a_{ji} \Rightarrow \text{recíproca} \\ a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk} \Rightarrow \text{consistência} \end{array}$$

- A Normalização das matrizes de julgamento: é a obtenção de quadros normalizados, por consequência da soma dos itens de cada coluna das matrizes de julgamento e depois, da divisão de cada item destas matrizes pelo somatório dos números da coluna correspondente;
- Cálculo das prioridades médias locais (PML's): as médias das linhas das matrizes já normalizadas são as PML's;
- Cálculo das prioridades globais: nessa parte se almeja reconhecer um vetor de prioridades global (PG), que mantenha a prioridade ligada a cada alternativa quanto ao foco prevalente.

C) **Consistência lógica:** o indivíduo tem a capacidade de estruturar relações entre os objetos ou ideias de maneira que elas sejam compreensíveis, que haja um bom relacionamento entre si e que as mesmas mostrem relações firmes (SAATY, 2000).

Desse jeito o método AHP se disponibiliza calcular a Razão de Consistência dos julgamentos, descrito por $RC = IC/IR$, aonde IR significa o Índice de Consistência Randômico obtido para um quadro recíproco de ordem n , com itens que não sejam negativos e gerados randomicamente. O IC significa o Índice de Consistência que é dado pelo $IC = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n-1)$, onde símbolo $(\lambda_{\text{máx}})$ representa o maior autovalor do quadro de julgamentos. E a condição de consistência dos julgamentos para Saaty (2000) é $RC \leq 0,10$ (TREVIZANO e FREITAS, 2005).

3.5 Uso do método AHP

Para tomada de decisão o AHP é uma técnica eficaz que auxilia na identificação da melhor alternativa e das prioridades, levando em conta aspectos qualitativos e quantitativos. Esse método pode ser utilizado em diversas áreas como nos trabalhos abaixo.

Hussain, Malik e Neyadi (2016), aplicaram seu trabalho na área de gestão de saúde pública. A pesquisa utilizou o AHP para auxiliar o processo de tomada de decisão, para identificar, priorizar e escolher oportunidades de melhoria em três hospitais públicos dos Emirados Árabes Unidos.

Na área de educação também é possível fazer uso do método AHP, portanto os autores Škorić, Pein e Orehovački (2016), fizeram uso desta técnica para escolher uma ferramenta Web mais adequada para o ensino de programação inicial.

O AHP pode ser usado na priorização de requisitos (KARATZAS, DIOUDI e MOUSSIOPOULOS, 2003); na seleção de melhor fornecedor (MARTINS et al., 2015) entre outros setores como abordados no quadro 2.

Vale ressaltar que este método também pode ser usado para o estudo de *layout*, como no trabalho de Abdi (2005) que averiguou os critérios que podem influenciar na seleção de configurações de arranjo físico e utilizou o AHP para escolher a melhor alternativa. Também pode ser visto o AHP combinado com outras técnicas para auxiliar o estudo de *layout* como apresentados no item 3.7

Quadro 2: Aplicação do AHP em diversos contextos

Autores	Áreas de aplicação	Objetivo	Conclusão
Martins, Souza e Barros (2009).	Gestão	A técnica AHP foi usada para resolver problema gerencial, ou seja, decidir sobre a questão da integração do sistema de informação da prefeitura municipal.	Foi possível escolher a melhor alternativa, que foi a 'B', a qual mostra a necessidade de adquirir e implantar um sistema de informação para a prefeitura. Foi visto também que a utilização dessa ferramenta representa um diferencial competitivo em relação aos concorrentes.
Magalhães, Piassi e Aguiar (2011).	Logística reversa	O AHP foi utilizado para indicar o eletrodoméstico da linha branca, que tem grande probabilidade de sofrer reprocesso de modo mais fácil, quando alcançado o final da sua vida útil.	O objetivo do estudo foi alcançado, pois possibilitou a identificação do eletrodoméstico, que seguramente pode sofrer reprocesso facilmente por meio da logística reversa, quando o produto estiver no fim do seu ciclo de vida útil.
Alves e Alves (2013)	Localização geográfica	Avaliar os aspectos importantes tanto qualitativos como quantitativos, que influenciam na estrutura decisória da seleção de uma localidade geográfica, para a implantação de uma empresa de manufatura do setor automotivo.	Foram seis localidades selecionadas, e com o AHP foi possível ordenar prioritariamente os locais para instalação de uma empresa automotiva, assim houve uma análise detalhada dos critérios e subcritérios. Por meio de julgamentos paritários e julgamentos de consistência satisfatórios, pôde ser validada a

			alternativa escolhida(Cidade B).
Abreu, Santos e Freitas (2015).	Gestão da Qualidade	Foi empregado o método AHP para avaliar a qualidade de transporte público por ônibus e van segundo a percepção dos usuários.	No modelo AHP a melhor alternativa é o ônibus, pois, obteve um resultado melhor do que a van, porém uma diferença pequena. No geral foi percebido que os dois meios de transportes são de baixa qualidade conforme seus baixos desempenhos.

3.6 Simulação computacional

A ferramenta de simulação computacional tem a capacidade de representar variados cenários e aferir os respectivos resultados. Quando se realiza uma análise considerando o desempenho dos fluxos de processos já simulados, propicia ajudar a gestão dos recursos e medir os ganhos de novas opções, essencialmente prezando a oscilação da demanda e as incertezas dos mercados (MCLEAN e LEONG, 2001).

Os modelos de simulação são elaborados para dar assistência a decisões referentes a aplicações em novas tecnologias, alargamento da capacidade de fabricação, administração de materiais, recursos humanos e a aproximação com os fornecedores, ou seja, por intermédio da simulação é factível definir propósitos estratégicos de produção (MCLEAN e LEONG, 2001).

Compreende-se por simulação o procedimento em que o exemplo de um sistema real é aplicado para denotar como esse sistema responderia as alterações em seu programa, seu espaço e suas conjunturas de funcionamento (HARREL et al., 1997).

A definição dada por Banks (1998) descreve a simulação como a reprodução de uma atividade em um processo ou sistema do mundo real, que acontece ao longo de determinado espaço de tempo.

Para Harrel, Ghosh e Bowden (2000), em um modelo de simulação computacional há a possibilidade de serem experimentados valores divergentes para variáveis que são possíveis de serem controladas e alteradas pelo responsável do projeto. O domínio das variáveis proporciona resultados de saída esperados e ou comparação entre os modelos. As variáveis que são geralmente investigadas são: prazo de processamento, *lead time*, padrão de utilização dos recursos, capacidade média fabricada, tempo de fila, tempo de deslocamento, etc.

Gozando do mesmo pensamento que Harrel, Ghosh e Bowden, o autor Prado (2010) também afirma que a simulação possibilita a imitação da operação de um sistema real, podendo ser visto o funcionamento dos modelos elaborados em uma tela. Como se tivesse vendo um filme.

A simulação possibilita o estudo da operação por intermédio da análise de vários parâmetros de forma simultânea segundo Meirelles et al. (2009). Também nos estudos de *layout*, a simulação pode ser empregada para estimar os parâmetros ligados a algumas tarefas como:

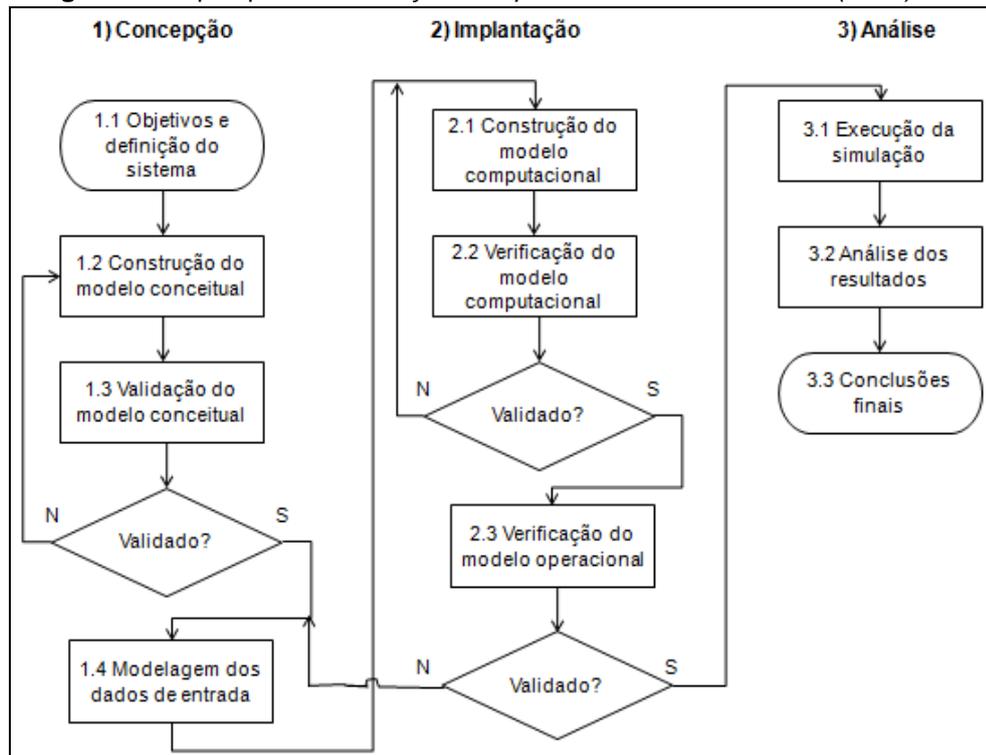
- (i) elaborar uma série de arranjos otimizados, originados pelo uso das rotinas clássicas de *layouts*. (ALTINKILIC, 2004);
- (ii) detectar gargalos em estruturas de arranjo físico e pontos de melhoria (BREMENKAMP et al., 2013);
- (iii) comparar diferentes composições de *layout* em relação a parâmetros operacionais. (ALTINKILINC, 2004; MORRIS, e TERSINE, 1994).

Um software adequado para simulação computacional para estudos de arranjo físico deve propiciar a descrição e análise de um processo produtivo. É necessário que o fluxograma que representa o processo fabril seja compatível com o modelo de simulação, para facilitar a validação do modelo (MEIRELLES et al., 2009).

Assim, a simulação computacional é um método usado para resolver problemas, não apenas uma teoria, essa ferramenta é empregada para estabelecer e averiguar um procedimento real, que é exibido em um computador ou ainda em protótipos, que seriam os ensaios, ou seja, conforme os outros autores que dizem a respeito da reprodução de um procedimento real, Law e Kelton vão além, expondo que essa imitação deve ser em menor tempo e com menor custo, propiciando um estudo acurado de acontecimentos passados, presentes e futuros (LAW e KELTON, 1991).

É importante seguir a metodologia, para que o projeto de simulação possa abranger todos os estudos que são essenciais para sua concretização. Assim, Montevechi et al. (2008) recomendam uma sequência de tarefas a serem efetuadas no decorrer do desenvolvimento do projeto de simulação, sendo dividida em 3 etapas: concepção, implementação e análise, como pode ser visto na figura 5.

Figura 5: Etapas para a simulação .Adaptado de Montevechi et al. (2007).



- Concepção** - é fundamental que seja nítido o objetivo da simulação e o quão detalhado serão utilizados. Nessa fase também é realizado o estudo do sistema, com a intenção de que os processos, entradas, padrões, consumidores, utilização de recursos etc. sejam compreendidos plenamente. Outra atividade efetuada é a coleta de dados de entrada que em conjunto com outros dados constitui o modelo conceitual, conforme Chwif e Medina (2007) são as etapas mais importantes referentes ao estudo de simulação. Pinho, Leal e Almeida (2006) ainda ressaltam que este deve ser exposto por meio de algum método de modelagem.
- Implementação** - é a etapa em que se seleciona um simulador, que seja adequado conforme a aplicação que se deseja. Ou seja, que haja uma conversão do modelo conceitual para um computacional segundo Chwif e Medina (2007). Estes mesmos autores mencionam que os modelos devem ser comparados para poder verificar se sua operação satisfaz ao que foi determinado na primeira etapa. Finalizada a análise, são utilizados recursos estatísticos para autenticar as saídas geradas do modelo e verificar se são compatíveis com as do sistema real.

- **Análise** - são executados os experimentos com o modelo computacional validado ou ainda sobre os cenários que foram produzidos a partir deste, com o propósito de avaliar a conduta do atual sistema sobre essas circunstâncias.

3.6.1 Alternativas para construir um modelo de simulação a evento discreto

São presentes duas principais abordagens de simulação computacional, a denominada contínua e a discreta. A nomeada de contínua baseia-se em modelos descritos por equações diferenciais e/ou a diferenças e demonstram bem os procedimentos contínuos ou de fluxo. Esta alcança uma boa exatidão na reprodução do sistema real, contanto que o mesmo não seja excessivamente complexo.

Já a simulação discreta, que é a segunda abordagem, é dirigida por eventos e fundamentada em uma tabela de eventos. Utiliza recursos probabilísticos e é capaz de modelar sistemas mais complicados. Sua dinâmica sucede através de uma sequência de eventos discretos, ou seja, separado no tempo. Nos dias de hoje, existem vários softwares para ambas as classes de simulação, porém a discreta figura ser a mais disseminada e utilizada de acordo com (VIEIRA, 2006).

Existem quatro opções para o analista de simulação conforme Law (2007), quando se almeja desenvolver um modelo de simulação a eventos discretos. (a) apenas utilizar a linguagem de uso genérico; (b) usar biblioteca de simulação; (c) operar com uma linguagem própria para simulação; (d) utilizar ambientes de simulação a evento discreto.

Sobre a primeira opção, esta é a mais flexível de todas, as linguagens gerais são, por exemplo, Java, C#, C++, Python entre outras, porém é mais propenso a erros de desenvolvimento, logo é necessária mais atenção dos programadores (SARGENT, 2010).

Usar biblioteca própria para a simulação é a segunda alternativa. Esta opção utiliza uma linguagem que seja genérica, para a construção do aplicativo a respeito das bibliotecas. Estas bibliotecas já possuem recursos de avanço de tempo, criação de números aleatórios e algumas detêm de aplicativos para tratamento de dados de entrada, dessa maneira facilitando a concepção do modelo pelo analista (KING e HARRISON, 2010).

A terceira opção está relacionada à linguagem específica para simulação, dentre essas estão Simula, GPSS etc. Com esses sistemas o modelo computacional fica resumido e é formulado em menor tempo.

Na última alternativa, a qual é trabalhar com ambientes de simulação a evento discreto, existem *softwares* como, por exemplo: Arena®, GPSS, ProModel®, FlexSim®, Simul8®, Ururau etc. Os ambientes trazem benefícios como a presença de pelo menos uma interface gráfica, recursos de avanço de tempo, criador de número aleatórios e demonstração de conclusões em formato de relatório. Esta opção torna o processo ágil e mais fácil para a elaboração dos modelos, porém não permite que ocorra integração entre os modelos com as bibliotecas oriundas da linguagem de uso genérico (PEIXOTO et al., 2013).

3.6.2 Vantagens e desvantagens da simulação computacional

Vários são os benefícios da simulação, quando confrontada com outras técnicas analíticas ou experimentais, ou até mesmo, fundamentados apenas na perícia do projetista ou ainda na tomada de decisão. Podem ser citadas as vantagens:

- Evidencia como realmente o sistema funciona em contestação ao modo que se pensa que ele funciona (BANKS e CARSEN, 1984);
- Podem ser experimentadas hipóteses para confirmar como e porque certos fatos ocorrem (PEDGEN, SHANON, SADOWSKY 1990);
- A complexidade do sistema modelado não interfere de modo significativo na performance do procedimento de otimização (AZADIVAR,1999);
- Propicia o estudo de sensibilidade do modo What-if, que significa o que acontece se, inúmeras políticas de definições que podem ser experimentadas e confrontadas de forma ágil (CORRÊA, GIANESI, CAON 2001);
- A simulação é um meio poderoso, para amparar a decisão possibilitando que seja obtida resposta potencialmente boa (CORRÊA, GIANESI, CAON 2001);
- Possibilita que se mensure o desempenho de um sistema real em relação a situações operacionais distintas (LAW, 2007);
- Propicia manter um monitoramento mais eficiente sobre as condições experimentais, mesmo antes de colocá-las em prática (LAW, 2007);
- Oportuniza uma pesquisa de um sistema por período de tempo maior, porém em intervalo relativamente curto (LAW, 2007).

