

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**SISTEMÁTICA PARA ORIENTAÇÃO DO
PLANEJAMENTO DE *LAYOUT* COM APOIO DE
ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO**

Guilherme Luz Tortorella

Porto Alegre, 2006

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**SISTEMÁTICA PARA ORIENTAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE *LAYOUT*
COM APOIO DE ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO**

Guilherme Luz Tortorella

Orientador: Flávio Sanson Fogliatto, *Ph.D.*

Banca Examinadora:

**Antônio Gastaud Maçada, Dr.
Prof. Programa de Pós-Graduação em Administração / UFRGS**

**Francisco José Kliemann Neto, Dr.
Prof. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção / UFRGS**

**Tarcísio de Abreu Saurin, Dr.
Prof. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção / UFRGS**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção como requisito parcial à obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Área de concentração: Sistemas de Produção

Porto Alegre, fevereiro de 2006.

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Prof. Flávio Sanson Fogliatto, *Ph.D.*
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Prof. Luis Antônio Lindau, Dr.
Coordenador PPGEF/UFRGS

Banca Examinadora:

Antônio Gastaud Maçada, Dr.
Prof. PPGA / UFRGS

Francisco José Kliemann Neto, Dr.
Prof. PPGEF / UFRGS

Tarcísio de Abreu Saurin, Dr.
Prof. PPGEF / UFRGS

*À minha família, em especial
à minha amada Sophia, pelo apoio
e compreensão nas horas difíceis.*

AGRADECIMENTOS

Ao findar deste trabalho, gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização desta dissertação.

Em especial, agradeço ao professor Flávio Sanson Fogliatto, exemplo de profissional centrado e dotado de senso crítico. Obrigado pelos conselhos, considerações e incentivos, os quais foram de fundamental importância para a elaboração do estudo.

Ao professor Francisco Kliemann, pelas dicas e sugestões que muito auxiliaram no desenvolvimento do trabalho.

Aos companheiros de mestrado e, mais do que tudo, amigos: Ângelo, Fabiano, Gustavo, Camila Dutra e Tiago. De fato, as discussões valeram.

A minha família, pelo apoio e incentivo prestados não somente durante a minha carreira acadêmica, mas durante toda a minha vida. E a Sophia, pelo carinho, compreensão e companheirismo nos mais diversos momentos de elaboração desta dissertação.

À empresa automotiva GKN, em especial aos colegas Volnei Dalmas, Álvaro Valls, Getúlio Oliveira, Edson Cunha, Carlos Weide, Márcia Balbi e Edelmar Liedke, por propiciarem um ambiente adequado à realização da pesquisa, através do fornecimento de informações e participação ativa durante seu desenvolvimento.

E a Deus, por tudo.

RESUMO

A correta utilização do espaço físico de uma fábrica é fator importante para o seu bom funcionamento, já que estabelece a sua organização fundamental, bem como os padrões de fluxo de materiais e informações, com efeitos que se farão presentes no longo prazo. A fim de sistematizar um adequado planejamento de *layout*, métodos para planejamento do macro-espaço, como o SLP (*Systematic Layout Planning* – Planejamento Sistemático de *Layout*), podem auxiliar no desenvolvimento de alternativas de *layout*. Contudo, devido à geração de soluções sub-ótimas com benefícios e desvantagens diferentes, o processo decisório da melhor alternativa de *layout* torna-se crítico para garantir a eficiência e flexibilidade de empresas frente aos diferentes cenários de mercado. O objetivo principal desta dissertação é a utilização de ferramentas de apoio à decisão multicritério em sistemáticas de planejamento de *layout*. A metodologia de análise multicritério proposta foi colocada em prática na seleção de alternativas de *layout* em uma empresa do ramo automotivo, que necessita ampliar seu parque fabril de modo a possibilitar a incorporação de novos equipamentos e otimização do fluxo de materiais. Nove alternativas de macro-*layout* diferentes foram geradas sendo avaliada a melhor alternativa geral em relação a sete critérios de avaliação.

Palavras-Chave: Planejamento Sistemático de *Layout*, Análise Multicriterial, AHP.

ABSTRACT

The correct utilization of the physical space in a factory is an important factor in its operation, since it establishes the primary organization, as well as the material and information flow patterns, with consequences that will be reflected on the long term. In order to systematize an adequate layout planning, methods for macro-space planning such as SLP (Systematic Layout Planning) may support the development of layout alternatives. However, due to the generation of sub-optimal solutions with different pros and cons, the process of determining the best alternative becomes critical to assure the company efficiency and flexibility on facing different market scenarios. The main objective of this dissertation is the utilization of multicriteria decision support tools applied in layout planning schemes. The multicriteria analysis methodology proposed is illustrated in a study in an automotive industry, that is expanding its building area in order to house new machines and optimize the material flow. Nine different macro-layout alternatives were generated and the best overall alternative was evaluated in relation to seven criterias.

Key words: Systematic Layout Planning, Multicriteria Analysis, AHP.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS.....	12
INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Considerações Iniciais.....	13
1.2 Justificativa do Tema.....	14
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo Principal.....	15
1.3.2 Objetivos Secundários.....	16
1.4 Metodologia.....	16
1.4.1 Método de Pesquisa.....	16
1.4.2 Método de Trabalho.....	17
1.5 Estrutura da Dissertação.....	17
1.6 Delimitações do Trabalho.....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 <i>Layout</i>	20
2.1.1 Introdução ao Estudo de <i>Layout</i>	20
2.1.2 Classificação do <i>Layout</i> de Fábrica.....	23
2.1.3 O Planejamento Estratégico de <i>Layout</i>	26
2.1.3.1 Aplicações do Planejamento Estratégico de <i>Layout</i>	30
2.1.4 Métodos de Auxílio ao Projeto de <i>Layout</i>	32
2.1.4.1 CRAFT.....	35
2.1.4.2 <i>Layout</i> Multi-nível.....	35
2.1.4.3 Simulação computacional baseada em teoria de filas.....	36

2.1.4.4 SLP.....	36
2.1.4.5 QAP.....	37
2.1.4.6 <i>Layout</i> baseado em otimização via algoritmo genético.....	38
2.1.4.7 SPM.....	39
2.1.4.8 BLOCPLAN.....	40
2.1.4.9 DISCON.....	40
2.1.4.10 Algoritmo de Sequenciamento para Projeto de <i>Re-layout</i>	41
2.1.5 Análise Crítica da Literatura sobre <i>Layout</i>	41
2.2 Análise Multicriterial Aplicada ao Problema do <i>Layout</i>	42
2.2.1 Critérios de Avaliação de <i>Layouts</i> de Fábrica.....	42
2.2.2 Ferramentas de Auxílio à Tomada de Decisão Multicriterial.....	44
2.2.2.1 AHP.....	46
2.2.2.2 Aplicação do AHP como Ferramenta de Análise Multicriterial de Projetos de <i>Layout</i>	48
3 PLANEJAMENTO SISTEMÁTICO DE <i>LAYOUT</i>	49
3.1 Introdução.....	49
3.2 Fase de Análise.....	50
3.2.1 Dados de Entrada.....	50
3.2.2 Fluxo de Material.....	52
3.2.3 Atividades Relacionadas.....	54
3.2.4 Diagrama de Relacionamento.....	54
3.2.5 Espaço Necessário <i>versus</i> Espaço Disponível.....	55
3.3 Fase de Pesquisa.....	56
3.3.1 Diagrama de Relacionamentos e Espaço.....	56
3.3.2 Mudanças Consideradas e Limitações Práticas.....	57
3.3.3 Desenvolvimento de Alternativas de <i>Layout</i>	58
3.4 Fase de Seleção.....	58
3.4.1 Avaliação Multicriterial Qualitativa.....	59
3.4.2 Avaliação Multicriterial Quantitativa.....	59
3.4.3 Avaliação Multicriterial Qualitativa e Quantitativa.....	60

4 ESTUDO DE MACRO-LAYOUT EM UMA EMPRESA DO RAMO AUTOMOTIVO.....	62
4.1 O Produto.....	62
4.2 Fase de Análise.....	64
4.2.1 Dados de Entrada.....	64
4.2.2 A Formação de uma Equipe de Trabalho.....	65
4.2.3 Análise da Capacidade Fabril.....	66
4.2.8 Espaço Necessário <i>versus</i> Espaço Disponível.....	67
4.3 Fase de Pesquisa.....	68
4.3.1 Fluxo de Materiais.....	68
4.3.1.1 Fluxo Externo de Materiais.....	68
4.3.1.2 Fluxo Interno de Materiais.....	70
4.3.2 Fluxo de Pessoas.....	71
4.3.3 Mudanças Consideradas e Limitações Práticas.....	74
4.3.4 Desenvolvimento de Alternativas de <i>Layout</i>	75
4.4 Fase de Seleção.....	77
4.4.1 Critérios de Avaliação.....	77
4.4.2 Seleção da Melhor Alternativa.....	78
4.5 Implementando o <i>Layout</i>	81
4.5.1 O Plano de Ação.....	81
4.5.2 Resultados Obtidos.....	82
4.5.3 Análise Crítica dos Resultados.....	84
5 CONCLUSÃO.....	85
REFERÊNCIAS.....	88
APÊNDICES.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Características classificatórias dos Sistemas de Produção.....	24
Figura 2: Tipos de <i>layout</i> de acordo com incerteza de requisitos de produção futuros e custo de re- <i>layout</i>	24
Figura 3: Tipos básicos de <i>layout</i>	26
Figura 4: Características dos tipos básicos de <i>layout</i>	26
Figura 5: Curva de custo de alteração de projeto.....	27
Figura 6: Relacionamentos estratégicos que devem ser favorecidos em um projeto de <i>layout</i>	28
Figura 7: Modelo de planejamento de projeto de <i>macro-layout</i>	29
Figura 8: Esquema de classificação de pesquisa de <i>layout</i> de fábrica.....	33
Figura 9: Lista cronológica de <i>softwares</i> desenvolvidos para o problema de <i>layout</i>	34
Figura 10: Representação de modelo de <i>layout</i> em planilha.....	39
Figura 11: A decomposição e divisão; (a) matriz de posicionamento dos departamentos e (b) planta já com a área dos departamentos dividida.....	40
Figura 12: Consolidação das principais características dos métodos de projeto de <i>layout</i>	42
Figura 13: Classificação de critérios de avaliação de alternativas de <i>layout</i>	44
Figura 14: Interpretação dos atributos de prioridade entre pares de objetivos <i>i</i> e <i>j</i>	47
Figura 15: Procedimento do SLP.....	50
Figura 16: Exemplo de análise de mercado indicando natureza estocástica das demandas de produção futuras.....	52
Figura 17: Exemplo de planilha de controle de processo para o produto válvula de escape.....	52

Figura 18: Tipos de fluxo dentro de uma fábrica considerando os locais de entrada e saída: (a) no mesmo ponto, (b) em lados adjacentes, (c) no mesmo lado mas em pontos opostos e (d) em lados opostos.....	54
Figura 19: Exemplo de diagrama de relacionamentos.....	55
Figura 20: Diferentes morfologias para projetos de <i>layout</i>	56
Figura 21: Diferentes alternativas de <i>layout</i> por blocos.....	58
Figura 22: Os 4 níveis de hierarquia do AHP.....	60
Figura 23: Os 4 níveis de hierarquia do NCIC.....	61
Figura 24: Desenho esquemático de um SEH.....	63
Figura 25: Antigas e novas atribuições dos membros da equipe e seus respectivos tempos de empresa.....	66
Figura 26: Tipos de <i>layout</i> das unidades produtivas	66
Figura 27: Análise do destino dos veículos de transporte que entram na empresa	69
Figura 28: Histograma de frequência de entrada de veículos de transporte na empresa	70
Figura 29: Análise dos tipos de veículos de transporte utilizados.....	70
Figura 30: Diagrama de relacionamentos das SPUs.....	71
Figura 31: Divisão das áreas da empresa no <i>layout</i> atual.....	72
Figura 32: Número de vagas por estacionamento e veículos registrados	74
Figura 33: Alternativa (c) de macro- <i>layout</i> da planta.....	76
Figura 34: Alternativa (d) de macro- <i>layout</i> da planta.....	76
Figura 35: Níveis de hierarquia da análise multicritério.....	79
Figura 36: Cronograma de implementação do projeto de macro- <i>layout</i> da planta.....	82
Figura 37: Análise comparativa do <i>layout</i> selecionado com a condição atual.....	83
Figura 38: Macro-fluxo de entrada de funcionários na empresa.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de <i>RI</i>	47
Tabela 2: Projeção de demanda anual para o ano de 2004 e os próximos cinco anos em número de peças.....	65
Tabela 3: Áreas atuais e futuras de cada unidade produtiva.....	68
Tabela 4: Variação m ² /pessoa de acordo com os horários.....	73
Tabela 5: Capacidade do restaurante da empresa e demanda de funcionários de acordo com o horário das refeições.....	73
Tabela 6: Matriz de comparações pareadas dos critérios de avaliação.....	80
Tabela 7: Matriz de pesos das alternativas para cada critério.....	80
Tabela 8: Valores das pontuações gerais das alternativas de macro- <i>layout</i>	81

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Uma estratégia de manufatura, segundo Lee (1998b), é a base filosófica para se projetar um sistema de produção. Um modo de pensar sobre estratégia de manufatura é em termos de missão, processo e infraestrutura. A missão é o propósito, um conjunto de metas, os quais descreverão a quais produtos, processos e mercados o sistema produtivo se dirigirá. Processo refere-se ao trabalho de transformação de matéria-prima e informação em produto final para o cliente. O elemento do sistema que suporta o processo é a infraestrutura. Esta se divide em física e não-física. A infraestrutura física compreende as instalações, enquanto a infraestrutura não-física relaciona-se aos sistemas sócio-técnicos da fábrica.

O *layout* é um aspecto físico de uma estratégia de manufatura e reflete a quantidade e qualidade de pensamento, inteligência e esforço que uma organização investe em seu planejamento estratégico (LEE, 1998b). O *layout* de uma fábrica tem impacto direto sobre seu sistema produtivo. Seu correto dimensionamento pode proporcionar à empresa possibilidade de reação frente a flutuações de demanda, novos produtos e alterações de mercado. Além disso, um bom *layout* permite que os materiais, o pessoal e as informações fluam de uma forma eficiente e segura (TREIN; AMARAL, 2001).

Este trabalho tem por tema sistemáticas de planejamento de *layout*. Estas dividem o processo de planejamento em diversas etapas que são sequencialmente solucionadas e seu sucesso depende da qualidade das alternativas de *layout* geradas. Investiga-se, também, a aplicabilidade de ferramentas de auxílio à tomada de decisão multicriterial sobre as técnicas de planejamento de *layout*, em particular na fase de escolha do *layout*. Por fim, são identificados indicadores de desempenho que auxiliem na avaliação de eficiência na aplicação de sistemáticas de planejamento de *layout*.

A teoria pesquisada foi aplicada no planejamento de *layout* de uma empresa do ramo automotivo. Esta se encontra em processo de expansão de seu parque fabril devido à necessidade de aumento em sua capacidade produtiva, que deve permitir o atendimento da demanda de produtos para os próximos cinco anos. Nesse contexto, o planejamento de *layout* é fundamental para proporcionar tanto a expansibilidade da fábrica quanto a otimização do fluxo interno de materiais.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA

Ao longo de seu ciclo de vida, os sistemas de manufatura passam por fases como nascimento, expansão, maturidade, declínio e morte. Os ciclos de vida em sistemas de manufatura têm sido continuamente acelerados nas últimas décadas (MONTREUIL; VENKATADRI, 1991). O terreno, a fábrica e os equipamentos costumam representar investimentos de capital consideráveis para as empresas. De maneira a proteger este investimento e obter máximo retorno, devem ser dedicadas grandes quantidades de dinheiro e tempo durante o planejamento da fábrica (VORIS, 1960).

Desde 1995, aproximadamente 8% do produto interno bruto dos Estados Unidos da América tem sido gasto anualmente em novos projetos de *layout*. A dimensão desse investimento e seu potencial impacto sobre o mercado aumentam a importância de um planejamento estruturado do *layout* de fábrica (TOMPKINS *et al.*, 1996).

Sabe-se que os recursos de muitas organizações são destinados primeiramente a equipamentos e instalações físicas, e que grande parte dos custos de produção estão relacionados a materiais, pessoas ou fluxos de trabalho. O projeto e adoção de um *layout* engloba um conjunto de decisões com conseqüências que se fazem notar em longo prazo. Assim, um *layout* inicial correto, que não acarrete em necessidade de reprojatos freqüentes, é

fundamental para a efetividade e eficiência operacional de uma empresa (URBAN, 1989). Meyersdorf e Taghizadeh (1998) colocam que um *layout* eficiente reduz entre 10 e 30% as despesas operacionais de uma fábrica.

Em termos acadêmicos, desde 1950 o *layout* de fábrica tem sido formalmente estudado (BENJAAFAR *et al.*, 2002). Segundo Bozer e Meller (1997), o problema do *layout* de fábrica, com departamentos de áreas desiguais, tem sido pesquisado por mais de trinta anos, resultando na apresentação de várias formulações diferentes na literatura, em especial assuntos relacionados a proposição de técnicas de projeto de *layout* e algoritmos de otimização. Meller e Gau (1996) colocam que esta é uma área de pesquisa extremamente ativa e que, apenas entre 1986 e 1996, aproximadamente cem artigos sobre o tema foram publicados. Acrescentam, ainda, que devido à significância do problema do *layout* de fábrica, este é um assunto que tende a se manter em discussão.

Já em termos práticos, as dificuldades evidenciadas na empresa abordada na pesquisa devido a um *layout* mal projetado justificam a utilização de técnicas formais de planejamento. Estas têm como base o conhecimento teórico obtido a partir de um levantamento bibliográfico sobre o tema.

Assim, esta dissertação utilizou técnicas de planejamento de *layout* que proporcionem uma distribuição física de acordo com as necessidades da empresa em questão. Como esta possui grandes expectativas de crescimento para os próximos cinco anos, entre 30 e 125% dependendo do produto, a distribuição física e as instalações devem proporcionar tal crescimento, a um custo mínimo de re-projeto e sem impactos significativos no andamento da fábrica. Desta forma, justifica-se a análise da estratégia de manufatura desta empresa a fim de se obter uma solução ótima de *layout* que permita sustentá-la, bem como a aplicação da metodologia de trabalho proposta nesta dissertação.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Principal

O objetivo principal desta dissertação é utilizar uma ferramenta de apoio à decisão multicritério em sistemáticas de planejamento de *layout*.