A simulação também possui algumas limitações. Assim algumas das desvantagens apresentadas são:

- A estruturação do modelo necessita de treinamento especial, o conhecimento acontece com o passar do tempo, com obtenção de testes (BANKS e CARSEN, 1984);
- A interpretação dos resultados pode ser complicada, visto que os modelos procuram capturar as oscilações do sistema (PEDGEN, SHANON e SADOWSKY 1990);
- Trabalhar com a simulação computacional gera mais despesa do que a avaliação de funções analíticas, fazendo com que a eficiência dos algoritmos de otimização se torne crítica (AZADIVAR, 1999);
- É possível que a simulação não produza boas soluções se não tiverem os *inputs* corretos. Tanto a concepção como a alimentação do sistema solicitam uma atividade pesada e criteriosa (CORRÊA, GIANESI e CAON 2001);

3.6.3 Linguagem IDEF-SIM

Ressaltando a relevância da etapa conceitual foi sugerido por Leal (2008) um método de modelagem conceitual, próprio para ambiente de simulação nomeado de IDEF-SIM. Esta técnica facilita o esforço empregado notada na fase de modelagem computacional.

De acordo com Montevechi et al. (2010) os componentes usados para fazer parte do método IDEF-SIM foram escolhidos a partir de técnicas de modelagem muito empregadas, como no caso da família de métodos IDEF (*Integration Definition Language*) e também o fluxograma.

Para Leal et al. (2009) o IDEF-SIM usa e adapta componentes lógicos dos métodos de modelagem IDEF0, IDEF3 e fluxograma (quadro 3), possibilitando a formulação de modelos conceituais com dados úteis para a elaboração do modelo computacional.

O IDEF0 possui componentes gráficos e textuais de forma combinada, sendo expostas de maneira ordenada e sistemática. Essa técnica é empregada para elaborar representações gráficas organizadas dos procedimentos ou complicados sistemas AGUILAR-SAVÉN, (2008 apud LEAL, 2008).

É ressaltado por Hernandez-Matias et al. (2008) que o IDEF0 é mais usado para análises em manufatura, dentre as abordagens da família IDEF.

O IDEF3 exibe-se em duas formas: relatando o fluxo do processo e a transição dos objetos no decorrer do processo. Uma das particularidades desse

método de modelagem é a descrição dos eventos ou tarefas em sua ordem real, levando em conta as precedências temporais.

Quadro 3: Simbologia IDEF-SIM. Fonte: Leal, Almeida e Montevechi (2008)

Elementos	Simbologia	Técnica de origem	
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)	
Funções		IDEF0	
Fluxo da entidade		IDEF0 e IDEF3	
Recursos		IDEF0	
Controles		IDEF0	
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	 &	Regra E	IDEF3
	 X	Regra OU	
	 O	Regra E/OU	
Movimentação		Fluxograma	
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3	
Fluxo de entrada no sistema modelado			
Ponto final do sistema			
Conexão com outra figura			

Será detalhado a seguir conforme Leal, Almeida e Montevechi (2008) a função de cada componente exposto no quadro3.

I) **Entidade:** representa os itens, os quais serão processados pelo sistema, ou seja, produtos, insumos, documentação, pessoal etc. sendo possível agrupar ou dividi-los no decorrer do processo de fabricação, sua movimentação pode ser através de meios próprios ou por recursos. Esse símbolo (entidade) depois de apresentado, apenas será novamente exposto na hora que for gerado uma nova entidade. Assim, fica evidente a quantidade de entidades a ser usada e em que posições do modelo ocorrerão às alterações;

II) **Funções:** demonstram os pontos onde a entidade passa por alguma ação. Exemplos de funções são: centro de trabalho, posto de atendimento, filas e estoque, esteiras de locomoção. Essas funções podem provocar mudanças em uma entidade, como modificar o ritmo de tempo do fluxo do centro de trabalho;

III) **Fluxo da entidade:** evidencia a direção da entidade no modelo, qualificando os momentos tanto de entrada quanto de saída das entidades dentro das funções;

IV) **Recursos:** correspondem aos componentes que são usados para locomover as entidades e efetuar funções. Os recursos podem ser equipamentos ou mão de

obra. Dentro de um sistema é possível que haja recursos estáticos, os quais não têm o benefício da movimentação e recursos dinâmicos que podem se locomover por uma rota determinada;

V) **Controles:** representam os padrões empregados nas funções, como por exemplo, normas de filas, sequenciamentos, programações etc.;

VI) **Regras para fluxos paralelos e / ou alternativos:** essas normas são nomeadas de ligações no método IDEF3. Duas ou mais direções, posteriormente a uma função, podem ser efetuadas de três maneiras: juntas (ligação E), alternativa (ligação OU) e por fim permitindo as duas normas (ligação E / OU);

VII) **Movimentação:** retrata a locomoção da entidade, na qual o programador que realiza a modelagem creia que essa movimentação seja um importante impacto sobre o modelo. Ao representar este item, a expectativa é que se identifique uma específica programação para este deslocamento (ex: tempo despendido e recursos usados) a partir do modelo computacional;

VIII) **Informação explicativa:** simbologia utilizada para introduzir uma explicação com o intuito de simplificar o entendimento do modelo;

IX) **Fluxo de entrada no sistema modelado:** este ícone estabelece a entrada ou a geração das entidades no interior do modelo;

X) **Ponto final do sistema:** este determina o término de uma dada rota dentro do fluxo modelado;

XI) **Conexão com outra figura:** símbolo usado para separar o modelo em distintas figuras.

3.6.4 Uso do método Simulação

Existem alguns motivos de se efetuar estudos relacionados ao *layout* pelo uso da simulação; uma delas é devido à intervenção das decisões na capacidade produtiva e na produtividade das firmas conforme Borges (2001). Para Law e Kelton (1991), outro motivador para o uso da simulação pode ser em razão dos custos.

As modificações ou implantações realizadas no *layout* em busca de melhorar seus processos entre outras vantagens podem ocasionar custos elevados para as organizações. Assim, Lemos, Anzanello e Fogliatto (2006), mencionam que a simulação pode auxiliar na tomada de decisão a respeito dos investimentos no arranjo físico, por meio da análise do comportamento de distintas opções de *layout*,

antes de serem postas em prática, prevenindo-se de falhas e custos desnecessários.

Foi visto junto à literatura que a simulação pode ser utilizada para diversos setores, como o autor Oliveira (2008) que comenta do uso da simulação em sistemas públicos, logística, mineração e na área siderúrgica. O pesquisador Vieira (2006) reforça a ideia do uso em outros segmentos como, por exemplo, em restaurantes, hospitais, supermercados, portos e aeroportos entre outros.

Mas a simulação é usada principalmente nas indústrias para processos de manufatura de acordo com os autores O' Kane, Spenceley e Taylor. (2000). Diante deste cenário, foi realizado uma pesquisa de alguns estudos efetuados nos últimos 15 anos, apresentados abaixo, no quadro 4, que utilizam apenas a Simulação empregadas em vários setores.

Quadro 4: Aplicações da Simulação Computacional em diversos contextos. *Adaptado de Abreu, Barbirato e Boa Morte (2016)*

Autor	Área de aplicação	Objetivo	Conclusão
Casalinho, Schramm e Silva (2001)	Fábrica da área de equipamentos e insumos designado a área médico-hospitalar	Verificar os efeitos da implementação dos princípios de produção enxuta através da simulação.	- Principal efeito se deu por inserir os lotes de produção reduzidos ao sistema atual, independentemente do tempo de <i>setup</i> ; - Com a simulação foi viável obter dados minuciosos dos quadros gerados e confirmar os efeitos que as alterações acarretam no sistema atual de fabricação.
Assis et al. (2012)	Fábrica de bordado	Analisar a capacidade produtiva da área de bordado de uma fábrica	- Proporcionou a identificação da causa que restringe a capacidade produtiva. - Porém não aplica a simulação para possíveis melhorias.
Aguilar et al. (2009)	Concessionária MRS Logística S.A.	Averiguar os benefícios do uso da simulação através do Arena 10.0, para modelar uma parte da malha ferroviária e	- O cenário adequado é o que apresenta melhores resultados, como aumento da quantidade média de trens em andamento e diminuição do tempo de atravessamento de todos os trens.

		ajudar na escolha de decisões estratégicas.	- Foi concluído que o programa Arena 10.0 é apropriado para simular a malha ferroviária.
Neto (2015)	Área automobilística	Encontrar um quadro que amplie a taxa produtiva	- Foi escolhido o cenário que realocou a mão de obra para os trabalhos mais críticos, aumentando em 10% a quantidade de peças produzidas sem aumentar os custos.
Rangel et al. (2010)	Abastecimento de cana de açúcar	Apresentar um modelo de simulação para avaliar o sistema de fornecimento de cana de açúcar, da colheita até a descarga no moinho.	- Pela análise foi permitido quantificar os tempos de espera da matéria-prima desde a colheita a descarga dentro do moinho; - Foi evidenciada através dos resultados a relação da alteração na quantidade de abastecimento de cana de açúcar, de acordo com o tempo de espera de menos de 24 horas e a dependência desta variável de acordo com a frota de caminhões. - São apresentados uma variação de desconto para os diferentes valores de <i>lead time</i> .
Silva e Rangel (2011)	Curso de telecomunicação	Elaborar modelos de simulação discreta, para ser utilizado como um recurso computacional didático para o ensino de telecomunicação.	Os modelos criados para a disciplina de telefonia digital se mostraram adequados como complementação didática.
Gul e Guneri (2012)	Serviço de emergência em hospital universitário regional da Turquia	Melhorar a taxa de utilização de recursos e diminuir o tempo médio de estadia dos pacientes, no departamento de emergência.	- Foram avaliados cenários e foram percebidas que pequenas mudanças no horário de troca de turno e número de profissionais podem trazer melhorias no tempo de estadia e no rendimento.

Conforme os estudos expostos no quadro 4, notou-se que a simulação tem sido bastante empregada e eficiente ao alcançar os objetivos das pesquisas propostas.

Os trabalhos pesquisados apresentam a aplicação da simulação nas áreas: hospitalar, telecomunicações, logística, *layout* e manufatura. O segmento de manufatura também é expressivo nas pesquisas, por estarem relacionados ao estudo de *layout*, considerando a capacidade produtiva, seus fluxos etc. de acordo com o pensamento de Araújo (2001), não se deve apenas levar em conta a aparência e o conforto, mas também o fluxo no estudo de *layout*.

Assim, estudos que propõem uma nova disposição física ou a melhoria deste vêm sendo aplicado com frequência, visto que podem trazer benefícios conforme destacam Tompkins et al. (1996), que um *layout* eficiente traz melhorias no fluxo de produção, aproveitamento adequado da área, redução na movimentação de equipamentos e pessoal entre outros. Esses benefícios auxiliam na busca por qualidade, competitividade e pelo aumento da produtividade.

3.7 As combinações entre ferramentas para resolver problemas de *layout*.

Conforme percebido em algumas pesquisas realizadas sobre o estudo de *layout*, foi visto que tem se utilizado uma combinação de metodologias. Diante do exposto, alguns trabalhos que combinaram ferramentas estão destacados abaixo.

Alguns autores utilizam o processo hierárquico analítico (AHP) como ferramenta para resolver problemas relacionados a *layout*, podendo ser usado para avaliação de alternativas, por ser uma ferramenta de fácil manuseio que pode ser integrado a outros métodos.

Conforme as pesquisas realizadas com essa metodologia, destaca-se o trabalho de Yang, Su e Hsu (2000), realizado em uma fábrica de semicondutores elétricos, que utiliza para solucionar o problema de *layout*, o SLP em conjunto com o AHP, este para avaliar as opções envolvendo as questões qualitativas e quantitativas.

No estudo efetuado por Yang e Kuo (2003), é utilizada a abordagem hierárquica AHP integrado a técnica DEA (análise envoltória de dados), para problema de design de arranjo físico. Foi proposto o uso do AHP para recolher os dados qualitativos de desempenho, os quais foram flexibilidade de arranjo-físico,

acessibilidade e manutenção e o DEA para resolver a questão de disposição de múltiplos objetivos.

O trabalho de Ertay, Ruan e Tuzkaya (2004) também utilizam as metodologias AHP e DEA. Para recolher os dados qualitativos de performance, como a flexibilidade do volume e variedade, qualidade do produto e do processo produtivo usou-se o AHP. Para solucionar a questão de disposição do *layout* foi utilizado o DEA, que considera tanto os dados qualitativos como quantitativos de desempenho.

Abdi (2005) emprega o AHP para organizar os critérios para a seleção da melhor disposição para cada fase da configuração do arranjo-físico, visto que esse estudo busca investigar os critérios, que podem interferir na escolha da composição do *layout*. A definição dos critérios é baseada na reconfiguração do arranjo, custo, qualidade e confiabilidade.

A pesquisa efetuada por Xu, Hee e Baek (2012) em uma empresa automotiva combina a simulação discreta e o AHP. Foi elaborado um modelo de simulação do projeto inicial do arranjo físico, o qual foi alterado para atender um dado critério; então foram desenvolvidos vários cenários e foram obtidas as medidas de performance por meio de simulação. Posteriormente o AHP foi empregado para identificar o melhor projeto final de *layout* dentre as alternativas já simuladas.

Além dos trabalhos citados acima, também é visto o uso conjunto dos métodos SLP com simulação, podendo ser utilizados para identificar pontos de melhorias, para propor um novo *layout* focando na eficiência, otimização de fluxos, ampliação da produtividade, entre outros.

Conforme esse contexto o trabalho de Oliveira et al. (2013) teve foco para propor um arranjo físico que fosse mais eficiente, em relação ao tempo de entrega. Desse modo foi utilizado o SLP para realizar a análise atual e elaborar sugestões de *layout*. Posteriormente a simulação pelo *software* Arena, possibilitou análises mais apuradas das alternativas sugeridas, levando em conta uma boa variedade de parâmetros simultaneamente.

No trabalho desenvolvido por Bósolli et al. (2009) o propósito era de verificar a eficiência da simulação como meio para validar projetos de *layout*. Assim o SLP foi empregado para propor uma nova disposição e em seguida com a ajuda da simulação, comparou-se o modelo atual e o proposto através de indicadores de desempenho.

Bremenkamp et al. (2013) efetuaram uma pesquisa com a intenção de localizar pontos de melhoria referentes ao arranjo físico, sendo necessário mapear a situação real da firma. Com a utilização do SLP e com o auxílio da simulação pôde-se gerar cenários, os quais consistem em sugestões de melhorias.