1.3.2 Objetivos Secundários

Constituem os objetivos específicos deste trabalho:

- Propor indicadores numéricos para os critérios de avaliação quantitativos que permitam classificar e auxiliar nas comparações das alternativas de *layout*;
- Avaliar o impacto sobre os fatores humanos das alternativas de *layout* obtidas através da metodologia proposta; e
- Ilustrar os conceitos pesquisados em uma aplicação prática em uma empresa do ramo automotivo.

1.4 METODOLOGIA

Nesta seção são detalhados o método de pesquisa e o método de trabalho.

1.4.1 Método de Pesquisa

Segundo a natureza, este trabalho é classificado como pesquisa aplicada, tendo em vista que seu conteúdo teórico é explorado e direcionado à solução de problemas genéricos (GIL, 1995). Considerando-se a abordagem, esta dissertação é enquadrada como pesquisa-ação, pois é realizada em estreita associação com a resolução de um problema coletivo no qual o pesquisador e os participantes representativos do problema estão envolvidos de modo cooperativo (THIOLLENT, 1985).

Os procedimentos utilizados para execução deste trabalho são pesquisa bibliográfica e aplicação de metodologia proposta em literatura em um caso prático. A estruturação teórica do trabalho provém de material já publicado, constituindo a pesquisa bibliográfica. A aplicação da metodologia não se dá apenas como mera observação do pesquisador sobre o pesquisado, segundo Gil (1995), na pesquisa-ação a realidade não é fixa e o observador e seus instrumentos desempenham papel ativo na coleta, análise e interpretação dos dados, distanciando-se, assim, dos princípios da pesquisa científica acadêmica.

1.4.2 Etapas da Pesquisa

A presente dissertação foi desenvolvida a partir de um método de trabalho estruturado em cinco passos.

No Passo 1, foi feita a análise do Referencial Bibliográfico. Neste sentido, foram feitas pesquisas em livros, artigos nacionais e internacionais, revistas especializadas, Internet, bases de dados, tanto em âmbito nacional quanto internacional. Este passo serviu como uma base para a constituição futura do referencial teórico do Capítulo 2 e da metodologia proposta desta dissertação.

No Passo 2, tem-se a constituição do referencial teórico. Após o levantamento preliminar da bibliografia necessária ao desenvolvimento do trabalho, ocorreu uma seleção das principais referências bibliográficas ligadas ao tema desta dissertação. Assim, o autor fez um levantamento sobre o estado da arte de projeto de *layout*, bem como de ferramentas no auxílio à tomada de decisão em problemas multicriteriais.

No Passo 3, com base na revisão bibliográfica, foi descrito o modelo para planejamento sistemático de *layout*. Este serve como referencial para a metodologia de análise da pesquisa-ação a ser descrita no passo 4.

No passo 5, encontram-se as conclusões obtidas após implementação da metodologia proposta bem como uma análise crítica dos resultados.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho está estruturado em cinco capítulos, com conteúdos delineados na seqüência.

O Capítulo 1 apresenta uma breve introdução, seguida do tema escolhido e sua justificativa, bem como os objetivos do trabalho e o método escolhido para atingi-los. No final, apresentam-se as delimitações do trabalho.

No Capítulo 2 faz-se uma revisão bibliográfica do tema escolhido, buscando apresentar de forma clara e objetiva os fundamentos teóricos das técnicas estratégicas de planejamento de *layout*. São levantadas as aplicações desta ferramenta, bem como suas

variações e ampliações. Também é apresentado um levantamento sobre métodos de análise de decisão multicriterial.

A apresentação da metodologia para o planejamento sistemático do *layout* é feita no Capítulo 3.

No Capítulo 4 encontram-se os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia proposta em um estudo de caso.

As conclusões decorrentes do estudo, bem como extensões propostas para este trabalho, são apresentadas no Capítulo 5.

1.6 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Muito embora uma série de medidas tenham sido tomadas visando garantir o caráter científico do presente trabalho, é relevante explicitar algumas delimitações no que tange ao método empregado. Esta dissertação apresenta certas limitações quanto ao método de trabalho e de pesquisa escolhidos, as quais serão descritas a seguir.

Primeiramente é necessário mencionar que, por se tratar de uma pesquisa-ação na empresa em questão, os resultados e conclusões desta não podem ser aplicados criticamente a outras empresas, ou seja, podem não ser diretamente generalizáveis.

Um fato importante a ser salientado é que a revisão bibliográfica não se propõe a cobrir assuntos como previsão de demanda e planejamento agregado de capacidade de produção, visto que estes são tidos como dados de entrada na metodologia de trabalho proposta.

Outra limitação de caráter teórico é a questão de não serem abordados algoritmos de formação de famílias de produtos ou balanceamentos de linhas, já que apenas o *macro-layout* é o foco da pesquisa e, portanto, cada célula, linha ou centro de trabalho é visto como uma unidade de área que possui certa intensidade de relacionamento com as demais.

Finalmente, pode-se citar que a pesquisa documental poderá também caracterizar um fator limitante, uma vez que foi lida a partir de uma perspectiva sigilosa. Ou seja, foram utilizados no trabalho exemplos visando elucidar e esclarecer conceitualmente o método proposto sem que o conjunto de dados e informações pudesse ser compreendido pelos leitores de forma sistêmica – o que tenderia a prejudicar o sigilo que a empresa deseja manter. Em

outras palavras, considerando-se que a dissertação é de interesse direto para a empresa e visa auxiliá-la na proposição de estratégias, somente foi utilizado o material e os dados que a empresa disponibilizou e autorizou a divulgação.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LAYOUT

2.1.1 Introdução ao Estudo de *Layout*

Com o objetivo de se tornarem competitivas, as empresas devem reduzir custos, aumentar seus lucros e serem inovadoras. Considerando os altos custos que acarreta a construção de uma fábrica nova e os riscos tecnológicos e financeiros associados a este investimento, as organizações têm tentado cada vez mais maximizar a utilização de seus recursos e instalações já disponíveis (MEYERSDORF; TAGHIZADEH, 1998).

A habilidade de projetar um *layout* que possa rápida e eficazmente se adaptar às mudanças tecnológicas e requisitos de mercado se torna cada vez mais importante para o sucesso de qualquer organização. Frente a produtos de ciclos de vida menor, alta variedade, demandas imprevisíveis e menores tempos de entrega, uma distribuição física dedicada a uma única linha de produto não é mais financeiramente atrativa. A eficiência do investimento exige que se possa trocar rapidamente de um produto para outro sem grandes impactos em ferramental, reconfigurações de recursos ou substituição de equipamentos (BENJAAFAR; SHEIKHZADEH, 2000). O problema de *layout* é, então, relacionado com a obtenção do

arranjo mais eficiente de m departamentos indivisíveis com demandas de área desiguais dentro de uma organização (MELLER; GAU, 1996).

Price (1997) afirma que o projeto do espaço de trabalho deve ser redirecionado para se ajustar as constantes mudanças na natureza do trabalho. Para tanto, é fundamental a atuação combinada de três componentes:

- Colaboração: o espaço de trabalho deve proporcionar um ambiente que facilite e suporte a colaboração e o trabalho em equipe;
- Flexibilidade: conceitos antigos de *layout* com separações físicas (paredes, grandes distâncias, etc.) estão sendo substituídos por espaços abertos para a equipe de trabalho, redes interativas de trabalho, comunicação e colaboração; e,
- Ambiente: o ambiente de trabalho desenvolveu-se de maneira que as atividades exercidas pela equipe devem ir além de suas responsabilidades originais, devendo encorajar a inovação e criatividade.

Vischer (1995) salienta que um planejamento adequado do espaço de trabalho pode facilitar e, em alguns casos, direcionar a reengenharia dos processos de trabalho, diminuindo diferenças hierárquicas e instigando outras mudanças organizacionais. Uma vez que isto se incorpora à cultura da companhia e os funcionários se ajustam as mudanças organizacionais, o aprendizado organizacional ocorre e a empresa tem uma nova e melhor maneira de resolver seus problemas.

McGregor (2000) coloca que se vive em uma época onde o trabalho está sendo redefinido além das tradicionais fronteiras de espaço e tempo, motivado pelo avanço da tecnologia de informação. À medida que os requisitos de trabalho mudaram, os requisitos de gerenciamento do espaço de trabalho também o fizeram. Métodos antigos de planejamento de *layout* que não acompanharam esta transição podem gerar resultados que conflitam com os conceitos das novas estratégias de manufatura.

Produtividade, qualidade de vida no trabalho, eficiência e custo são fatores geralmente associados à manufatura e ao chão-de-fábrica. Contudo, estes são influenciados diretamente pelo projeto do espaço de trabalho (SUSKIND, 1989). Dundon (1988) salienta que produtividade e qualidade têm impacto sobre o gerenciamento de materiais em termos de efetividade, maximizando os benefícios enquanto minimiza seus custos. Assim, quando métodos de planejamento apropriados são aplicados no desenvolvimento de *layout*, a produtividade tende a aumentar.

Apesar do planejamento de instalações e *layout* não ser uma ciência exata, pode ser abordado utilizando um método organizado e sistemático. Tradicionalmente, o processo de projeto de engenharia pode ser aplicado; este consiste nas seguintes etapas: (i) definir o problema, (ii) analisar o problema, (iii) gerar soluções alternativas, (iv) avaliar as alternativas, (v) selecionar o projeto preferido e (vi) implementar o projeto (TOMPKINS *et al.*, 1996).

Planejar um *layout* envolve decisões sobre a distribuição física dos centros de atividade econômica. Estes incluem tudo que consuma espaço: uma pessoa ou um grupo de pessoas, uma máquina, uma estação de trabalho, uma área de estoque, etc. (KRAJEWSKI; RITZMAN, 2002). O planejamento de *layout* é um assunto complexo e amplo, ao qual se tem atribuído grande importância nos últimos anos. Os métodos existentes de planejamento variam desde *checklists* até modelos matemáticos altamente sofisticados. É importante salientar que as instalações de uma fábrica, hoje em dia, são consideradas entidades dinâmicas e que o requisito básico de um *layout* é sua adaptabilidade, o qual é encarado como a habilidade deste se tornar disponível para um novo uso (TOMPKINS *et al.*, 1996).

Acrescenta-se a isto o fato de que projetar novos *layouts* pode ser caro e causar transtornos. Como as companhias que operam em ambientes extremamente voláteis, ou que introduzem regularmente novos produtos, não podem custear freqüentes movimentações, seus gerentes normalmente preferem conviver com as ineficiências do *layout* existente a pagar custosos rearranjos de seus equipamentos (BENJAAFAR *et al.*, 2002). Kochhar e Heragu (1999) comentam que alterar um *layout* existente acarreta em dois tipos de custos: o custo devido às perdas de tempo de produção e o custo de movimentar fisicamente os equipamentos de sua atual localização para a nova área. Além disso, projetar sistemas flexíveis que possam facilmente expandir em pequenos incrementos geralmente requer um maior investimento inicial. Contudo, minimizar os custos iniciais pode ter conseqüências estratégicas mais tarde se flexibilidade e expansão são requisitos de uma estratégia de manufatura (LEE, 1998b).

Meyersdorf e Taghizadeh (1998) apresentam alguns pontos que podem influenciar ou até dificultar o projeto de *layout*: limitações físicas existentes na planta, questões ergonômicas e de segurança, mudanças e atualizações no fluxo de processo, expansibilidade de sua capacidade produtiva, automação entre equipamentos, balanceamento entre as linhas de produção e interferências de fluxos de peças diferentes.

A literatura existente sobre projeto de *layout* pode ser classificada em duas grandes categorias: referências que trazem algoritmos para otimização de *layout* e referências que trazem aproximações empíricas sem utilização de uma metodologia formal (YANG *et al.*,

2000). A maioria dos algoritmos desenvolvidos pode ser classificada em um dos dois tipos: melhoria de *layout* e construção de *layout* (ELBERTAGI; HEGAZY, 1999).

A seção seguinte apresenta uma abordagem sobre o problema do *layout* e suas classificações. Na seqüência é avaliado o estado da arte dos métodos existentes no auxílio à resolução deste. Também são apresentadas ampliações e modificações dos métodos existentes, bem como aplicações destes reportadas na literatura. Por fim, são abordadas ferramentas de auxílio à tomada de decisão em um cenário de múltiplos critérios, a fim facilitar o processo de seleção do melhor projeto de *layout*.

2.1.2 Classificação do *Layout* de Fábrica

A habilidade de obter, manipular, interpretar e usar a informação efetivamente tem sido motivo de competição nas organizações. O desenvolvimento e a entrega de produtos e serviços têm mudado de acordo com as demandas de mercado e tecnologia (PRICE, 1997). Para planejar um *layout* necessita-se de informação acerca dos volumes de produção, tendências e previsibilidade de demandas futuras para os produtos fabricados. Assim, quanto mais confiáveis os dados de entrada sobre produto, processo e programação, mais próximo das necessidades da manufatura será o projeto de *layout* (TOMPKINS *et al.*, 1996).

De modo a relacionar as estratégias de mercado com as estratégias de manufatura, alguns critérios como preço do produto, entrega, qualidade, flexibilidade e confiabilidade são fundamentais. Estes, apesar de comuns a todos os produtos, podem variar em importância com o tipo de produto e mercado associado, sendo todos influenciados pelo *layout* da fábrica (WAINWRIGHT, 1996). Assim, o tipo de *layout* utilizado em uma fábrica depende largamente da natureza das atividades de manufatura. Este deve permanecer operando eficientemente mesmo em ambientes de manufatura dinâmicos (GOPALAKRISHNAN *et al.*, 2003). Na Figura 1, apresentam-se os principais fatores que classificam os sistemas de produção e seus respectivos níveis (ASKINS; GOLDBERG, 2002).

Características Classificatórias	Níveis
Organização Física	Produto vs. Processo
Recursos Chaves	Mão-de-Obra Intensiva vs. Capital Intensivo
Controle do Fluxo de Produção	Bateladas Discretas vs. Fluxo Contínuo
Sequência Inicial	Por Ordem vs. Para Estoque
Autorização de Produção	Empurrado vs. Puxado
Variedade de Produto	Simplex vs. Múltiplos Produtos
Volume de Produto	Tarefas por Encomenda vs. Produção em Repetitiva Escala
Estrutura de Fabricação/Montagem	Estágio Simplex de Produção vs. Múltiplos Estágios
Tempo Horizontal	Período Simplex (Estático) vs. Múltiplos Períodos (Dinâmico)

Figura 1: Características classificatórias dos Sistemas de Produção (Adaptado de ASKINS; GOLDBERG, 2002)

De um ponto de vista prático, dependendo do grau de incerteza no *mix* e volume de produção futuros e o custo de rearranjar os equipamentos, pode-se adotar quatro tipos de *layout* (ver Figura 2). Um *layout* dinâmico é útil quando incertezas de produção são baixas e o custo de re-*layout* é modesto. Um *layout* robusto é preferencial quando a incerteza é baixa, porém o custo de re-*layout* é alto. O *layout* distribuído é desejável na medida em que ambos, incerteza e custo, são altos, enquanto o *layout* reconfigurável é mais apropriado quando os custos de re-*layout* são baixos, mas a incerteza de produção alta (BENJAAFAR *et al.*, 2002).

Custo de Re-<i>layout</i>	Incerteza de Requisitos de Produção Futuros	
	Baixo	Alto
Baixo	<i>Layout</i> Dinâmico	<i>Layout</i> Reconfigurável
Alto	<i>Layout</i> Robusto	<i>Layout</i> Distribuído

Figura 2: Tipos de *layout* de acordo com incerteza de requisitos de produção futuros e custo de re-*layout* (Adaptado de BENJAAFAR *et al.*, 2002)

Segundo Benjaafar *et al.* (2002), é consenso que as configurações de *layout* existentes não atendem às necessidades de empresas multi-produtos e que há a necessidade de uma nova geração de *layouts* de fábrica que sejam mais flexíveis, modulares e fáceis de reconfigurar. *Layouts* convencionais, como por processo, produto, celular e posição fixa, ilustrados na Figura 3 e introduzidos na seqüência, não atendem a estas necessidades. Estes são tipicamente projetados para um *mix* específico de produtos e volumes de produção suficientemente estáveis (em períodos usualmente de três a cinco anos). Conseqüentemente, o desempenho do

layout se deteriora à medida que volumes de produção, *mix* de produtos e rotas de transporte variam.

No *layout por processo* os equipamentos são dispostos de acordo com sua função; todas as fresadoras, por exemplo, ficam juntas, assim como todos os tornos, todas as prensas perfuradoras, etc. Esta distribuição, também conhecida como *job-shop*, não favorece a implementação de conceitos de produção enxuta tais como o *just-in-time*. Isto se deve ao fato de que a fabricação de um componente costuma exigir diferentes operações que, por estarem separadas pela distância, dificultam uma rápida movimentação dos componentes (SCHONBERGER, 1993). Contudo, quando a variedade de produtos é alta ou os volumes de produção são baixos, o *layout por processo* é o que proporciona maior flexibilidade à manufatura (BENJAAFAR *et al.*, 2002).

O *layout por produto* é comum em operações de altos volumes de produção. Neste, os recursos são alocados de maneira a seguir a rota de processamento do produto. As principais vantagens de um *layout por produto* são: taxas rápidas de processamento, baixo inventário e menos trocas de ferramental e manuseio de materiais (KRAJEWSKI; RITZMAN, 2002). O *layout por produto* permite que as tarefas dos operadores sejam padronizadas e requer pouca habilidade da força de trabalho. Tradicionalmente, este tipo de *layout* é relativamente inflexível a mudanças de produto e, portanto, sensível a mudanças de mercado (WAINWRIGHT, 1996).

O *layout celular* se propõe a combinar a simplicidade operacional de um *layout por produto* com a flexibilidade de um *layout por processo*. O *layout celular* difundiu-se a partir do início de 1960 com o surgimento do conceito de tecnologia de grupo. A idéia é agrupar componentes em famílias de produtos de modo que um *layout* semelhante ao linear possa ser estabelecido para determinada gama de produtos (WAINWRIGHT, 1996).

No *layout de posição fixa* o produto é fixado em um local e trabalhadores, ferramentas e equipamentos deslocam-se até o produto para a execução das tarefas. Este tipo de *layout* é oportuno quando o produto é grande ou de difícil movimentação. Exemplos de aplicação incluem construção de prédios, montagem de locomotivas, construção de barcos ou aviões. Um *layout de posição fixa* minimiza o número de vezes que o produto deve ser movimentado (KRAJEWSKI; RITZMAN, 2002).