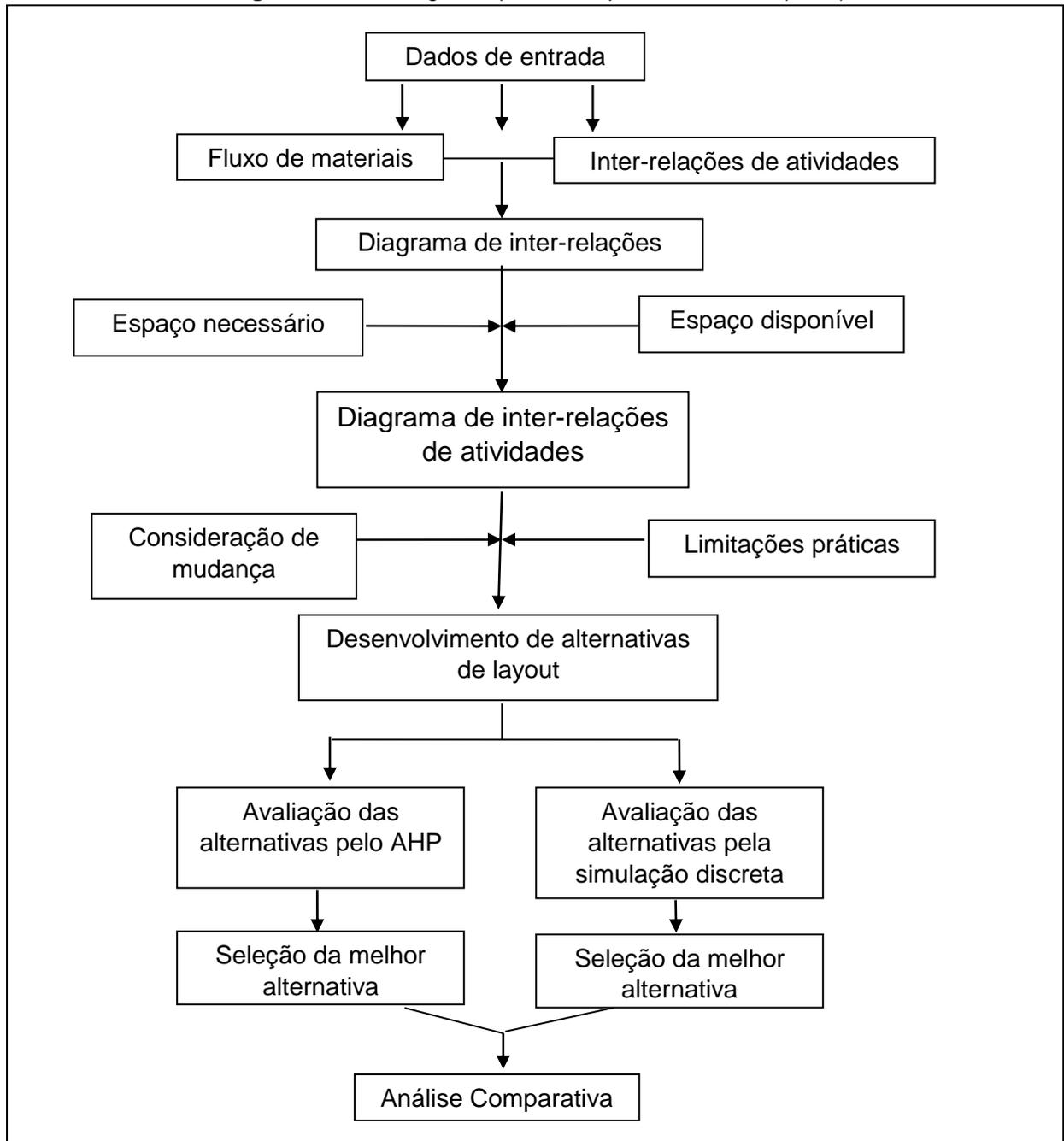
Diante de todo exposto é destacado a importância e a crescente utilização da integração das ferramentas para o estudo de arranjo físico.

CAPITULO 4 – METODOLOGIA

4.1 Estrutura Metodológica

A metodologia geral do presente estudo, evidenciada na figura 9, foi adaptada de Muther (1978), com a inclusão dos métodos AHP e Simulação como avaliação das alternativas.

Figura 6: Metodologia Proposta. *Adaptado de Muther (1978)*



4.2 Pesquisa Bibliográfica

Foi realizada inicialmente uma pesquisa bibliográfica na literatura disponível, para a aquisição de informações com o propósito de obter embasamento conceitual sobre o estudo do arranjo físico e as ferramentas SLP, AHP e Simulação discreta.

Dentre a opção de abordagem de critério único de síntese, que engloba diferentes critérios no procedimento de escolha de opções de *layout*, estão os métodos MAUT e AHP. No entanto, a técnica AHP é a mais indicada, visto que esta permite a comparação entre pares das alternativas, produzindo pesos entre as mesmas conforme cada critério (TORTORELLA, 2006).

4.3 Levantamentos de dados

A empresa abordada no estudo é de pequeno porte do ramo de produtos de limpeza. Tem sua produção voltada para as vendas em atacado e está localizada no município de Campos dos Goytacazes – RJ.

As visitas a empresa em estudo foram realizadas sempre pela manhã e em dia de semana, para conhecer o processo produtivo, seu funcionamento e levantar dados à pesquisa. Assim, destacando o primeiro passo da metodologia sugerida, tem-se o levantamento dos dados de entrada, qualitativos e quantitativos do real cenário. Para tanto foi efetuada a aplicação de questionários (Anexo 1) a responsável técnica e aos funcionários, para buscar saber quais são as críticas e sugestões dos envolvidos na rotina da empresa, assim como coletar informações importantes aos estudos.

Os próximos passos até a fase de desenvolvimento de alternativas de *layout* seguem a metodologia proposta por Muther (1978), cada etapa tem seu detalhamento no capítulo 3.

Para as técnicas de AHP e Simulação foram levantados critérios, os quais foram pesquisados nas literaturas existentes, visto no quadro 1 (item 2.6). A seleção dos indicadores levou em consideração as visitas à empresa em estudo, com o intuito de adequar os critérios presentes em trabalhos já realizados com a necessidade da pesquisa atual.

Os indicadores irão auxiliar os métodos na avaliação de desempenho, das alternativas e conseqüentemente na escolha da melhor disposição física.

CAPÍTULO 5 - ESTUDO DE CASO

Neste capítulo é apresentada a empresa em estudo, sua estrutura e processo produtivo. Para maior entendimento do funcionamento da produção também é visto o fluxograma e mapofluxograma nessa seção.

5.1 A estrutura da empresa

A empresa estudada é de pequeno porte e está localizada em Campos dos Goytacazes/RJ, trabalha com produtos químicos de limpeza como desinfetantes, amaciantes e detergentes. Porém, de acordo com informações da empresa, os produtos mais vendidos são os desinfetantes. Portanto, buscou-se trabalhar apenas com essa família de produtos, que são produzidos em média 9 ordens de produção, no total de 15 ordens por dia de todos os produtos de limpeza que a fábrica produz.

A venda dos desinfetantes acontece em atacado, com caminhões fechados e lotes em média de 225 caixas cada, que vão para o Rio de Janeiro, Cabo Frio, Vitória entre outros.

A firma possui uma máquina de sopro para fazer as próprias embalagens que funciona à pressão e temperatura específica. Também detém uma máquina de rotulagem, que fica do lado da máquina de sopro, com a área de estoque de garrafas, próximo dessas máquinas, o que facilita o deslocamento.

A máquina de tampa de garrafas e a de sopro para detergente foi adquirida recentemente, ainda não estão operando. Porém foram consideradas no estudo em relação a sua localização e área ocupada.

A área de armazenagem dos produtos acabados, que inclui produtos em quarentena, aprovados e reprovados, seguindo a orientação da área de saneantes. Esse setor está localizado próximo às salas de envase e da área de expedição, assim facilitando o carregamento dos caminhões.

Também existe a área de estoque de matéria prima de embalagens que inclui caixas, pré-formas e tampas. As outras duas áreas são a do espaço dos insumos químicos e a do estoque de rótulos e sacos.

Na parte superior, tem um mezanino onde fica a área química da empresa, lá se encontram todos os processos químicos para a mistura do produto de limpeza. Também nessa área, os desinfetantes ficam armazenados em tanques, chamados de tanque pulmão, de lá seguem pela tubulação para a sala de envase.

5.1.1 O processo produtivo

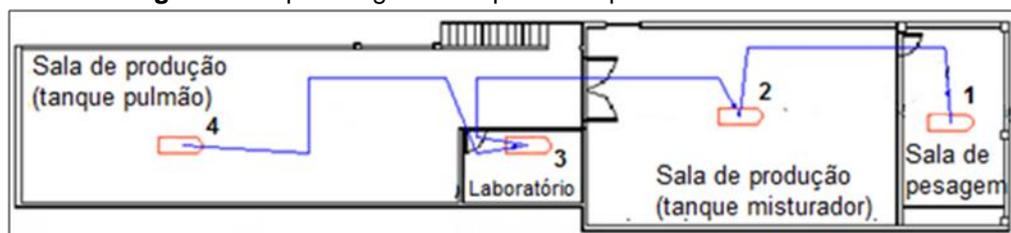
5.1.1.1 Produção de desinfetante

O processo se inicia com a pesagem dos produtos químicos que depois são levados ao misturador. Essas tarefas são realizadas pelo Funcionário A. O produto é misturado por 10 minutos no tanque misturador. Após isso, é retirada uma amostra para ser realizado o primeiro teste de qualidade pela química, que confere se as propriedades químicas estão dentro do padrão; se estiverem, o produto é conduzido pela tubulação aos tanques de armazenagem, chamado de tanque pulmão. Caso haja a reprovação desse teste, a técnica em química faz os ajustes e volta para o misturador e só depois é liberado para o tanque pulmão. Todo esse processo está exposto na figura 6.

O produto pode ficar em estoque nesse tanque por até uma semana sem problemas. A limpeza dos mesmos leva em média 10 minutos e ocorre de 15 em 15 dias. Mas vale ressaltar que normalmente o produto não fica armazenado no tanque pulmão por muito tempo, pois logo é envasado. Quando necessário fica armazenado no máximo por dois dias.

É importante destacar que o tanque pulmão fica sempre cheio com 3.000 litros, pois há retiradas de amostras para retenção e para o teste de qualidade. Assim, na prática, trabalha-se com 2.800 litros que produz em média 225 caixas ou 1 lote.

Figura 7: Mapofluxograma do processo produtivo de desinfetante



5.1.1.2 Produção de garrafas e envase

O início do processo se dá pela produção de garrafas que é feita por dois operadores de fabricação, que estocam as embalagens em sacos específicos e são armazenados no espaço reservado. Do estoque de garrafas seguem para o processo de rotulagem realizado por três operadores de rotulagem. As garrafas rotuladas são armazenadas em sacos e levadas para uma área, formando uma fila,

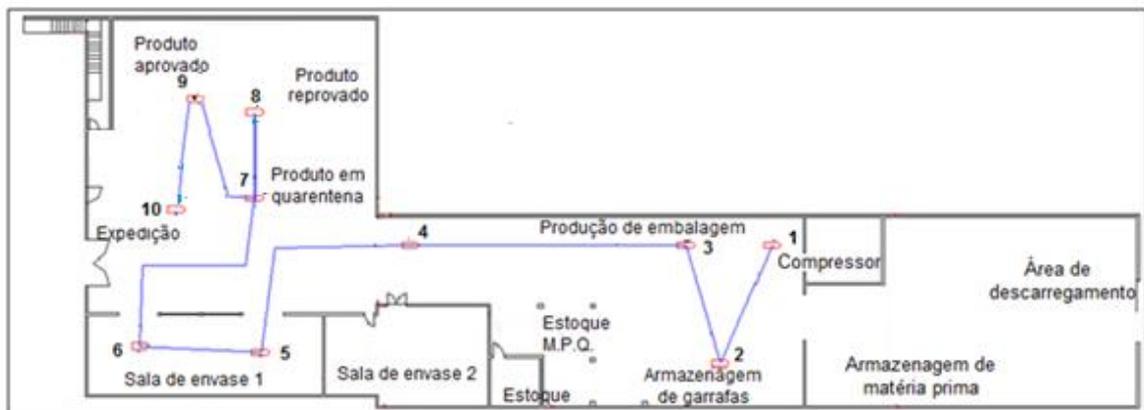
que segue a ordem de produção, próximo à entrada da sala de envase, onde são envasados por uma máquina automática, operada por 4 envasadores e ainda possui 1 marcador de caixa, que marca manualmente o aroma do produto.

É importante destacar que apenas uma máquina de envase é utilizada para a produção de desinfetante. Os produtos são envasados e depois são encaixotados, cada caixa com 6 garrafas, depois passa por uma seladora para enfim serem colocados no pallet, assim que chega 75 caixas este pallet é levado para área de produto em quarentena.

Durante o envase é efetuado o teste de qualidade final, pela química, que mais uma vez confere se o produto está conforme o padrão. Se estiver de acordo com o primeiro teste, o produto sai da quarentena e é deslocado para a área de produto acabado e aguarda para ser expedido.

Caso o teste não esteja de acordo com o padrão de qualidade, este produto sai da área quarentena e é levado para área de descarte. O processo pode ser visto no mapofluxograma representado na figura 7. Para comparação também foi construído os mapofluxogramas das alternativas B e C, que pode ser visto no apêndice 2.

Figura 8: Mapofluxograma do processo produtivo de garrafas de envase

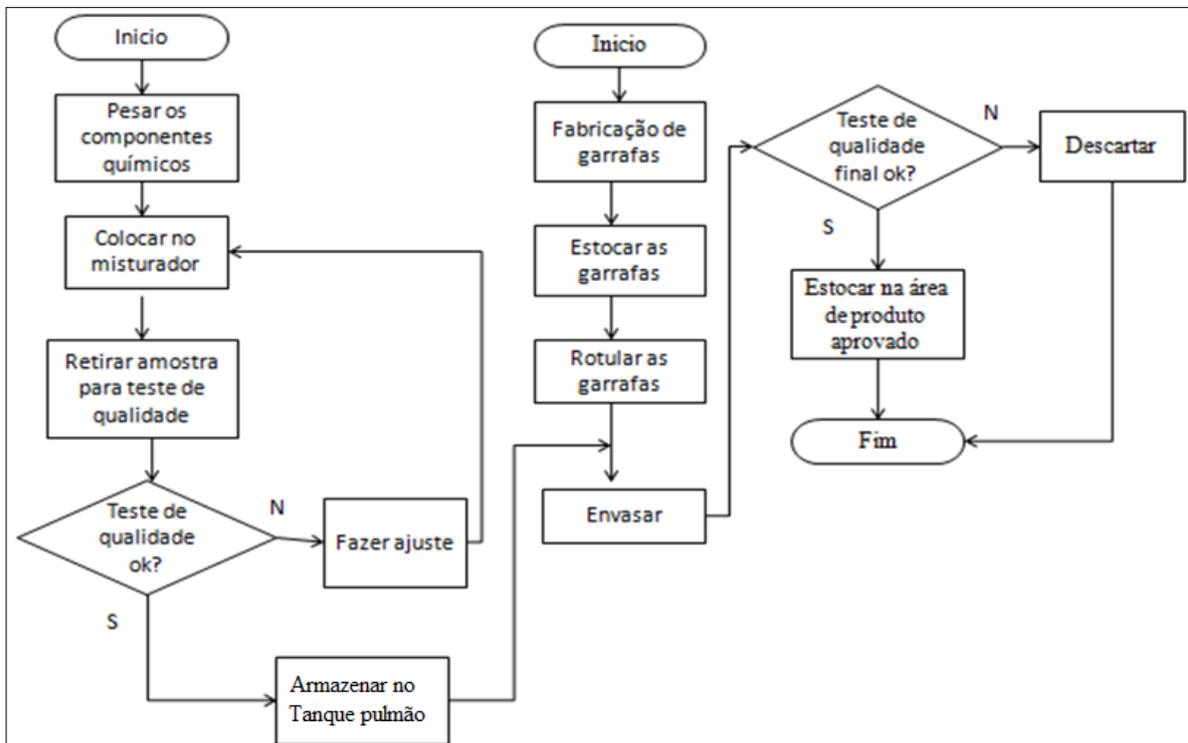


Na tabela 2 estão expostas as quantidades de recursos humanos utilizada em cada processo, demonstrando a atribuição dos funcionários na produção de desinfetantes.

Tabela 2: Quantidade de recursos humanos

Processo	Quantidade de recursos humanos
Pesagem dos componentes químicos	1 funcionário de pesagem
Teste de qualidade	1 química
Produção de garrafas	2 operadores de fabricação
Rotulagem	3 operadores de rotulagem
Envase	4 operadores de envase, 1 marcador de caixa

Foi elaborado o fluxograma abaixo (figura 8), para ilustrar o funcionamento do processo de produção, da empresa em estudo.

Figura 9: Fluxograma do processo produtivo

CAPÍTULO 6 - APLICAÇÃO DO SLP

6.1 Dados de entrada

Nesta primeira etapa foi possível recolher dados sobre a produção entre outras informações, necessárias à compreensão da empresa por meio de questionários, formulários e observações.

Um dado destacado no questionário aplicado a responsável técnica da fábrica, foi a necessidade de se trabalhar com estoque de segurança de matéria prima, que atualmente a empresa não dispõe.

A empresa trabalha com uma produção média de 3.200 caixas por dia, com a programação da produção feita diariamente, sem a existência de uma programação prévia. Os tanques pulmões, os quais são responsáveis pela armazenagem do produto químico para depois efetuar o envase, são abastecidos com 2.800 litros.

A aquisição de materiais para a produção é em geral pedida semanalmente, com a exceção das pré-formas. São produzidas 2.000 embalagens de garrafas por hora pela própria empresa, a partir da pré-forma, com 10h por dia de funcionamento da máquina.

A rotuladora tem capacidade de rotular 9.000 garrafas/hora. Porém a empresa costuma trabalhar com 3.500 garrafas/hora, pois normalmente há um pequeno estoque de garrafas já rotuladas. Caso não tenha embalagens em estoque, a preferência é utilizar a capacidade de 5.000 garrafas/hora.