A Figura 4 apresenta uma comparação dos tipos básicos de *layout* no que diz respeito ao nível de habilidade de seus operadores, custo unitário de produção e utilização dos equipamentos (ASKINS; GOLDBERG, 2002).

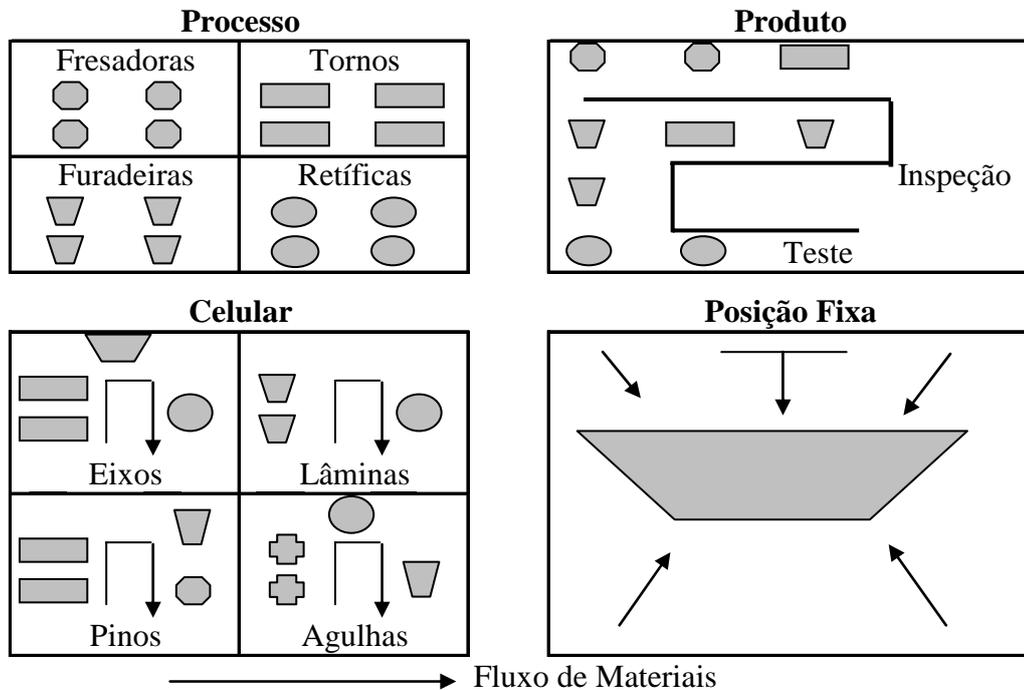


Figura 3: Tipos básicos de *layout* (Adaptado de ASKINS; GOLDBERG, 2002)

Característica	Produto	Processo	Celular	Posição Fixa
<i>Nível de Habilidade</i>	Baixo	Alto	Misto	Alto
<i>Custo Unitário Produção</i>	Baixo	Alto	Baixo	Alto
<i>Utilização do Equipamento</i>	Alto	Baixo	Alto moderado	Baixo moderado

Figura 4: Características dos tipos básicos de *layout* (Adaptado de ASKINS; GOLDBERG, 2002)

2.1.3 O Planejamento Estratégico de *Layout*

A nova realidade dos negócios ocasionou mudanças na estratégia competitiva e, conseqüentemente, tem mudado a natureza do trabalho e o que constitui a eficiência organizacional (PRICE, 1997). Historicamente, o desenvolvimento da estratégia das corporações era restrito a membros da diretoria das companhias. Conseqüentemente, as decisões eram na maioria das vezes tomadas sem que fosse analisado o impacto sobre a

manufatura e distribuição, bem como sobre os sistemas de informação, compras e sistemas de transporte. Como resultado, a estratégia havia de ser refeita, pois o impacto do plano sobre as pessoas, equipamentos e espaço não havia sido adequadamente avaliado, fazendo com que o custo do projeto aumentasse desnecessariamente, conforme ilustra a Figura 5 (TOMPKINS *et al.*, 1996).

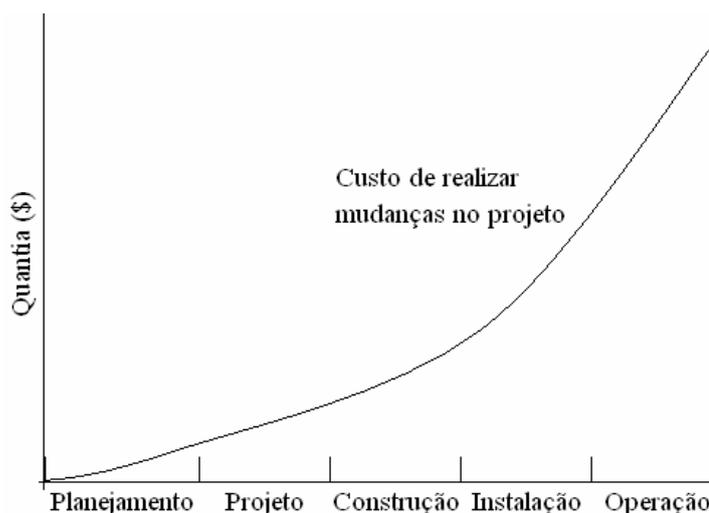


Figura 5: Curva de custo de alteração de projeto (Adaptado de TOMPKINS *et al.*, 1996)

Há um crescente reconhecimento que o planejamento do macro-espaço deve ser a alavanca para o planejamento de mercado e produto. Uma companhia que possui as instalações certas, no lugar certo e na hora certa, pode obter uma enorme vantagem competitiva. O planejamento de *layout* é importante, não só porque afeta todos os aspectos de lucro e retorno sobre o investimento, mas também porque seus efeitos continuarão se estendendo por longo período (VOS, 1986). Além disso, estabelece a organização fundamental da fábrica e os padrões de fluxo de materiais (LEE, 1998a).

Os níveis de sofisticação existentes em planejamento de *layout* coincidem com o porte do negócio e a capacidade das pessoas empregadas para sua avaliação (VOS, 1986). Geralmente, as companhias seguem dois tipos de estratégia de *layout*: a primeira é motivada por uma série de mudanças ocasionadas por reações que atendem a um curto prazo; a segunda está baseada em planos que são cautelosamente projetados para sanar as necessidades da organização por um longo período (KOVAC; THOMPSON, 1994).

Francis *et al.* (1992) colocam que os principais objetivos de um planejamento de *layout* seriam minimizar o investimento em equipamentos, o tempo geral de produção, os custos de transporte e a variação nos tipos de equipamentos de sistema de transporte, utilizar eficientemente o espaço existente, proporcionar aos funcionários segurança, conforto e conveniência, manter flexibilidade do arranjo e operações, facilitar o processo de manufatura e a estrutura organizacional.

Klein (2004) define o plano estratégico de uma empresa como um plano de dois a cinco anos que cobre todo um *portfolio* de espaço que se ajusta aos objetivos estratégicos baseados no negócio da organização. O autor faz ainda uma menção ao SFP (*Strategic Facility Planning*), o qual classifica como um sistema de apoio à decisão que auxilia a organização a tomar decisões maduras sobre suas instalações, identificando o potencial impacto destas sobre sua performance.

Kerns (1999) afirma que o SFP apóia a estratégia da corporação fazendo com que o projeto de *layout* satisfaça relacionamentos estratégicos. A Figura 6 apresenta os relacionamentos fundamentais que devem ser avaliados durante um projeto de *layout*. Com o cliente como foco da interação, as chances de que o projeto atenda adequadamente às necessidades da empresa são significativamente maiores. Segundo Wrennall (1999), somente uma estrutura de trabalho integrada, com a aproximação entre produtos e áreas de apoio à produção, pode proporcionar o atendimento ao cliente de uma maneira que não afete a estratégia do negócio.

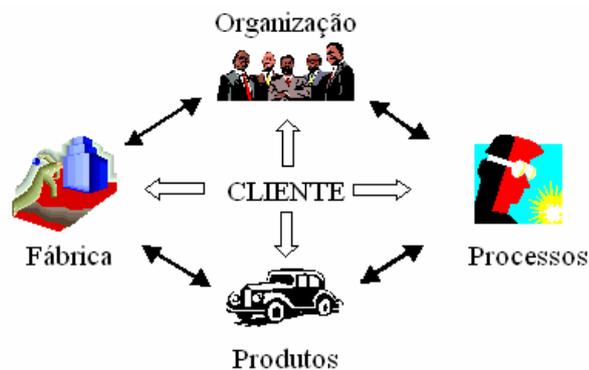


Figura 6: Relacionamentos estratégicos que devem ser favorecidos em um projeto de *layout* (Adaptado de KERNS, 1999)

Wrennall (1997) salienta que o projeto de *layout* de uma fábrica inclui os bens físicos da companhia que proporcionarão a capacidade operacional da organização. Além dos investimentos comprometidos em terrenos, prédios, equipamentos e planta fabril, o resultado deste projeto estabelece as restrições e oportunidades da produtividade futura da companhia.