A produção é feita por lotes, já que grande parte da venda é para caminhão fechado. Um lote contém em média 225 caixas. Em geral um caminhão com a carga fechada tem capacidade para 150 caixas, mas há caminhões que possuem uma capacidade de 1.400 até 1.800 caixas. No geral a média por dia é de dois caminhões com 1.500 caixas cada.

Outra observação importante é que a produção é feita diariamente, independentemente de ter ou não pedidos. Isso ocorre, pois pode ultrapassar a média de 2 caminhões por dia.

A firma conta com 23 funcionários, sendo 11 utilizados para a produção de desinfetante, que inicia suas atividades às 07h 30min e encerra às 17h 30min.

6.1.1 Fluxo de materiais e atividades relacionadas

O maior fluxo de materiais e pessoas se dá entre as áreas de produção de embalagem, rotulagem, estoque de garrafas até o envase. O setor de menor fluxo está onde se localiza as matérias primas.

A proximidade desses setores é importante, visto que há um intenso fluxo de materiais e pessoas entre eles. Para priorizar a proximidade das áreas de maior comunicação, foi elaborado um diagrama de relacionamentos (figura 10).

Sobre os transportes usados para movimentação de material, foi notado que para a movimentação das caixas da pré-forma até a máquina de embalagem, é usada uma empilhadeira manual e para o transporte das matérias primas química, responsável pelas misturas dos produtos de limpeza, são feitos por um pequeno elevador de carga.

Há também uma paleteira manual, usado para carregar matérias que fazem parte do processo de produção.

Figura 10: Diagrama de relacionamento da empresa

Pesagem							
A	Mistura						
E	A	Teste de qualidade					
E	A	I	Armazenagem tanque				
U	U	U	U	Fabricação garrafa			
U	U	U	U	A	Rotulagem		
U	U	U	A	E	E	Envase	
U	U	U	U	U	U	E	Armazenagem final

Quadro 5: Legenda do diagrama de relacionamento

Código	Proximidade é...
A	Absolutamente necessário
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Proximidade normal
U	Não importante
X	Indesejável

6.1.2 Espaço Necessário e espaço disponível

A empresa em estudo possui 1.591,02 m² de área total construída, porém o estudo se concentra em toda parte produtiva da empresa, que contém 1.134,29 m², as quais são: setor de armazenagem (matéria prima, garrafas, produtos acabados e matéria prima química); área de produção (fabricação de garrafas, rotulagem e salas de envase); área de produção química (produção da mistura química do produto de

limpeza e sua armazenagem). Cada um desses setores tem sua área demonstrada na tabela 3.

Atualmente 98% do espaço da empresa estão sendo ocupado, mas no armazém de matéria prima de embalagens há espaços sem uso. Existe uma insatisfação quanto ao espaço e a organização, principalmente nas áreas do estoque acabado e garrafas.

Através do questionário aplicado aos funcionários sobre pontos negativos e sugestões para a firma, quase não houve reclamações ou sugestões, o que se notou foram que muitos trabalhadores ficaram receosos em opinar. Porém alguns poucos fizeram críticas a empresa, sendo todas elas sobre a falta de espaço de modo geral e em especial do estoque acabado e de embalagens de garrafas.

Nas visitas ao local de estudo, foi percebido que há uma necessidade de se organizar o *layout* da empresa, principalmente na questão do estoque. Na verdade, o estabelecimento utiliza uma forma de estoque arcaico, que ocupa grande parte da área horizontal, fazendo com que falte espaço. Porém não há como verticalizar o armazenamento, pois pé direito do espaço não tem altura suficiente.

Com intuito de confrontar o espaço disponível como o requerido, foi coletado os espaços requeridos para cada maquinário. Para tanto foi elaborado a tabela 4 com as dimensões dos equipamentos, a quantidade de aresta viva, área projetada e de operação.

Tabela 3: Área de cada setor da empresa

Setor	Área (m²)
Estoque de matéria prima de embalagem	246,88
Produção e rotulagem de garrafas	191,10
Estoque de garrafas	58,58
Estoque (rótulos, sacos)	10,48
Estoque de matéria prima química	35,24
Sala de pesagem	29,75
Sala de produção da mistura	88,82
Laboratório	9,55
Sala de produção (tanque pulmão)	86,29
Sala de envase 1	79,96
Sala de envase 2	64,97
Expedição e área de estoque de produto acabado	232,63

Tabela 4: Espaço requerido para cada máquina

Equipamento	Dimensão (m)		N° Arestas vivas	Área Projetada (m ²)	Área de Operação 1 (m ²)	Área de Operação 2 (m ²)	Total (m ²)
Sopradora de desinfetante	4,15	3,80	2	15,77	2,0	1,9	19,67
Rotuladora	3,25	3,80	2	12,35	1,62	1,9	15,87
Sopradora de detergente	1,30	2,00	2	2,6	0,65	1	4,25
Máquina de tampa	5,30	1,30	2	6,89	2	0,65	9,54
tanque Misturador	9,00	2,00	1	18	2	0	20
Tanque pulmão	12,00	3,50	1	42	2	0	44

Foi concluído que a empresa comporta os centros de trabalho existentes, porém se houver necessidade de ampliar a empresa, seria necessário mudar o local da empresa.

6.1.3 Mudanças consideradas e limitações práticas

Em relações às limitações práticas se destacam: algumas estruturas e maquinários que não podem ser removidos, a impossibilidade de aumentar a parte superior da empresa, por deter de um limite de área construída com base nas regras para obter uma certificação pelo Corpo de Bombeiros. Portanto o estudo fica limitado à área já construída. Outro ponto de restrição é o pé direito da construção que é muito baixo, não possibilitando utilizar de armazenagem vertical.

A área superior da empresa, onde está localizado o setor de produção de desinfetante, onde são efetuadas as pesagens dos produtos químicos usados na mistura, estão também os misturadores e os tanques pulmões, assim como o laboratório que realiza os testes de qualidade. Esse setor não pode ser mudado de local, principalmente porque os tanques pulmões precisam estar na parte superior, para que os produtos desçam pelas tubulações, por gravidade, para a máquina de envase. Logo a sala de envase também não pode ser alterada de lugar.

Foram consideradas as limitações do projeto e foi proposto desenvolver opções de *layout* que não alterassem tais restrições. Reposicionando o que fosse possível para melhorar a disposição física da empresa, sem a geração de grandes custos.

6.1.4 Desenvolvimento das alternativas de arranjo físico

No desenvolvimento das opções de *layout*, foram consideradas as limitações práticas e os relacionamentos existentes entre as áreas. A primeira alternativa A, representa o arranjo atual e os *layouts* B e C são os propostos.

Nas Figuras 11 e 12 estão apresentados o arranjo físico atual, lembrando que as alternativas trabalhadas não consideram a planta da parte de produção de desinfetante. Nas figuras 13 e 14 estão ilustrados os arranjos propostos. As plantas baixas atuais podem ser observadas melhor no apêndice 1.

Figura 11: Planta baixa da área de produção de desinfetante

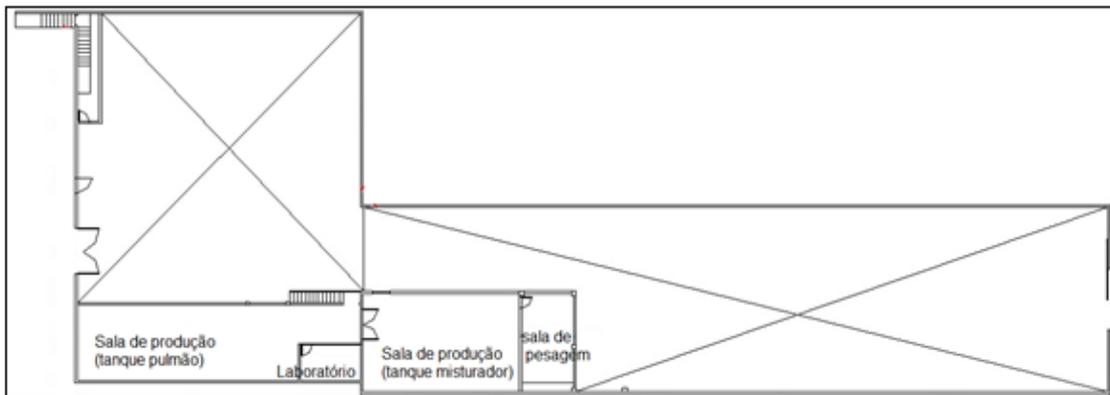


Figura 12: Alternativa A – *layout* atual

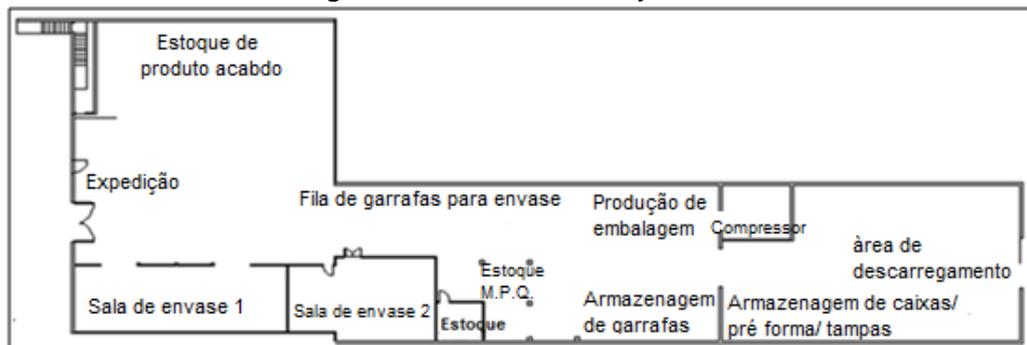


Figura 13: Alternativa B

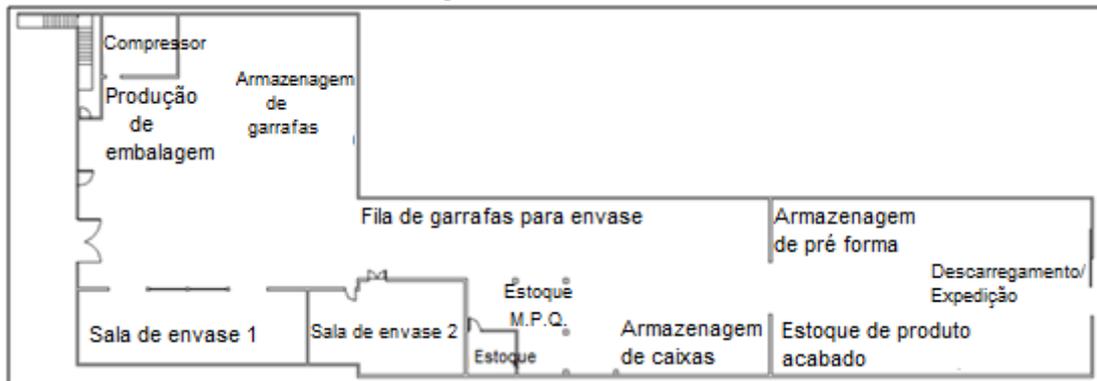
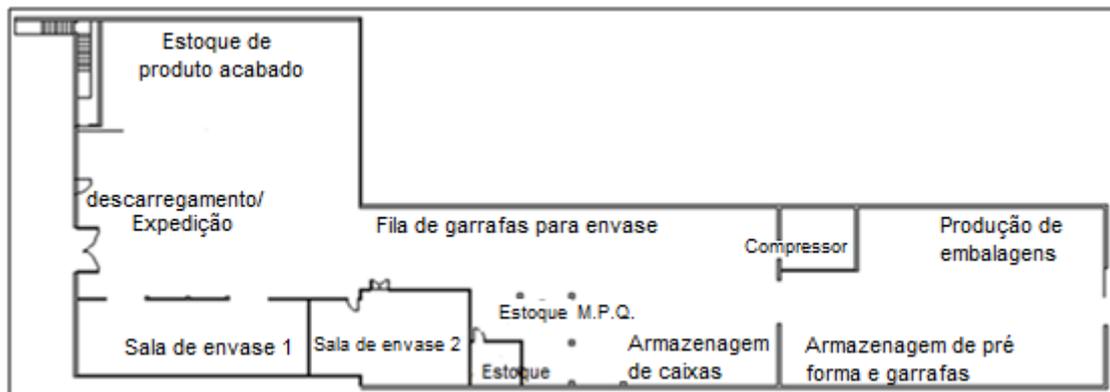


Figura 14: Alternativa C



CAPÍTULO 7- APLICAÇÃO DO AHP

7.1 Estruturação Hierárquica dos Critérios e subcritérios

A partir de um levantamento de trabalhos realizados nos últimos 15 anos, evidenciados no quadro 1, foi possível definir os critérios e os subcritérios para avaliação das alternativas de arranjo físico, expostos no quadro 6.

No método AHP podem ser empregados indicadores qualitativos e quantitativos, porém buscou-se trabalhar apenas com critérios quantitativos, que pudessem comparar os métodos AHP e Simulação.

Quadro 6: Critérios e subcritérios considerados na pesquisa

Critérios	Subcritérios
Tempo	Lead time; Tempo de setup; Tempo de manutenção; Tempo de produção; Tempo de ociosidade da máquina; Tempo de ociosidade dos operadores.
Capacidade	Utilização da área de produção; Utilização do espaço; Utilização das máquinas; Utilização dos recursos humanos.
Produtividade	Capacidade de produção; Distância percorrida; Número de máquinas; Número de funcionários.

As alternativas de *layouts* foram avaliadas pela responsável técnica da empresa, através do questionário, exposto no anexo 1. Para a avaliação foi definida uma categoria não comparativa para medir o grau de importância dos critérios atribuído pela responsável da empresa e o grau de desempenho das opções de arranjos físicos à luz de cada critério.

A escala (quadro 7) utilizada é a de cinco pontos que detém de cinco valores discretos além da alternativa N.A. (Não avaliado) escolhido pelo respondente quando este não souber avaliar o indicador. Essa escala é equivalente as intensidades de importância 1,3,5,7 e 9 (expostas na tabela 1), assim a escala de cinco pontos será convertida posteriormente para a escala de Saaty conforme a tabela 5, usando a amplitude de intervalo de classe $h = 0,45$

Quadro 7: A Relação dos valores discretos com o grau de importância e desempenho

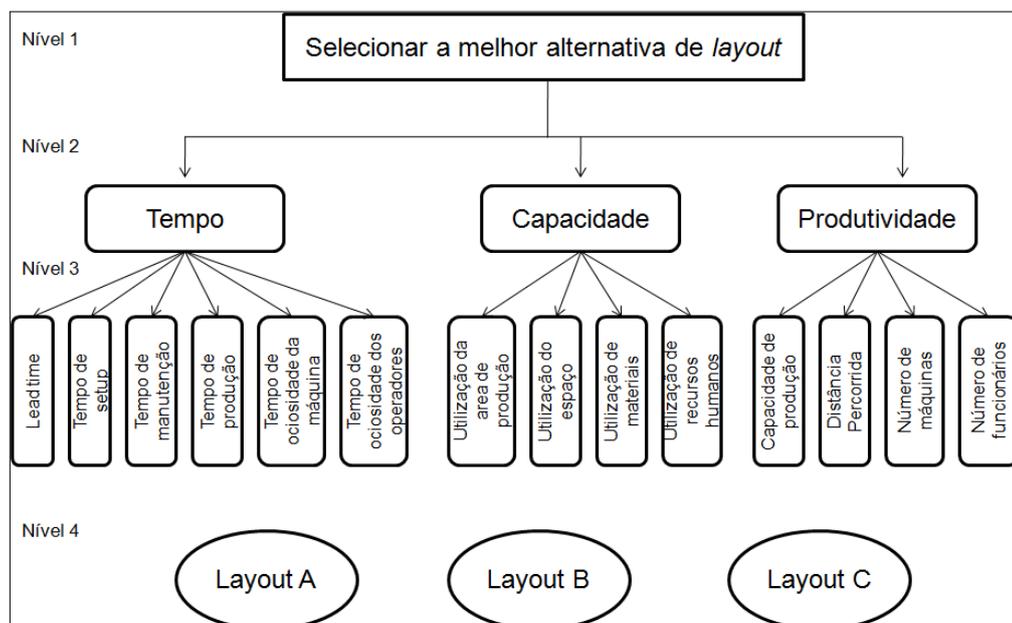
Opção	Grau de Importância	Grau de Desempenho
1	Nada Importante	Muito Ruim
2	Pouco Importante	Ruim
3	Regular	Regular
4	Importante	Bom
5	Muito Importante	Muito Bom
N.A.	Não Avaliado	Não Avaliado

Tabela 5: Tabela de conversão para escala de Saaty

Escala Proposta	Escala de Saaty
0+0,45	1
0,45+ 0,90	2
0,90 +1,35	3
1,35+1,80	4
1,80+ 2,25	5
2,25+ 2,70	6
2,70+ 3,15	7
3,15+3,60	8
3,60+ 4,05	9

A partir dos critérios já selecionados foi então elaborada a hierarquia do problema em questão que contém quatro níveis como mostra na figura 15. O objetivo principal é selecionar a melhor alternativa de *layout* que está localizado no nível mais alto, os critérios utilizados para avaliação do problema estão no segundo nível, no terceiro patamar se encontram os subcritérios e no último nível estão as alternativas de *layout* a serem consideradas nessa pesquisa.

Figura 15: Estrutura hierárquica da análise multicritério



7.1.1 Seleção da melhor opção de *layout*

Para iniciar as análises foi elaborada a primeira matriz que relaciona os níveis 1 e 2 da estrutura hierárquica, que apresenta os Julgamentos paritários de acordo com o foco principal, conforme a opinião da responsável técnica da empresa em estudo. Em seguida foi realizada a partir com essa matriz uma conversão para a escala de Saaty de acordo com a tabela 5, para obter a matriz de comparação convertida e também as prioridades médias locais – PML's expostas na tabela 6.

Tabela 6: Matriz de comparações paritária entre os critérios

Critérios	Tempo	Capacidade	Produtividade	PML's
Tempo	1	1	2	0,40
Capacidade	1	1	2	0,40
Produtividade	$1/2$	$1/2$	1	0,20

Observando o resultado foi percebido que segundo a respondente o critério de menor importância foi à produtividade. Já os critérios de maior importância foram tempo e capacidade.

Também foi efetuada a análise de desempenho de cada alternativa à luz de cada critério/subcritério considerado, assim como as PML's, visto na tabela 7. Nessa etapa o grau de subjetividade é ainda maior, pois estão sendo trabalhadas propostas futuras.

Tabela 6: Prioridades médias locais à luz das alternativas(continua)

Lead Time	Layout A	Layout B	Layout C	PML's
<i>Layout A</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout B</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout C</i>	1	1	1	0,33
Tempo de Setup	Layout A	Layout B	Layout C	PML's
<i>Layout A</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout B</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout C</i>	1	1	1	0,33
Tempo de manutenção	Layout A	Layout B	Layout C	PML's
<i>Layout A</i>	1	1	1	0,33

<i>Layout B</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout C</i>	1	1	1	0,33
Tempo de produção	<i>Layout A</i>	<i>Layout B</i>	<i>Layout C</i>	PML's
<i>Layout A</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout B</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout C</i>	1	1	1	0,33
Tempo de ociosidade da máquina	<i>Layout A</i>	<i>Layout B</i>	<i>Layout C</i>	PML's
<i>Layout A</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout B</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout C</i>	1	1	1	0,33
Tempo de ociosidade dos operadores	<i>Layout A</i>	<i>Layout B</i>	<i>Layout C</i>	PML's
<i>Layout A</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout B</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout C</i>	1	1	1	0,33
Utilização da área de produção	<i>Layout A</i>	<i>Layout B</i>	<i>Layout C</i>	PML's
<i>Layout A</i>	1	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{7}$	0,07
<i>Layout B</i>	5	1	$\frac{1}{3}$	0,28
<i>Layout C</i>	7	3	1	0,64
Utilização do espaço (outras áreas)	<i>Layout A</i>	<i>Layout B</i>	<i>Layout C</i>	PML's
<i>Layout A</i>	1	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{7}$	0,07
<i>Layout B</i>	5	1	$\frac{1}{3}$	0,28
<i>Layout C</i>	7	3	1	0,64
Utilização de materiais e equipamentos	<i>Layout A</i>	<i>Layout B</i>	<i>Layout C</i>	PML's
<i>Layout A</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout B</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout C</i>	1	1	1	0,33
Utilização dos recursos humanos	<i>Layout A</i>	<i>Layout B</i>	<i>Layout C</i>	PML's
<i>Layout A</i>	1	1	1	0,33

<i>Layout B</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout C</i>	1	1	1	0,33
Capacidade de produção	<i>Layout A</i>	<i>Layout B</i>	<i>Layout C</i>	PML's
<i>Layout A</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout B</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout C</i>	1	1	1	0,33
Distância percorrida	<i>Layout A</i>	<i>Layout B</i>	<i>Layout C</i>	PML's
<i>Layout A</i>	1	3	1/3	0,26
<i>Layout B</i>	1/3	1	1/5	0,11
<i>Layout C</i>	3	5	1	0,63
Número de máquinas	<i>Layout A</i>	<i>Layout B</i>	<i>Layout C</i>	PML's
<i>Layout A</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout B</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout C</i>	1	1	1	0,33
Número de funcionários	<i>Layout A</i>	<i>Layout B</i>	<i>Layout C</i>	PML's
<i>Layout A</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout B</i>	1	1	1	0,33
<i>Layout C</i>	1	1	1	0,33

Por meio desta tabela é possível verificar qual das alternativas se destaca à luz de cada critério. Em geral percebe-se que o *layout C* é considerado melhor em 3 subcritérios.

7.1.2 Cálculo das Prioridades globais – PG's

Após calcular as PML's de cada dimensão à luz do foco principal e a PML de cada alternativa de *layout* à luz de cada critério, pode ser obtida a prioridade global (PG) para cada uma das alternativas de arranjo físico através da seguinte equação:

$$PG_{a_i} = (PML_{c_1} * PML_{a_i}) + (PML_{c_2} * PML_{a_i}) + \dots + (PML_{c_n} * PML_{a_i})$$

As prioridades globais podem ser vistas na tabela 8, a qual mostra que a alternativa C é o arranjo físico que expõe o melhor desempenho considerando todos os critérios, em seguida vem à alternativa B muito próxima da alternativa A, que é a disposição atual.

Pode ser percebido que a opção C tem o maior desempenho nos critérios: C7 - utilização de produção, C8 - utilização do espaço de outras áreas e C12 - distância percorrida.

Tabela 7: síntese das prioridades médias locais e prioridades globais

	Tempo						Capacidade				Produtividade				PG's
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	
Layout A	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,07	0,07	0,33	0,33	0,33	0,26	0,33	0,33	0,30
Layout B	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,28	0,28	0,33	0,33	0,33	0,11	0,33	0,33	0,32
Layout C	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,64	0,64	0,33	0,33	0,33	0,63	0,33	0,33	0,38

7.1.3 Verificação da Consistência dos julgamentos

A ferramenta AHP possibilita a definição do grau de inconsistência das matrizes de comparação, aferindo a intensidade com que o autovalor da matriz de julgamento se distância de sua ordem. De acordo com Saaty (2000) o cálculo da inconsistência é fracionado em algumas fases.

- a) Etapa de elaboração da matriz auxiliar A", que resulta dos valores da matriz de julgamento multiplicados pela PML de cada dimensão

$$A'' = \begin{pmatrix} 1 * (0,40) & 1 * (0,40) & 2 * (0,20) \\ 1 * (0,40) & 1 * (0,40) & 2 * (0,20) \\ 1/2 * (0,40) & 1/2 * (0,40) & 1 * (0,20) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,40 & 0,40 & 0,40 \\ 0,40 & 0,40 & 0,40 \\ 0,20 & 0,20 & 0,20 \end{pmatrix}$$

- b) Nessa "fase são somados os elementos de cada linha de A", assim formando o vetor de prioridade P". Os resultados serão divididos pelo valor da PML relacionados a esta linha, gerando os componentes do vetor P_{aux}.

$$P'' = (1,20; 1,20; 0,60) \text{ e } P_{aux} = \left(\frac{1,20}{0,40}; \frac{1,20}{0,40}; \frac{0,60}{0,20} \right) = (3,0; 3,0; 3,0)$$

- c) Cálculo do autovalor máximo através da média dos componentes de P_{aux}.

$$\lambda_{máx.} = 3,0$$

- d) Para chegar ao resultado da Razão de consistência (RC) é necessário, dividir o índice de consistência (IC) pelo (IR) índice de inconsistência para uma matriz recíproca, com componentes não negativos e que foram originadas randomicamente. O valor de IR para uma matriz de julgamentos de ordem 14 é 1,57. Para considerar os valores consistentes o RC deve ser menor ou igual a 0,10.

$$IC = \frac{\lambda_{\text{Máx}} - n}{(n - 1)} = \frac{3,0 - 3}{3 - 1} = 0 \quad RC = \frac{IC}{IR} = \frac{0}{0,58} = 0$$

Os RCs para as demais matrizes de julgamento foram considerados consistentes, pois os valores foram menores que 0,10, conforme pode ser verificado na tabela 9

Tabela 8: Índice de consistência e Razão de Consistência

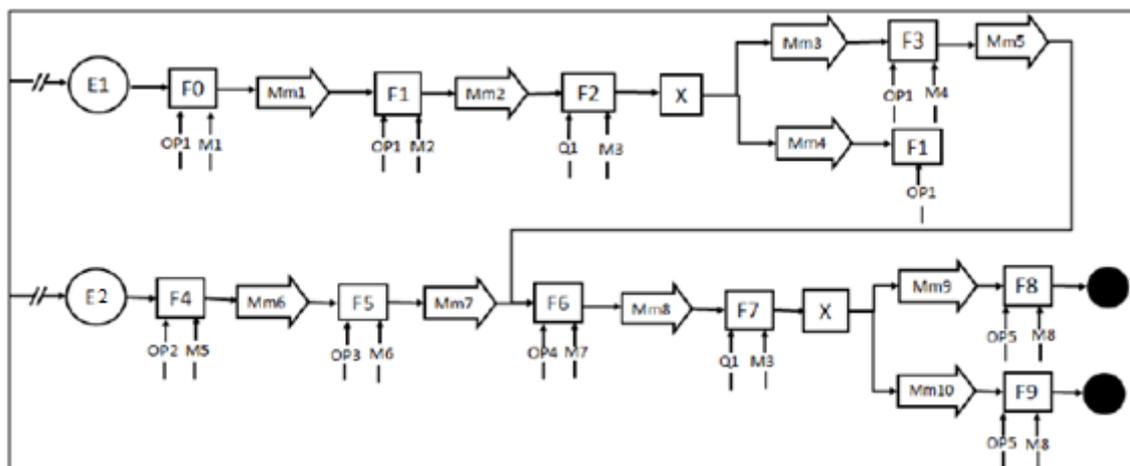
Matriz	IC	RC
Tempo	0,01	0,01
Lead time	0	0
Tempo de setup	0	0
Tempo de manutenção	0	0
Tempo de produção	0	0
Tempo de ociosidade da máquina	0	0
Tempo de ociosidade do operador	0	0
Capacidade	0	0
Utilização da área de produção	0,06	0,10
Utilização do espaço (outras áreas)	0,06	0,10
Utilização de materiais	0	0
Utilização de recursos humanos	0	0
Produtividade	0,02	0,02
Capacidade de produção	0	0
Distância percorrida	0,03	0,05
Número de máquinas	0	0
Número de funcionários	0	0

CAPÍTULO 8 - APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

8.1. Modelo conceitual

O modelo conceitual ilustrado na figura 16 foi elaborado conforme o método IDEF-SIM proposto por Leal (2008). Este modelo tem como parâmetro de entrada os componentes químicos e as embalagens, que entram no processo e originam as caixas de desinfetantes.

Figura 16: Modelo conceitual



Para realizar a simulação são necessárias informações de tempo de cada processo e a quantidade de recursos empregados, assim na tabela 10, são apresentados esses dados, para melhor compreender o modelo conceitual.

Tabela 9: Descrição do modelo conceitual

Cód.	Descrição	Parâmetros
E1	Componentes de mistura	Qnt. 9 (lotes)
E2	Pré-formas	Qnt. 9 (lotes)
F0	Pesar os componentes	Uniform(10,15) min. Qnt de OP1:1 Qnt de M1:1
F1	Misturar componentes	Norm (20,2) Qnt de OP1:1 Qnt de M2:2
F2	Teste de qualidade	Norm (15,2) min. Qnt de Q1:1 Qnt de M3:3
F3	Armazenagem no tanque pulmão	Uniform (30,40) min. Qnt de OP1:1 Qnt de M4:6

F4	Fabricar garrafas	Norm (42,2) Qnt de OP2:2 Qnt de M5:1
F5	Rotular Garrafas	Norm(23,2) Qnt de OP3:3 Qnt de M6:1
F6	Envasar	Uniform(30,40) min. Qnt de OP4:5 Qnt de M7:1
F7	Teste de qualidade final	Norm (15,2) min. Qnt de Q1:1 Qnt de M3:3
F8	Armazenar produto aprovado	Qnt de OP4:1 Qnt de M8:1
F9	Descarte	Qnt de OP4:1 Qnt de M8:1
OP1	Recurso: Funcionário A	Qnt. 1
OP2	Recurso: Funcionário G	Qnt. 2
OP3	Recurso: Funcionário R	Qnt. 3
OP4	Recurso: Funcionário E	Qnt. 5
OP5	Recurso: Operador de empilhadeira	Qnt. 1
Q1	Recurso: Funcionária Química	Qnt. 1
M1	Recurso: Balança	Qnt. 1
M2	Recurso: Tanque misturador	Qnt. 2
M3	Recurso: equipamento de densidade, PH e Teor ativo	Qnt. 3
M4	Recurso: Tanque pulmão	Qnt. 6
M5	Recurso: Máquina de sopro	Qnt. 1
M6	Recurso: Máquina de rotulagem	Qnt. 1
M7	Recurso: Máquina de envase	Qnt. 1
M8	Recurso: Empilhadeira	Qnt. 1
Mm1	Movimentar: Levar pesagem para misturador	Uniform (1.5, 3) min.
Mm2	Movimentar: Levar do tanque misturador Para teste de qualidade	Uniform (1.5, 3) min.
Mm3	Movimentar: Levar mistura para tanque pulmão	TRIA (25,27.5, 30) min.
Mm4	Movimentar: Levar mistura para mistura componentes	5 min.
Mm5	Movimentar: Levar do tanque pulmão para envase	TRIA (5,6.5,8) min.
Mm6	Movimentar: Levar garrafas para	TRIA (5.24, 9,35,20) seg.

	rotulagem	
Mm7	Movimentar: Levar da rotulagem para envase	Uniform (10,20) seg.
Mm8	Movimentar: Levar do envase para teste de qualidade final	3 min.
Mm9	Movimentar: Levar do envase para área de produto aprovado	1.8 min.
Mm10	Movimentar: Levar do envase para área de produto descartado	2.15 min.

8.1.1 Validação do modelo

A construção do modelo computacional foi efetuada no *software* Arena®, versão 14 *student*, porém antes é necessário verificar o modelo e validá-lo. Então foi analisado o passo - a - passo de acordo com o tempo, na intenção de verificar a coerência entre os modelos atual, conceitual e o de simulação.

Para melhor entendimento foi separado o modelo em duas partes. A primeira etapa apresenta o processo de produção do preparo da mistura de desinfetante.

Inicialmente os componentes são pesados, nessa parte não foi possível fazer o acompanhamento. Depois a mistura é batida no tanque misturador, que corresponde a 1 lote ou 225 caixas em média.

Conforme dados da produção são produzidos em média 9 lotes de desinfetantes por dia, então para validar essa etapa inicial foi necessário verificar se foram produzidas 9 lotes desse produto por dia.

A segunda etapa está relacionada à produção de garrafas e processo de envase. As garrafas são produzidas de acordo com a quantidade de produto a ser envasado, assim para validar foi necessário apurar se foram produzidas por dia 225 caixas para cada ordem, ou seja, um total de 2.025 caixas com 6 garrafas cada caixa, sendo então 12.150 garrafas no total.

O processo foi validado em conformidade com o modelo real, portanto dando início a etapa de experimentos.

8.1.2 Experimentos simulados

Foi utilizado o *Software* Arena® versão 14 *Student* para a simulação do modelo, o padrão de execução foi definido em 10 replicações.