Lee (1998a) sugere um modelo de planejamento estratégico para projetos de *macro-layout* dividido em três grandes blocos: informação, estratégia e *layout*, como pode ser observado na Figura 7. Coletar informações ocupa em torno de cinquenta por cento do tempo e esforço requeridos para o projeto. Com informações suficientes sobre produto, processo e infraestrutura, desenvolve-se uma estratégia de manufatura. O *layout*, baseado na estratégia de manufatura, define as unidades de planejamento de espaço, SPU (*space planning units*), e como estas se distribuem na fábrica. Já Sly (1997) divide o planejamento de *layout* em cinco etapas: seleção do time de trabalho, avaliação do fluxo de informação orientado ao *layout*, estabelecimento de padrões de desenho, seleção de uma planta piloto e implementação da solução.

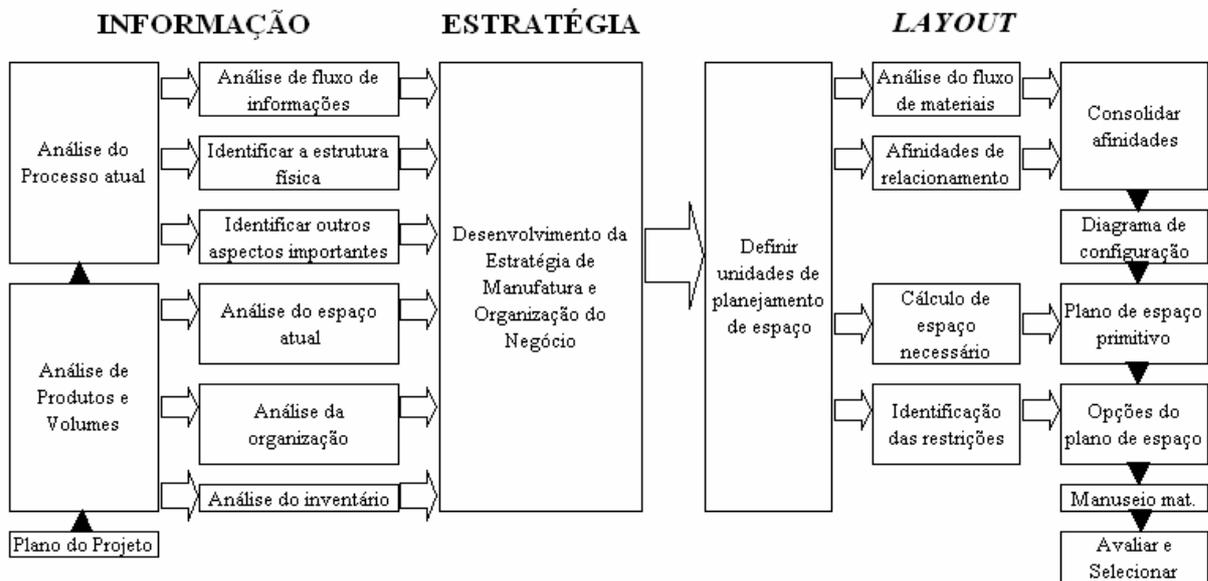


Figura 7: Modelo de planejamento de projeto de *macro-layout* (Adaptado de LEE, 1998a)

Wilde (1996) acrescenta que um completo e integrado planejamento de *layout* deve incluir as áreas destinadas aos funcionários, tais como: banheiros, vestiários, restaurantes, departamento médico, salas de entretenimento, sala de emergência, estacionamento e área para bicicletas. Assim, não só as áreas produtivas estariam em análise, mas sim, cada unidade de espaço e seu relacionamento com as demais.

2.1.3.1 Aplicações do Planejamento Estratégico de *Layout*

King (1989) descreve o caso da firma *Heery International*, especializada em serviços de projeto e gerenciamento de construções. Durante o planejamento de *layout* de uma empresa de produtos eletrônicos, a Heery organizou grupos de trabalho multidisciplinares, os quais foram decisivos para se obter diferentes percepções sobre o foco de projeto. Este se estendeu por quatro meses e foi dividido em cinco etapas: início do projeto, coleta de informações, desenvolvimento de soluções, avaliação das propostas e disseminação do plano estratégico.

A *Bellcore*, empresa de engenharia em telecomunicações, apresenta também exemplos de desenvolvimento de planos estratégicos visando um longo prazo. Com o objetivo de reconfigurar suas fábricas, uma equipe de gerentes da Bellcore, juntamente com um consultor de planejamento, conduziram um estudo estratégico, o qual tinha como objetivo (KOVAC; THOMPSON, 1994): (i) utilizar a visão dos gerentes para determinar as necessidades de espaço para a próxima década; (ii) identificar as inter-relações das diversas organizações da companhia e aproximá-las; (iii) avaliar o quão bem as instalações atuais da Bellcore iriam atender as necessidades de espaço e requisitos organizacionais para o futuro; (iv) desenvolver planos alternativos especificando quantas plantas deveria haver, onde se situariam e como as unidades organizacionais básicas deveriam ser estruturadas; (v) estabelecer um cenário realista para cada plano, levando em consideração o impacto da realocação, termos legais de posse e cronogramas; (vi) desenvolver um modelo custo-benefício para avaliar as conseqüências das alternativas de planejamento; e (vii) apresentar alternativas significantes para a diretoria da empresa, incluindo uma recomendação de estratégia em longo prazo.

Outro exemplo de planejamento estratégico é o caso do projeto da fábrica da *Volvo* em Uddevalla. O projeto desta planta iniciou em 1985 e, inicialmente, três grandes restrições foram identificadas: o tipo de produto (seu tamanho, número de componentes, etc.), a capacidade de produção estipulada em quarenta mil veículos por ano e limites orçamentários de projeto. Novamente, um grupo de trabalho multidisciplinar foi organizado para desenvolver alternativas de projeto que se adaptassem às restrições iniciais. Fatores como ergonomia, sistema de transporte de materiais e método de trabalho foram o foco de trabalho durante o projeto do *layout* da planta (ENGSTROM *et al.*, 1998).

Perkins *et al.* (1988) relatam o caso da *Digital Equipment Corp.*, a qual visava transformar o antigo depósito de armas do exército americano em uma moderna unidade

manufatureira. Algumas limitações de projeto influenciaram diretamente o plano, tais como: por se tratar de um prédio histórico, alterações na sua fachada e arredores eram proibidas; a reconstrução interna deveria suportar equipamentos de alta tecnologia e o plano de distribuição destes equipamentos deveria considerar os problemas de fluxo de material devido aos diferentes níveis do prédio. Assim, além da limitação de área, o sistema de transporte interno deveria ser re-estudado de modo a proporcionar um eficiente atendimento às estações de trabalho. Planos estratégicos de crescimento de demanda e rotas de abastecimento foram desenvolvidos a fim de se obter um *layout* coerente com as limitações existentes.

Já Polakoff (1990) comenta o caso da *Transilwrap Corporation*, empresa do ramo de plásticos. Esta possuía duas plantas: uma em Richmond e outra em Chicago. Estas plantas possuíam diferentes processos e produtos, contudo seus problemas operacionais eram semelhantes. Cada divisão necessitava expandir suas operações produtivas, porém estavam limitadas ao espaço físico de seus prédios e instalações. Baseado nisto, o então presidente da companhia reuniu seus departamentos de vendas, *marketing*, manufatura e controladoria de ambas as plantas e requisitou um plano operacional com as necessidades de manufatura e distribuição para os próximos cinco anos. O resultado foi um plano de expansão de cinco anos no qual seria necessário desenvolver aproximadamente quarenta e cinco mil metros quadrados de área para manufatura e distribuição para ambas divisões. A solução encontrada incluía a compra de uma nova área que consolidasse ambas as divisões em um único prédio. Entre os benefícios esperados devido à consolidação das divisões estavam: taxas de energia mais baixas, trabalhadores melhor treinados e multifuncionais, redução no custo dos materiais e redução no custo de mão-de-obra indireta devido comunização de funções.

Gopalakrishnan *et al.* (2004) apresentam o planejamento de *layout* em uma empresa metalúrgica de médio porte localizada na Pensilvânia, EUA. Esta empresa produz carenagens para caminhões e utiliza mais de 150 tipos de material. Para este tipo de sistema de manufatura, é importante planejar a área para armazenagem de matéria-prima e *work-in-process* de maneira a minimizar os níveis de inventário. O tipo de atividade manufatureira desta empresa pode ser classificada como dinâmica e, portanto, o *layout* deve atender seus requisitos. O rearranjo proposto após o planejamento de *layout* diminuiria em 42% o tempo anualmente despendido em movimentação e manuseio de materiais, bem como reduziria em 25% a área produtiva, proporcionando uma melhor utilização da área fabril.

2.1.4 Métodos de Auxílio ao Projeto de *Layout*

Os métodos tradicionais de auxílio ao projeto de *layout* de fábrica parecem seguir uma mesma linha de desenvolvimento (VOLLMANN; BUFFA, 1966). Basicamente, duas abordagens têm sido largamente utilizadas no projeto de fábrica: qualitativa e quantitativa. A abordagem qualitativa proporciona soluções baseadas nas taxas de relacionamentos entre os departamentos de uma empresa. A abordagem quantitativa envolve a minimização do custo total de movimentação de materiais entre departamentos. Uma classe importante de métodos de auxílio ao projeto de *layout* considera o *layout* inicial e tenta melhorá-lo por sucessivas mudanças de posicionamento; a mudança que produzir a melhor solução é retida e o procedimento continua até que a solução não possa mais ser melhorada (SHA; CHEN, 2001).