Para a linha de produção de desinfetante, a empresa conta com 11 funcionários distribuídos pelos processos de produção, desempenhando atividades específicas. Podem ser visualizados os funcionários e a variável de resposta pelo sistema na figura 17.

Figura 17: Funcionários e a variável de resposta



As atividades atuais de cada funcionário no processo produtivo estão descritas na tabela 11.

Tabela 10: Descrição das funções dos funcionários

Funcionário	Descrição das atividades
Funcionário A	Função 0,1e 3
Química	Função 2, 7
Operadores de fabricação	Função4
Operadores de rotulagem	Função5
Operadores de envase	Função6
Operador de empilhadeira	Função 8 e 9

Nesse estudo foi realizado inicialmente a verificação e análise da produção atual de 9 ordens de produção de desinfetante, ou seja, 2.025 caixas.

8.1.3 Experimentos com *Layout* atual da empresa

Para realização desses experimentos, foi considerada a importância de a empresa ter um estoque de segurança de produto aprovado, visto que há necessidade segundo a responsável técnica. Assim foram simulados os cenários.

8.1.3.1 Experimento 1

Foi simulado o *layout* real da fábrica, que funciona 10h por dia e conta com 11 funcionários para linha de desinfetante.

Atualmente são produzidas 9 ordens de produção, mas pode ser produzido até 12 lotes de acordo com o resultado da simulação.

É importante ressaltar que tudo que é produzido é vendido, não havendo estoque de segurança de produto aprovado.

8.1.3.2 Experimento 2

Nesse experimento foram considerados dois turnos de 8h de operação, que resultou em até 20 ordens de produção de desinfetante.

Contando em ter um estoque de segurança, que segundo a responsável técnica é uma necessidade, se fossem gerados todos os dias 20 ordens, haveria um estoque de segurança muito alto, que a fábrica não comportaria, visto que a produção não ultrapassa 5.000 caixas de todos os produtos de limpeza que são 22 lotes.

8.1.3.3 Experimento 3

Foi suposto que a fábrica trabalhasse com dois turnos de 6h, o resultado dessa simulação é de até 15 ordens de produção de desinfetante.

Com esse aumento de fabricação do produto de limpeza, pode ser pensado em manter um estoque de segurança, pois a empresa comporta essa quantidade de lotes, caso seja gerado 15 lotes por dia.

8.1.4 Experimento com o *Layout* Proposto B

8.1.4.1 Experimento 1

Essa alternativa buscou trabalhar com 10h de produção, que hoje é a carga horária utilizada, porém com uma disposição física diferente.

O resultado da simulação mostrou que o *layout* B possui a mesma capacidade de produção, de até 12 lotes.

O tempo de deslocamentos, tempo de espera nas filas e quantidade em espera é maior nessa opção. A respeito dos recursos, os arranjos A e B têm taxas de utilização de recursos parecidas.

8.1.4.2 Experimento 2

Nessa simulação foram empregados dois turnos de 8h de trabalho, que resulta em até 20 lotes. Comparado ao arranjo A (atual) no experimento 2 (item

8.1.3.2), esse experimento tem um desempenho menor que o atual, pois o tempo de deslocamento e o tempo de espera nas filas são maiores nesse caso. As taxas de recursos são parecidas para as duas alternativas (A e B).

8.1.4.3 Experimento 3

Esse experimento levou em conta dois turnos de 6h, que teve como resultado uma produção de até 15 lotes.

A simulação demonstrou que essa alternativa tem a mesma capacidade de produção que o arranjo atual de 12h de produção (item 8.1.3.3). De modo geral o *layout A* teve melhor desempenho, com menores filas de espera e de tempo de deslocamento.

Em relação aos recursos, as taxas de utilização são próximas, não havendo grandes diferenças entre as alternativas A e B.

8.1.5 Experimento com o *Layout* Proposto C

8.1.5.1 Experimento 1

Essa alternativa foi simulada em 10 horas de produção e os resultados são parecidos ao do arranjo A (item 8.1.3.1), com capacidade produtiva de até 12 lotes.

As diferenças são vistas no tempo e na quantidade de espera, que são as filas durante a produção, que no *layout C* é um pouco maior do que na opção A e B

Em relação ao tempo de deslocamento é parecido com o arranjo A, assim sendo melhor do que no *layout B*. As taxas dos recursos são próximas nas três alternativas.

8.1.5.2 Experimento 2

Nesse cenário foi proposto trabalhar com 16h de produção, ou seja, dois turnos de 8h, o qual tem capacidade produtiva de até 20 lotes.

O *layout C* tem melhor tempo de deslocamento, porém no tempo e quantidade de espera nas filas, não tem um bom desempenho quanto nas outras duas alternativas. As taxas de recursos utilizados são parecidas nos três arranjos.

8.1.5.3 Experimento 3

Foi sugerido nessa simulação considerar 12 h de produção, dividido em dois turnos de 6h. A capacidade de produção é de até 15 ordens de fabricação.

O resultado demonstra que o *layout* C se comporta melhor em tempo de deslocamento em relação à opção B, e bem parecido com a opção A, Porém no tempo e quantidade de filas na produção a alternativa B e A tem melhor desempenho que o *layout* C.

As taxas de utilização de recursos são parecidas nos *layouts* A, B e C, são pequenas as diferenças entre as alternativas.

CAPÍTULO 9 - ANÁLISE DE RESULTADOS

9.1 Análise dos Resultados das ferramentas

As análises dos experimentos demonstraram resultados muito parecidos, isso se deve a empresa ser de pequeno porte e ter várias restrições, que limitam o desenvolvimento das opções de arranjo físico, não havendo possibilidade de grandes alterações.

A capacidade produtiva é igual nos três cenários, conforme exposto na tabela 12. As diferenças existentes não são enormes, em relação ao tempo de deslocamento, taxa de utilização de recursos e filas em processo.

Ao avaliar todos os experimentos, conclui-se que pelo método da simulação não é possível escolher o melhor arranjo físico.

Tabela 11: Capacidade produtiva dos cenários

Experimento	Cenário	Layout atual	Layout B	Layout C
1	10h	12 lotes de desinfetante	12 lotes de desinfetante	12 lotes de desinfetante
2	16h	20 lotes de desinfetante	20 lotes de desinfetante	20 lotes de desinfetante
3	12h	15 lotes de desinfetante	15 lotes de desinfetante	15 lotes de desinfetante

Nas simulações que foram considerados tempos de produção diferentes do atual, houve aumento na produção de desinfetantes conforme a tabela 12, o que dá possibilidades da empresa considerar estoque de segurança e atender aos pedidos maiores.

Assim foram analisados o comportamento em relação aos turnos, que foram os experimentos 2 e 3.

O experimento 2 com 16h de operação, não parece ser interessante. Pois a empresa não tem espaço para comportar tantos lotes, visto que a capacidade produtiva é muito alta, de 20 lotes de desinfetante, sendo que a capacidade máxima é de até 22 ordens de produção de todos os produtos de limpeza. Mesmo que a empresa trabalhasse sempre abaixo da capacidade e ainda considerasse o estoque de segurança, haveria ociosidade que gera custo para fábrica.

Mas o experimento 3, que utiliza 12h de produção dá oportunidade da empresa trabalhar com estoque de segurança, sem ultrapassar a capacidade de 5.000 caixas, ou seja, 22 lotes, que é o limite que a fábrica comporta.

Sendo assim, se mostra interessante o cenário 3, porém não é possível informar com precisão o turno ideal a ser utilizado, pois é necessário efetuar um estudo de gestão de estoque.

No método AHP foi possível reconhecer a melhor disposição física, que foi a alternativa C. Pois foi percebido que no critério de utilização da área de produção, utilização de outras áreas (estoques) e a distância percorrida tiveram desempenhos melhores, conforme a avaliação da responsável técnica da empresa.

Dessa maneira na comparação, a opção C se comportou melhor de modo geral do que os outros *layouts*. Vale ressaltar que o AHP não possibilita analisar o sistema produtivo em relação aos turnos de trabalho e a capacidade de produção dos mesmos.

Foi elaborado um comparativo de como é a empresa e como ficaria se adotasse o *layout C* (quadro 8).

Quadro 8: Comparativo

<i>LAYOUT ATUAL</i>	<i>LAYOUT C</i>
ARMAZENAGEM DE MATÉRIA PRIMA / ÁREA DE DESCARREGAMENTO	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Armazenagem de caixas, pré-formas e tampas; ▪ Área de descarregamento; ▪ Espaço com maquinário que ainda não estão operando. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produção de embalagens, incluindo todas as máquinas; ▪ Espaço para estoque de garrafas e pré-formas.
ESPAÇO DE ARMAZENAGEM DE 'GARRAFAS'	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Armazenagem de garrafas em sacos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Armazenagem de caixas.
ÁREA DE PRODUÇÃO DE EMBALAGENS	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produção de garrafas; ▪ Fila de garrafas rotuladas para envase, que em geral invade o corredor de passagem por falta de espaço. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fila de garrafas rotuladas para envase, com espaço maior para não invadir a área de passagem.
ESTOQUE DE M.P.Q. (MATÉRIA PRIMA QUÍMICA)	

<ul style="list-style-type: none"> Estoque de matéria prima química, armazenados em pallets. 	<ul style="list-style-type: none"> Estoque de matéria prima química, armazenados em pallets.
ESTOQUE	
<ul style="list-style-type: none"> Estoque de rótulos e sacos, com algumas prateleiras. 	<ul style="list-style-type: none"> Estoque de rótulos, sacos e tampas com mais prateleiras, aproveitando melhor o espaço.
SALA DE ENVASE	
<ul style="list-style-type: none"> Sala de envase de desinfetante. 	<ul style="list-style-type: none"> Sala de envase de desinfetante.
ESTOQUE DE PRODUTO APROVADO	
<ul style="list-style-type: none"> Estoque de produto aprovado, não aprovado e em quarentena; Área de expedição. 	<ul style="list-style-type: none"> Estoque de produto aprovado, não aprovado e em quarentena; Área de expedição e descarregamento.

9.2 Comparações entre os métodos AHP e Simulação

Os critérios selecionados para trabalhar com essas ferramentas foram quantitativos, baseados no quadro 1, para facilitar a comparação, pois a simulação só utiliza critérios quantitativos.

Como o método AHP permite trabalhar também com indicadores qualitativos, isto pode auxiliar a fábrica em outros aspectos, tanto na visão dos responsáveis como dos funcionários. No entanto se fossem usados poderiam trazer uma visão que não seria possível perceber pelo uso da simulação.

Cada metodologia utilizada tem suas especificidades e limitações, assim foi percebido que o uso desses mecanismos facilita determinadas análises, possibilitam identificar comportamentos diferentes e ainda, nem sempre é possível trabalhar com os mesmos critérios para as duas ferramentas.

Com o AHP foi possível identificar o melhor arranjo físico, que foi a alternativa C, baseado na utilização espacial da empresa, porém não permite evidenciar o processo e tempo de produção.

A simulação possibilita avaliar vários cenários, a simular turnos, aumento da capacidade, tempo de produção, tempos de deslocamentos entre outros de forma mais precisa. Porém não é possível identificar a melhor opção de arranjo por esse método, apenas auxiliar na análise de cenário.

A maioria dos critérios empregados na ferramenta de análise de multicritério, não sofre alteração de uma alternativa de *layout* para outra. Isso acontece porque

não há possibilidade por esse método de perceber qual o comportamento da produção, em relação aos tempos, produtividade e utilização de recursos.

No método AHP as dimensões que se diferem entre as opções de arranjo físico são a utilização do espaço, que envolvem os indicadores C7 e C8, e a distância percorrida, C12. Foi justamente nesses itens que o *layout* C se destacou, foram os pontos identificados pela respondente com melhor desempenho, além de serem considerado importante (C12) e muito importante (C7 e C8).

Os dois métodos são usados para o estudo de *layout*, porém um acaba sendo mais eficiente do que o outro em alguns aspectos. No geral o AHP auxilia na escolha do *layout* adequado para a fábrica, com base na utilização da área e nas movimentações, e a Simulação reconhece a disposição física apropriada, baseado no melhor tempo e capacidade de produção. Embora nesse caso, a simulação não tenha sido eficaz na avaliação do cenário adequado.

CAPÍTULO 10 - CONCLUSÕES

O trabalho realizado na empresa em estudo permitiu analisar o processo da linha de produção de desinfetantes e o arranjo da empresa.

As duas técnicas têm o benefício de avaliar as opções de disposição física antes da sua implantação. A simulação computacional ainda traz a vantagem de simular ambientes, sem ser necessário contratar profissionais ou adquirir novos equipamentos.

Com a planta baixa e os dados coletados, permitiu-se confrontar os dados relacionados com os espaços necessários, para cada posto de trabalho, com os espaços disponíveis na fábrica. Assim foi visto que a empresa possui espaço para acomodar os centros de trabalhos que existem.

Os indicadores para aplicar nas ferramentas foram levantados, a partir de trabalhos já realizados, que usaram as mesmas técnicas abordadas na presente pesquisa.

Outro objetivo atingido foi uso da ferramenta SLP que possibilitou analisar as relações entre os setores pelo diagrama de relacionamento, identificar os espaços, as limitações e construir as alternativas de *layout*. Integrado ao método AHP permitiu selecionar a melhor opção de arranjo físico dentro do *layout* existente. Sendo eficaz para um estudo em uma pequena empresa

O Uso do SLP combinado com o método Simulação discreta, não foi ideal para selecionar o melhor *layout* dentro do arranjo existente para a fábrica em questão.

As comparações foram efetuadas, assim mais um objetivo da pesquisa foi concluído. Nesse ponto foi visto que a simulação para estudo em empresas pequenas, com processos simples, não traz resultados significativos, diferentemente se fosse usado em grandes empresas ou com maiores processos. Também foi possível perceber como se comportam as ferramentas.

Mas a simulação permitiu analisar vários cenários e mostrar como a produção se comporta, diante das alternativas e dos diferentes turnos utilizados.

As limitações foram o uso do *software* Arena® versão 14 *student*, por possuir um limite máximo de processos e entidades. E também as restrições da própria empresa, principalmente por não poder fazer uso da armazenagem vertical,

impossibilitando trabalhar com uma produção maior que 22 lotes de produtos de limpeza.

Caso a empresa tenha necessidade de aumentar sua produção, terá que alugar ou comprar outro espaço, de preferência com pé direito alto para aproveitar o espaço físico.

Foi repassado os resultados da pesquisa para a empresa, que está analisando o trabalho e as medidas possíveis para uma modificação.

Para trabalhos futuros, propõe-se realizar um estudo das outras linhas de produção da empresa, também de gestão de estoque e viabilidade financeira, para aprimorar o estudo e trazer respostas apuradas, sobre os experimentos simulados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDI, M. R. *Selection of a Layout Configuration for Reconfigurable Manufacturing Systems Using the AHP*. **ISAHP 2005**, Honolulu, Hawaii, 2005.
- ABREU, J. A.; SANTOS, S. C. DOS; FREITAS, A. L. P. Avaliação da qualidade do transporte público urbano pelos usuários: Um estudo exploratório em Campos dos Goytacazes. In: **XI CNEG**, Rio de Janeiro, RJ, 2015.
- ABREU, J. A.; BARBIRATO, J. M. R. C; BOA MORTE, H. L. Simulação computacional aplicado em diversas áreas: Um estudo teórico. In: **XXXVI ENEGEP**, João Pessoa, PB, 2016.
- ANTON, J. M.; GRAU, J. B.; ANDINA, D. *Electre and Ahp MCDM methods versus CP method and the official choice applied to high-speed railway layout alternative election*. **WSEAS Transactionson Business and Economics**, 2004.
- AGUILAR, S. M. S.; GUIMARÃES, I. F. G.; SCHUCHTER, D. DE C.; MENDES, L. G. Avaliação dos benefícios da aplicação da simulação, através do software arena 10.0, em uma empresa de transporte ferroviário. In: **XXIX ENEGEP**, Salvador, BA, 2009.
- AGUILAR-SAVÉN; S, R. *Business process modeling: Review and framework*. **International Journal of Production Economics**, v.90, p.129–149, 2004.
- ALTINKILINC, M. *Simulation-based layout planning of a production plant*. **Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference**, p. 1079-1084. 2004.
- ALVES, J. R. X.; ALVES, J. M. Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do Método de Análise Hierárquico (AHP). **Produção**, <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132014005000023>. 2013.
- ARAÚJO, L. C. G. **Organizações sistemas e métodos**. São Paulo: Atlas, 2001.
- ASSIS, A. N. DE; REZENDE, R. C.; MEIRELES, G. S. DE C.; PACO, T. DA R. Análise da capacidade de produção em um setor de bordados por meio da simulação computacional. In: **XXXII ENEGEP**, Bento Gonçalves, RS, 2012.
- AZADIVAR, F. *Simulation optimization methodologies*. In: **Winter Simulation Conference**, 31., 1999, Phoenix. Proceedings. Phoenix, 1999. v. 1, p. 93-100.
- AZEVEDO, K. D. G. C.; BRAGA, V. de S. **Proposta de reformulação de layout da empresa Abrasdi - Abrasivos Diamantados na cidade de Campos dos Goytacazes-RJ**. 65f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes-RJ. 2013.
- BANKS, J. **Handbook of simulation: Principles, methodology, advances, application, and practice**. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- BANKS, J.; CARSEN, J. S., **Discret Event System Simulation**, Prendice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1984.

BORBA, M.; LUNA, M.M.M; SILVA, F.A.B. Proposta de arranjo físico para microempresa baseado no Planejamento Sistemático de *Layout* (SLP). **Revista Eletrônica Produção & Engenharia**, v.6, n.1, p.519-531, 2014.

BORGES, F. Q. *Layout*. **Revista Latu & Sensu**. v. 2, n. 4, p. 29-35. 2001.

BORNIA, A. C.; WERNKE, R. A contabilidade gerencial e os métodos multicritérios. **Revista Contabilidade & Finanças**. FIPECAPÍ – FEA – USP. v.14, n. 25, p. 60- 71, jan./abr. 2001.

BÓSOLI, G. S.; FALLEIROS, J. P. B.; FORNARI, V. Y.; SILVA, J. E. A. R. DA; VIEIRA, J. G. V. Simulação Computacional Como Ferramenta Para A Reorganização Do Arranjo Físico De Uma Empresa De Produtos Químicos. In: **XXIX ENEGEP**, Salvador, BA, 2009.

BREMENKAMP, L. H. ZANOTTI, J. S.; MARCHESI, J. F.; FILHO, D. Z.; PEREIRA, I. C.; BARCELOS, F. B.; Melhorias De Processo Por Meio De Metodologia Slp e Simulação: Estudo De Caso No Setor Moveleiro. In: **XLV SBPO**. Natal, RN, 2013.

CANEN, A. G.; WILLIAMSON, G. H. Facility *Layout* Overview: towards competitive advantage. **Facilities**, v. 16, n, 7/8, p. 198-203.1998.

CARLO, F. D.; ARLEO, M. A.; BORGIA, O.; TUCCI, M. *Layout design for a low capacity manufacturing line: A case study*. **International Journal of engineering business management**, v. 5, pp. 1-10, 2013.

CASALINHO, G. D'A. O.; SCHRAMM, F. K.; SILVA A. P. N. Uso de simulação de eventos discretos para análise da implementação de conceitos de produção enxuta. **Revista Sociais e humanas, Santa Maria**, v. 24, n. 01, jan./jun. 2011, p. 87-100.

CASSEL, G. L.; VACCARO, G. L. R. A aplicação de simulação-otimização para definição do mix ótimo de produção de uma indústria metal-mecânico. **XXVII ENEGEP**, Foz do Iguaçu, PR, 2007.

CHASE, R. B.; JACOBS, F. R.; AQUILANO, N. J. **Administração da produção para vantagem competitiva**. São Paulo: Bookman, 2006.

CHWIF, L.; MEDINA, A.C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações**. 2ª Edição. São Paulo, Editora dos Autores, 2007.

CORRÊA, H. L., GIANESI, I. G. N., CAON, M., **Planejamento, Programação e Controle da Produção MRP II/ERP: Conceitos, Uso e Implantação**, Editora Atlas, 4ª Edição, 2001.

CORRÊA, L.H.; CORRÊA, C. A. **Administração da produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. São Paulo: Atlas, 2004.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA. A. **Administração de produção e operações**. São Paulo: Atlas A.S., 2006.

COSTA, A.J. de. **Otimização do layout de produção de um processo de pintura de ônibus**. 123f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul –UFRGS, Porto Alegre - RS, 2004.

COSTA, H. G. **Introdução ao método de análise hierárquica**: análise multicritério no auxílio à decisão. Niterói, Biblioteca da Escola de Engenharia e Instituto de Computação da UFF, 2002.

CURY, A. **Organização e métodos**: uma visão holística. 7. ed. São Paulo: Atlas. 2000.

ERTAY, T.; RUAN, D.; TUZKAYA, U. R. *Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems*. **Information Sciences an international Journal**. p. 237-262, 2006.

FLESSAS, M.; RIZZARDI, V.; TORTORELLA, L. G.; FETTERMANN, D.; MARODIN, G. A. *Layout performance indicators and systematic planning: A case study in a southern Brazilian restaurant*. **British Food Journal** v. 117 n 8 p. 2098 – 2111. 2015.

FOULD, L. Techniques for Facilities Layout: Deciding which pairs of activities should be adjacent. **Management Science**, v. 29, n 12, p. 1415-1426. 1993.

FRANCISCHINI, P. G.; CABEL, G. M. Proposição de um indicador geral de desempenho utilizando AHP. In **XXIII ENEGEP**, Ouro Preto, MG, 2003.

FREITAS, A. L. P. Uma abordagem multicritério para a classificação de hotéis. RAUSP. **Revista de Administração da USP**, v. 42, n. 3, jul.-Set., p. 338-348. 2007.

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

GILBERT, J. (2004), Construction office design with systematic layout planning, 15th **Annual Conference on POM**, Cancun, May 15-18

GUL, M.; GUNERI, A. F. *A computer simulation model to reduce patient length of stay and to improve resource utilization rate in an emergency department service system*. **International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice**, vol. 19, n. 5, pp. 221-231, 2012.

HARKER, P. T.; VARGAS, L. G. *The theory of ratio scale estimation: Saaty's analytic hierarchy process*. **Management Science**.1987.

HARMON, R. L.; PETERSON, L. D. **Reinventando a fábrica**: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

HARREL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation Using ProModel**.4ªed. McGraw-Hill.2000.

HARREL, C. R.; MOTT, J. A. R.; BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. G.; GOGG, T. J. **Simulação: otimizando os sistemas**.5ªed. ProModel Corporation. 1997.

HERAGU, S.S. **Facilities Design**. Lincoln: Universe, 2006.

HERNANDEZ-MATIAS, J.C.; VIZAN, A.; PEREZ-GARCIA, J.; RIOS, J. *An integrated modeling framework to support manufacturing system diagnosis for continuous improvement*. **Robotics and computer-integrated manufacturing**, v.24, n.2, p.187-199, 2008.

HERRERA, W. E. M. **Uma abordagem multicritério no desenvolvimento de arranjos físicos**. 91f. Dissertação (mestrado) – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes-RJ, 2000.

HERRERA, W.D.M.; COSTA, H.G., “O método ELECTRE III aplicado ao desenvolvimento de arranjos físicos”, Proceedings of the **V International Congress of Industrial Engineering**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1999.

HUSSAIN, M.; MALIK, M.; AL NEYADI, H. S. *AHP framework to assist lean deployment in Abu Dhabi public healthcare delivery system*. **Business Process Management Journal**. v. 22, n. 3, pp. 546 – 565, 2016.

IANNONI, A. P.; MORABITO, R. Análise do sistema logístico de recepção de cana de açúcar: Um estudo de caso utilizando simulação discreta. **Gestão de Produção**. v. 9, n.2, p. 107-128, ago.2002.

JUNIOR, J.H. C. G.; FILHO, E. V. G. Análise do desempenho dos arranjos físicos distribuídos operando sob roteamento de peças com flexibilidade de sequenciamento. **Revista Gestão Industrial**. v. 3, n 01, pp. 01-12, 2007.

KARATZA, K.; DIOUDI, E.; MOUSSIOPOULOS, N. *Identification of major components for integrated urban air quality management and information systems via user requirements prioritization*. **Environmental Modelling & Software**. v. 18, p. 173 -178, 2003.

KUSIAK, A.; HERAGU, S. S. “*The facility layout problem*,” **European Journal of Operational Research**, v. 29, no. 3, pp. 229– 251, 1987.

KING, D. H.; HARRISON, H. S. *Discrete-event simulation in Java: a practitioner's experience*. **Proceedings of the 2010 Conference on Grand Challenges in Modeling & Simulation**. Vista, 2010.

LAW, A. M. **Simulation modeling and analysis**. 4ª edition. McGraw-Hill, 2007.

LAW, A. M.; KELTON, W. D., **simulation Modeling and Analysis**, 2ª edition, McGraw- Hill, NY, 1991.

LEAL, F. **Análise do efeito interativo de falhas em processos de manufatura através de projeto de experimentos simulados**. 238 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008.

LEAL, F.; OLIVEIRA, M. L. M.; ALMEIDA, D. A.; MONTEVECHI, J. A. B. Desenvolvimento e aplicação de uma técnica de modelagem conceitual de processos em projetos de simulação: o IDEF-SIM. In: **XXIX ENEGEP**, Salvador, BA, 2009.

LEAL, F.; ALMEIDA, D. A.; MONTEVECHI, J. A. B. Uma Proposta De Técnica De Modelagem Conceitual Para A Simulação Através De Elementos Do IDEF. **XL SBPO**, João Pessoa, PB, 2008.

LEE, Q. **Projeto de instalações e do local de trabalho**. São Paulo. IMAM, 1998.

LEMONS, F. O.; ANZANELLO, M. J.; FOGLIATTO, F. S. **Simulação da capacidade teórica de uma linha de montagem tipo “U” em uma empresa de pequeno porte.** In. VI semana de engenharia de produção sul americana, Porto Alegre, 2006.

MAGALHÃES, A. P. DE S.; PIASSI, L. M.; AGUIAR, E. M. De logística reversa de eletrodomésticos da linha branca: processo de escolha pelo método de análise hierárquica (Ahp). SIMPOI, **Anais** 2011.

MARTINS, C. S.; SOUZA, D. DE O.; BARROS, M. DA S. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – Um estudo de caso. **XLS SBPO**, Porto Seguro, BH, 2009.

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

MCLEAN, C.; LEONG, S. *The Role of Simulation in Strategic Manufacturing.* **Proceedings of the 33rd Conference on Winter Simulation**, 1478-1486, 2001.

MELLER, R. D.; GAU, K. Y. *The facility layout problem: recent and emerging trends and perspectives.* **Journal of Manufacturing Systems**, 1996.

MEIRELLES, A. F.; MEIRELLES, L. A.; BARBASTEFANO, R. G.; FLEXA, R. C. Simulação e Layout - Um estudo de caso. In: **XXIX ENEGEP**. Salvador, BA, 2009.

MONTEVECHI, J.A.B.; COSTA, R.F. da S.; LEAL, F.; PINHO, A.F. de; MARINS, F.A.S. *Combined use of modeling techniques for the development of the conceptual model in simulation.* **Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference**, Miami, FL, USA, 2008.

MONTEVECHI, J.A.B.; LEAL, F.; PINHO, A.F.; COSTA, R.F.S; OLIVEIRA, M.L.M.; SILVA, A.L.F. *Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: An application in a Brazilian tech company.* In: **Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference**, Baltimore, 2010. p. 1624-1635, 2010.

MONTEVECHI, J.A.B.; PINHO, A.F. de; LEAL, F. MARINS, F.A.S. *Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry.* In: **Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference**, Washington, DC, USA. 2007.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. Avaliação multicritério para adequação de sistemas de redução de perdas de água. In. **XXII ENEGEP**, Curitiba, PR, 2002.

MORRIS, J. S.; TERSINE, R. J. *A Simulation comparison of process and cellular layouts in a dual resource constrained environment.* **Computers & Industrial Engineering**. v. 26, p. 733-741, 1994.

MOURA, R. A. **Manual de logística: Armazenagem e Distribuição Física.** São Paulo: IMAN, 1997.

MUTHER, R; WHEELER, J.D, **Planejamento sistemático e simplificado de layout.** IMAM, São Paulo 2000.

MUTHER, R. **Planejamento do layout: O sistema SLP.** Editora Edgard Blücher, 1978.

NETO, L.C. Aplicação da simulação a eventos discretos em uma linha de produção do setor automobilístico. In: **XXII SIMPEP**, Bauru, SP, 2015.

NEUMANN, C. R. S.; MILANI, J. Proposição de melhoria do *layout* utilizando o SLP simplificado in: **XXIX ENEGEP**, Salvador, BA, 2009.

O'KANE, J. F.; SPENCELEY, J. R.; TAYLOR, R. *Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems* **Journal of materials processing technology**, v. 107, p. 412-424. 2000.

OLIVEIRA, C. S. DE **Aplicação de técnicas de simulação em projetos de manufatura enxuta. Estudos tecnológicos**, v.4, n. 3, p. 204-217, 2008.

OLIVEIRA, C. V. P DE; BARCELOS, F. B.; GOMES, I. M.; THOMASI, K. F.; BRITES, P. DE A. L.; RÉGIO, R. L. S.; SLP E Simulação Computacional: Aplicação Integrada Dessas Ferramentas Em Uma Marmoraria Capixaba. In: **XLV SBPO**. Natal, RN, 2013.

OLIVEIRA, D. de P. R. **Sistemas, organização e métodos: uma abordagem gerencial**. São Paulo: Atlas, 2006.

PEGDEN, C.D., SHANON, R.E., SADOWSKY R. **Introduction to Simulation Using SIMAN**, McGraw-Hill New Jersey, 1990.

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

PEIXOTO, T. A.; RANGEL, J. J. DE A.; MATIAS, Í. DE O.; MONTEVECHI, J. A. B.; MIRANDA, R. DE C. Ururau - Um Ambiente Para Desenvolvimento De Modelos De Simulação A Eventos Discretos. **Revista PODEs**, v.5, n.3, p. 373-405, setembro a dezembro de 2013.

PINHO, A.F.; LEAL, F.; ALMEIDA, D.A. A integração entre o mapeamento de processo e o mapeamento de falhas: dois casos de aplicação no setor elétrico .In: **XXVI ENEGEP**. Fortaleza, CE, 2006.

PRADO, D. SL. **Usando o ARENA em Simulação**. 4ª. ed. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços Ltda. 2010.

RAFAELI, L.; MULLER, C. J. Estruturação de um índice consolidado de desempenho utilizando o AHP. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 14, n. 2, p.363-377, 2007.

RANGEL, L. A. D; GOMES, L. F. A. M. O apoio multicritério à decisão na avaliação de candidatos. **Revista Produção**, v. 20, n. 1, jan./mar. 2010, p. 92-101. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/prod/v20n1/aop200709107>>. Acesso em: 24 fev. 2016.

RANGEL, J. J. DE A.; CUNHA, A. P.; AZEVEDO, L. R. DE; VIANNA, D. S. *A simulation model to evaluate sugarcane supply system*. **Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference**. p. 2114-2125. 2010.

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: Makron Books, 1991.

SAATY, T.L. **Decision making for leaders**. Pitts burg, USA, WS. Publications, 2000.

SANTOS, G. L.; RIBEIRO, S. L.; LEAL, F.; QUEIROZ, J. A. DE; ROCHA, F. Aplicação do mapeamento do fluxo de valor integrado à simulação a evento discreto para identificar desperdícios em uma fábrica de laticínios. In: **XLVI SBPO**. Salvador, BA, 2014

SARGENT, R. G. *Verification and validation of simulation models*. **Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference**, IEEE, p. 166-183, 2010.

SHAHIN, A.; POORMOSTAFA, M. *Facility layout simulation and optimization: an integration of advanced quality and decision making tools and techniques*. **Modern Applied Science**, v.5, n.4, p.95-111, ago. 2011.

SHENGCHONG, L.; WEI, H.; HONGIL, Z. *Study On The Layout Planning And Optimization For An Electronic Product Workshop Based On Cell Manufacturing*. **AMCCE 2015, International Conference on Automation, Mechanical Control and Computational Engineering**. 2015.

SILVA, T. M. P. DA; RANGEL, J. J. DE A. *Discrete event simulation as didactic support to the teaching of telecommunications systems: applications in digital telephony*. **Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference**, pp.3893–3903. 2011.