Os métodos analíticos de solução do problema do *layout* são utilizados de maneira a estimular a fase de pesquisa e projeto. Apesar do emprego de modelos padronizados, um número relevante de fatores não-quantificáveis são ignorados. Conseqüentemente, em muitas situações as soluções obtidas através dos modelos devem ser submetidas a diferentes avaliações, de modo a serem considerados todos os critérios relevantes (FRANCIS *et al.*, 1992).

Um método de projeto de *layout* bastante comum é reunir uma equipe de trabalho de uma companhia e desenvolver soluções baseadas em sua experiência e criatividade. Todas as soluções seriam avaliadas de acordo com critérios pré-estabelecidos e a melhor seria selecionada, em um processo puramente visual, que pode resultar tedioso e demorado. Contudo, em comparações feitas entre soluções obtidas através de algoritmos computacionais e métodos visuais humanos, os resultados mostraram que a solução desenvolvida por métodos visuais apresentou o melhor desempenho (CANEN; WILLIAMSON, 1998).

Já as soluções encontradas através de algoritmos formais usualmente necessitam de refinamentos de maneira a satisfazer requisições de projeto, como forma dos departamentos, sistemas de manuseio de material, questões ergonômicas, estoques de *work-in-process*, utilização de área, etc. (YANG *et al.*, 2000). Tipicamente, sua eficiência é medida em termos de custos de manuseio de material. Estes são determinados pelos seguintes parâmetros: fluxo interdepartamental, f_{ij} (fluxo do departamento i para o departamento j); custo unitário, c_{ij} (custo de movimentar uma unidade de carga por uma unidade de distância de i para j); e taxas de relacionamento departamental, r_{ij} (valor numérico da taxa de relacionamento entre os departamentos i e j) (MELLER; GAU, 1996).

Um resumo da pesquisa realizada sobre o problema de *layout* durante 1986-1996 é apresentado no Apêndice A, onde 91 artigos publicados sobre modelos e algoritmos são classificados de acordo com o esquema apresentado na Figura 8. Os artigos são apresentados em ordem cronológica. O esquema de classificação na Figura 8 estabelece as tendências de cada item e divide em três grandes áreas a pesquisa de *layout*. A primeira envolve algoritmos para resolução do problema do *layout* de fábrica. A segunda cobre extensões do problema, adicionando critérios como *layouts* dinâmicos, cenários estocásticos ou avaliações multicriteriais. A terceira área considera os casos especiais do problema (MELLER; GAU, 1996).

A. Modelos e Heurísticas de *Layout* de Fábrica para um *Layout* de Blocos

1. Modelos
 - a. QAP
 - b. Gráfico-teórico
 - c. Programação mista-inteira
2. Heurística
 - a. QAP
 - b. Gráfico-teórico
 - c. Programação mista-inteira
 - d. QAP (somente departamentos de áreas iguais)

B. Extensões dos Modelos de *Layout* de Fábrica

1. *Layout* Dinâmico
 - a. Modelo
 - b. Heurística
2. *Layout* Estocástico
 - a. Modelo
 - b. Heurística
3. *Layout* Flexível, Robusto e Multicritério
 - a. Modelo
 - b. Heurística

C. Casos Especiais

1. *Layout* em Linha e *Loop*
 - a. Modelo
 - b. Heurística
2. *Layout* de Máquina
 - a. Modelo
 - b. Heurística
3. *Layout* Celular
 - a. Modelo
 - b. Heurística

Figura 8: Esquema de classificação de pesquisa de *layout* de fábrica (Adaptado de MELLER; GAU, 1996)

Novos métodos de planejamento de *layout*, implementados em programas computacionais, têm gerado grandes mudanças na análise e projeto de *layouts* fabris (SLY, 1997). A literatura é rica na área de *softwares* para o problema de *layout*. Alguns destes estão disponíveis comercialmente, enquanto outros somente são encontrados na Academia. A Figura 9 traz uma tentativa de apresentar, em uma ordem cronológica, os *softwares* mais representativos para o problema de *layout* entre 1963 e 1992. Cada bloco contém o nome do programa e ano, seguido pelo nome de seu autor. É importante ressaltar que o CRAFT, desenvolvido por Armour e Buffa, foi o primeiro programa desenvolvido para fins comerciais (CANEN; WILLIAMSON, 1998).

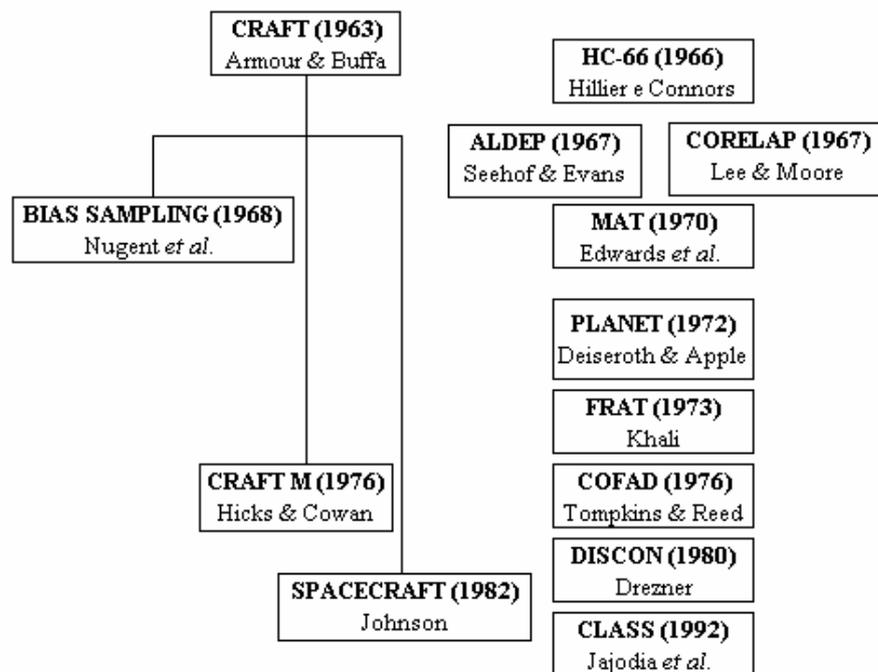


Figura 9: Lista cronológica de *softwares* desenvolvidos para o problema de *layout* (Adaptado de CANEN; WILLIAMSON, 1998)

As subseções que se seguem têm por objetivo proporcionar a descrição de alguns dos métodos mais citados na literatura relacionada ao problema de *layout* de fábrica. É fundamental reafirmar que estes métodos são voltados para o planejamento do macro-espço. Portanto, ferramentas que auxiliam no projeto de micro-*layout*, como balanceamento de linhas ou formação de famílias de produtos, não estão incluídas na seqüência.

2.1.4.1 CRAFT

Introduzido em 1963 por Armour e Buffa, o CRAFT (*Computerized Relative Allocation of Facilities Technique* ou Técnica para Alocação Relativa Computadorizada de Recursos de Infra-estrutura) é um dos algoritmos de *layout* mais antigos apresentados na literatura. O CRAFT usa uma planilha *de-para* como interface de entrada para o fluxo. O custo do *layout* é medido por uma função objetivo baseada na distância de acordo com a equação (1). Os departamentos não são restritos a formas retangulares. O CRAFT inicia determinando o centróide de cada departamento do *layout* inicial e calculando a distância retilínea entre pares de centróides de departamentos (TOMPKINS *et al.*, 1996). Além disso, dado um *layout* inicial, um *layout* melhorado é buscado alterando de duas e/ou três formas as entidades posicionadas no *layout* (JACOBS, 1987).

$$\min z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} c_{ij} d_{ij} \quad (1)$$

onde:

f_{ij} = fluxo do departamento i para o j expresso em número de unidades de produto por unidade de tempo;

c_{ij} = custo de mover uma unidade do produto por uma unidade de distância do departamento i para o j ;

m = número de departamentos;

d_{ij} = distância do departamento i para o j .

2.1.4.2 *Layout* Multi-nível

O problema do *layout* multi-nível envolve todos os aspectos do *layout* simples, além de incluir fluxos verticais e restrições individuais de área para cada nível. Apesar de não ser um problema tão comum quanto o *layout* simples, a partir da década de 90 muitas firmas passaram a buscar a verticalização de seu parque fabril, principalmente nos casos onde as áreas são limitadas. Meller e Bozer (1997) propõem um método de duas fases para

determinação do *layout* multi-nível: na primeira fase se define em quais níveis cada departamento será alocado a fim de se reduzir as movimentações interníveis; na segunda fase, define-se como será o *layout* de cada nível. Este método reduz o espaço possível de soluções e guia a segunda fase para uma solução quase ótima.

MULTIPLE (*Multi-floor Plant Layout Evaluation* ou Avaliação do *Layout* de Planta Multi-nível) é um algoritmo de *layout* desenvolvido para problemas de *layout* multi-nível que permite a troca de posição entre dois departamentos dentro de um mesmo nível ou entre níveis, desde que haja área suficiente e que não sejam divididos os departamentos (MELLER; BOZER, 1997). O algoritmo utiliza uma planilha *de-para* e um *layout* inicial especificados pelo analista. (TOMPKINS *et al.*, 1996).