ŠKORIĆ, I.; PEIN, B.; OREHOVAČKI, T. *Selecting the Most Appropriate Web IDE for Learning Programming Using AHP*. **Computers in Education**, Pula - Croácia, 2016.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2007.

SOARES, J. P. M.; LEMOS, F. DE O.; ARAÚJO, C. L. K. DE; HANSEN, P. B. A contribuição da simulação computacional para a análise sistêmica da reestruturação de *layout* e otimização de recursos na manufatura celular: estudo de caso em uma célula de uma empresa do ramo automotivo. **Produto e Produção**. v. 12, n. 3, pp. 49-69. out. 2011.

SOUZA JR., J. A., ANDRADE, M.H.S., CARMO, B.B.T., SANTIAGO, K.G. E ALBERTIN, M.R. Identificação do *layout* adequado em uma empresa de tecnologia eletrônica, **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v. 7, 1-22, 2012.

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

TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A.; BOZER, Y. A.; FRAZELLE, E. H.; TANCHOCO, J. M. A.; TREVINO, J. **Facilities planning**. New York: John Wiley, 1996.

TREIN, F. A.; AMARAL, F. G. A aplicação de técnicas sistemáticas para a análise e melhoria de *layout* de processo na indústria de beneficiamento de couro. **ENEGEP**, Salvador – BA, 2001

TREVIZANO, W. A.; FREITAS, A. L. P. Emprego do Método da Análise Hierárquica (A.H.P.) na seleção de Processadores. In: **XXV ENEGEP**, Porto Alegre, RS, 2005.

TORTORELLA, G. L. **Sistemática para orientação do planejamento de *layout* com o apoio de análise de decisão multicritério**. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre - RS, 2006.

TORTORELLA, G. L.; FOGLIATTO, F. S.; Planejamento sistemático de *layout* com apoio de análise de decisão multicritério. **Revista Produção**, v. 18, n. 3, set./dez. 2008, p. 609-624

VIEIRA, G. E. Uma Revisão Sobre A Aplicação De Simulação Computacional Em Processos Industriais. In: **XIII SIMPEP**, Bauru, SP, 2006.

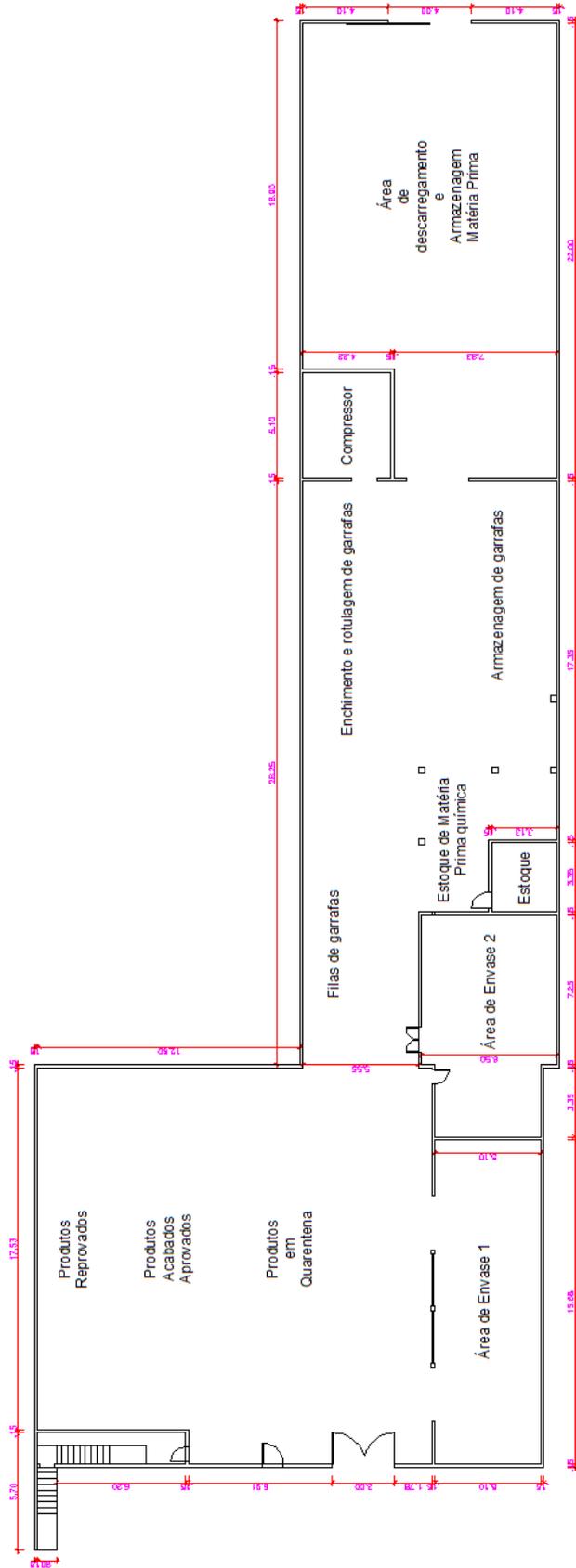
YANG, T.; KUO, C. A *hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem*. **European Journal of Operational Research**. p. 128–136, 2003.

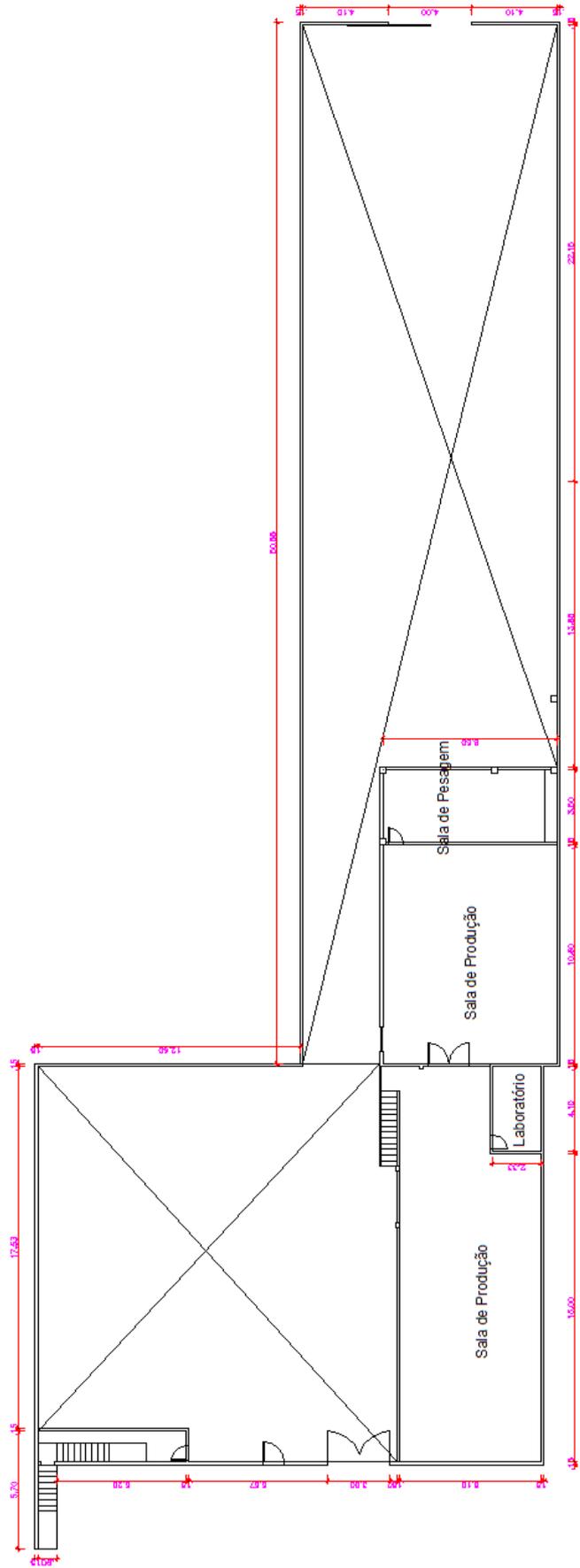
YANG, T.; SU, C.; HSU, Y. *Systematic Layout Planning: a study on semiconductor wafer fabrication facilities*. **International Journal of Operations Production Management**, v. 20, p. 1359-1371, 2000.

XIE, W.; SAHINIDIS, N. V. *A branch-and-bound algorithm for the continuous facility layout problem*. **Computers & Chemical Engineering**, v.32, n.4, pp. 1016-1028. 2008.

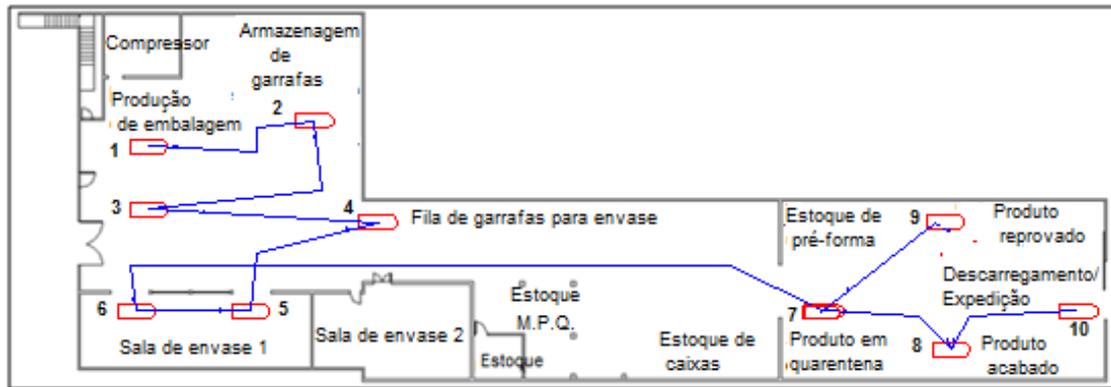
XU, T.; MOON, D. H.; BAEK, S. G. *A simulation study integrated with analytic hierarchy process (AHP) in an automotive manufacturing system*. **Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International**. pp. 450–463. 2012.

APÊNDICE 1 – PLANTA BAIXA DA EMPRESA





APÊNDICE 2 – MAPOFLUXOGRAMA DAS ALTERNATIVAS



Alternativa B



Alternativa C

**ANEXO 1- QUESTIONÁRIOS UTILIZADOS
APLICADO A RESPONSÁVEL TÉCNICA**

Este questionário tem como objetivo levantar informações adicionais sobre a Empresa. A sua participação é muito importante.		Data: ____/____/____
Nome:	Cargo ocupado:	
1) Quantas caixas contém 1 lote?		
2) Quantos lotes cabem em um caminhão? .		
3) Quantas garrafas a máquina rotula por hora? .		
4) Com que frequência a empresa trabalha com hora extra?		
5) Porque que os produtos precisam ficar em quarentena?		
6) Em média com quanto estoque de embalagem a empresa trabalha? .		
7) Em média com quanto estoque acabado a empresa trabalha? .		
8) Com qual frequência é feita a programação da produção? .		
9) Com que frequência é feito o pedido de matéria prima?		
10) Qual a média de pedidos dos produtos da Limpil?		

APLICADO AOS FUNCIONÁRIOS

Este questionário tem como objetivo avaliar o <i>layout</i> atual da empresa Limpil. A sua participação é muito importante.					Data: _/_/___
Nome:		Idade:	Gênero: () F () M		
Estado civil: () Solteiro () Casado () Outro		Cargo ocupado:			
Há quanto tempo trabalha na empresa?					
Qual é a sua maior escolaridade ou qual você está cursando? () Fundamental () Médio/Técnico () Graduação () Pós-graduação					
Você considera a disposição/ <i>layout</i> da empresa adequada? () sim () não					
Qual a sua sugestão ou crítica do <i>layout</i> atual da empresa?					
De forma geral, qual o Grau de Desempenho do <i>layout</i> atual?	Muito Ruim	Ruim	Regular	Bom	Muito bom
	1	2	3	4	5
De forma geral, qual o seu Grau de Satisfação do <i>layout</i> atual?	Muito insatisfeito	Insatisfeito	Regular	Satisfeito	Muito satisfeito
	1	2	3	4	5
Qual/quais são os aspectos positivos do <i>layout</i> atual?					
Qual / quais os aspectos negativos do <i>layout</i> atual?					

APLICADO A RESPONSÁVEL TÉCNICA

Este questionário tem como objetivo avaliar o <i>layout</i> atual da empresa Limpl. A sua participação é muito importante					Data: _/_/__				
Nome:			Idade:		Gênero: () F () M				
Estado civil: () Solteiro () Casado () Outro			Cargo ocupado:						
Há quanto tempo trabalha na empresa?									
Qual é a sua maior escolaridade ou qual você está cursando? () Fundamental () Médio/Técnico () Graduação () Pós-graduação									
Você considera a disposição/ <i>layout</i> da empresa adequada? () sim () não									
Qual a sua sugestão ou crítica do <i>layout</i> atual da empresa?									
De forma geral, qual o Grau de Desempenho do <i>layout</i> atual?	Muito Ruim	Ruim	Regular	Bom	Muito bom				
	1	2	3	4	5				
De forma geral, qual o seu Grau de Satisfação do <i>layout</i> atual?	Muito insatisfeito	Insatisfeito	Regular	Satisfeito	Muito satisfeito				
	1	2	3	4	5				
Qual/quais são os aspectos positivos do <i>layout</i> atual?									
Qual / quais os aspectos negativos do <i>layout</i> atual?									
Avalie a importância dos indicadores abaixo a respeito do processo produtivo. Caso não seja possível avaliar algum item, marque a opção NA (não avaliado).									
Grau de Importância	Nada Importante	Pouco Importante	Regular	Importante	Muito Importante	Não avaliado			
	1	2	3	4	5	NA			
				Grau de Importância					
Lead time (tempo do processo desde a mistura química até o produto acabado)				1	2	3	4	5	NA
Tempo de setup (tempo de interrupções na produção)				1	2	3	4	5	NA
Tempo de manutenção				1	2	3	4	5	NA
Tempo de produção				1	2	3	4	5	NA
Tempo de ociosidade da máquina (tempo em que a máquina não está operando)				1	2	3	4	5	NA
Tempo de ociosidade dos operadores (tempo em que os operadores não estão trabalhando)				1	2	3	4	5	NA
Utilização da área de produção				1	2	3	4	5	NA
Utilização do espaço (outras áreas)				1	2	3	4	5	NA
Utilização de materiais e equipamentos				1	2	3	4	5	NA
Utilização dos recursos humanos (funcionários)				1	2	3	4	5	NA
Capacidade de produção				1	2	3	4	5	NA
Distância percorrida				1	2	3	4	5	NA
Número de máquinas				1	2	3	4	5	NA
Número de funcionários				1	2	3	4	5	NA

Há algum indicador que seja importante adicionar a pesquisa?

APLICADO A RESPONSÁVEL TÉCNICA

Este questionário tem como objetivo avaliar o <i>layout</i> atual da empresa Limpil. A sua participação é muito importante						Data: ___/___/___
Nome:						
<i>LAYOUT (A/ B/ C)</i>						
Avalie o Desempenho dos indicadores abaixo a respeito do processo produtivo. Caso não seja possível avaliar algum item, marque a opção NA (não avaliado).						
Grau de Desempenho	Muito ruim	Ruim	Regular	Bom	Muito Bom	Não avaliado
	1	2	3	4	5	NA
				Grau de desempenho		
Lead time (tempo do processo desde a mistura química até o produto acabado)	1	2	3	4	5	NA
Tempo de setup (tempo de interrupções na produção)	1	2	3	4	5	NA
Tempo de manutenção	1	2	3	4	5	NA
Tempo de produção	1	2	3	4	5	NA
Tempo de ociosidade da máquina (tempo em que a máquina não está operando)	1	2	3	4	5	NA
Tempo de ociosidade dos operadores (tempo em que os operadores não estão trabalhando)	1	2	3	4	5	NA
Utilização da área de produção	1	2	3	4	5	NA
Utilização do espaço (outras áreas)	1	2	3	4	5	NA
Utilização de materiais e equipamentos	1	2	3	4	5	NA
Utilização dos recursos humanos (funcionários)	1	2	3	4	5	NA
Capacidade de produção	1	2	3	4	5	NA
Distância percorrida	1	2	3	4	5	NA
Número de máquinas	1	2	3	4	5	NA
Número de funcionários	1	2	3	4	5	NA