Johnson (1982) propõe o SPACECRAFT, o qual é um método computacional para alocar departamentos em um prédio multi-nível. Este é baseado na mesma heurística do CRAFT. O programa já foi utilizado para alocar departamentos em casos como o prédio administrativo de cinquenta e quatro andares de um banco na Califórnia. O uso do programa resultou em uma economia de movimentação anual de US\$150.400,00 para o banco.

2.1.4.3 Simulação computacional baseada em teoria de filas

A teoria de filas teve origem no início dos anos 1900 e é adequada para modelagem de sistemas de manufatura nos quais *work-in-process* chega até a máquina, é armazenado por determinado período, processado pela máquina e encaminhado até a máquina ou processo seguinte. Wainwright (1996) apresenta a utilização da teoria de filas no auxílio ao projeto de *layouts* por processo, produto e celular, e compara os tempos de espera e custo de movimentação de material para os três tipos de *layout* em diferentes cenários de volume e *mix* de produção. Estes três tipos de *layout* são os mais utilizados em indústria do ramo metal-mecânica de autopeças, manufatura de peças e montagem de conjuntos (DALMAS, 2004).

2.1.4.4 SLP

O SLP (*Systematic Layout Planning* ou Planejamento Sistemático de *Layout*), desenvolvido por Muther em 1961, consiste em um procedimento estruturado por etapas com o intuito de planejar, identificar, visualizar e classificar as várias atividades, relações e

alternativas envolvidas em qualquer projeto de *layout* (MUTHER; WHEELER, 2000). O SLP, além de ser uma ferramenta que proporciona auxílio ao projeto de *layout*, é largamente utilizado por empresas e no meio acadêmico (CHIEN, 2004). Esta seção tem por objetivo apenas mencionar o SLP como uma das ferramentas mais utilizadas no auxílio ao projeto de *layout*, pois seu detalhamento será feito no Capítulo 3.

2.1.4.5 QAP

QAP (*Quadratic Assignment Problem* ou Problema de Atribuição Quadrático) é um método que busca uma solução que minimize os custos de movimentação de material entre todos os pares de departamentos existentes em uma fábrica. Os procedimentos heurísticos do QAP podem ser classificados como construtivos, de melhoria, enumeração, ou soluções heurísticas para problemas lineares. Sua formulação é (FU; KAKU, 1997):

$$\text{Min} \sum_{i,p} \sum_{j,q} f_{ip} d_{jq} x_{ij} x_{pq} \quad (2)$$

$$\text{sujeito a:} \quad \sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall i, \quad (3)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1 \quad \forall j, \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j$$

onde:

f_{ij} = fluxo do departamento i para o departamento j ;

d_{ij} = distância entre local i e local j (custo de movimentação de uma unidade de fluxo do departamento i para o departamento j);

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se o departamento } i \text{ estiver localizado em } j, \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

Como os departamentos de uma fábrica raramente possuem áreas iguais, uma maneira comum de contornar este problema é dividi-los em sub-departamentos com requisitos de área

iguais e introduzir altos valores de intensidade de fluxo entre os sub-departamentos de modo a garantir que estes serão posicionados juntos durante a modelagem do *layout* via QAP. Contudo, em virtude de sua complexidade, o QAP não é considerado um método prático para resolver problemas de *layout*, pois, em problemas onde mais de dezoito departamentos estejam envolvidos, geralmente não proporciona soluções ótimas (BOZER; MELLER, 1997).

2.1.4.6 *Layout* baseado em otimização via algoritmo genético

Elbeltagi e Hegazy (1999) apresentam um modelo simplificado em planilha para projeto de *layout* baseado em princípios de algoritmos genéticos. Algoritmos genéticos ou GA (*Genetic Algorithm*) são procedimentos de otimização inspirados em sistemas biológicos que são melhorados através da evolução. A teoria é a de que uma população de certa espécie irá, após várias gerações de evolução aleatória, adaptar-se para viver da melhor maneira em seu ambiente. Cada gene representa uma solução melhor ou pior que as demais. No problema de *layout*, um gene consiste em valores representando a posição de cada departamento.

O processo de otimização consiste em encontrar uma solução viável e, então, buscar melhorá-la trocando suas variáveis de maneira a encontrar outras soluções viáveis até que a função objetivo tenha encontrado seu valor mínimo. Para tanto, o auxílio de *softwares*, como o GeneHunter, podem agilizar o processo.

Neste método, qualquer departamento que possua forma irregular é modelado usando células da grade existente na planilha. Ainda, um departamento é modelado como uma única célula dentro da grade, podendo esta delimitar a área da planta da fábrica. O modelo proposto, ilustrado na Figura 10, lida com três tipos de objetos a serem posicionados na grade: departamentos que possam ser alocados em qualquer ponto da planta, departamentos fixos que não podem ser deslocados e possuem intensidades de relacionamento pré-estabelecidas e obstáculos que não possuem qualquer tipo de relação interdepartamental e limitam as áreas livres da planta (HEGAZY; ELBELTAGI, 2000).

Quando os departamentos de uma empresa possuem áreas desiguais, um grande número de alternativas de *layout* pode ser gerado. Tate e Smith (1995) sugerem o uso de algoritmos genéticos no auxílio à resolução de problemas de *layout* com departamentos de áreas desiguais. Neste, demonstram o quão afetada é a solução ótima pelas restrições de forma

dos departamentos e, assim, introduzem a função de perda de adaptação a fim de encontrar soluções razoáveis de acordo com as restrições.

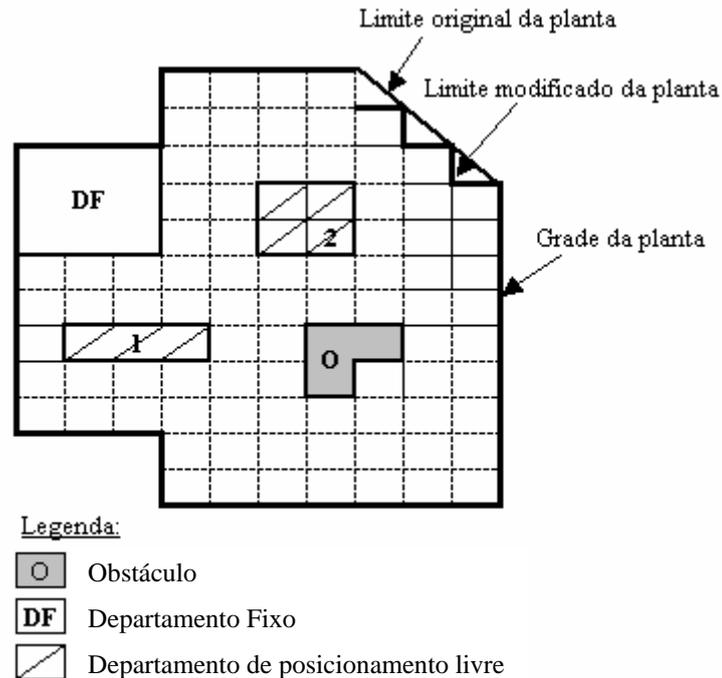


Figura 10: Representação de modelo de *layout* em planilha (Adaptado de HEGAZY; ELBELTAGI, 2000)

2.1.4.7 SPM

Kim e Kim (1998) sugerem o método SPM (*Space Partitioning Method* ou Método de Divisão de Espaço), o qual decodifica uma matriz de posicionamento em um *layout* por blocos. Neste método, a matriz de posicionamento é decomposta e a área da planta é dividida em blocos. Decompor a matriz de posicionamento em duas sub-matrizes corresponde a dividir a área em dois blocos. Se a matriz de posicionamento é separada verticalmente e decomposta em matriz esquerda e direita, a área da planta, então, é dividida em blocos direito e esquerdo. A área é dividida de tal maneira que a área de cada bloco é igual a soma das áreas dos departamentos incluídos na sub-matriz de cada bloco.

Um *layout* gerado pelo SPM satisfaz as limitações de área, mas nem sempre satisfaz as limitações de forma dos departamentos. A Figura 11 ilustra quatro departamentos (1, 2, 3 e 4) com áreas 1, 1, 2 e 2, respectivamente, que devem ser posicionados em um planta de dimensões 2×3 .

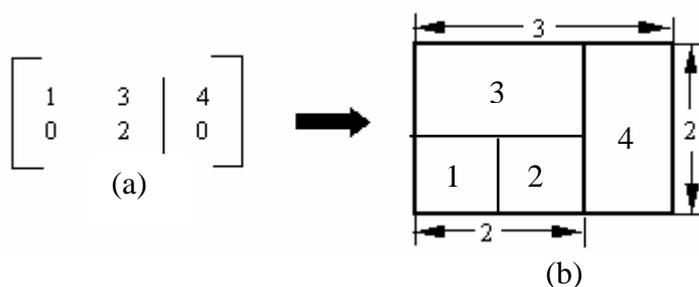


Figura 11: A decomposição e divisão; (a) matriz de posicionamento dos departamentos e (b) planta já com a área dos departamentos dividida (Adaptado de KIM; KIM, 1998)

2.1.4.8 BLOCPLAN

O BLOCPLAN, desenvolvido por Donaghey e Pire *apud* Tompkins *et al.* (1996), é um algoritmo que utiliza uma planilha de relacionamentos como dados de entrada. O custo dos *layouts* gerados pode ser medido em função da distância ou da adjacência entre departamentos. O BLOCPLAN pode ser usado como algoritmo de construção ou de melhoria, sendo que uma de suas limitações é a exigência de que todos os departamentos possuam formas retangulares. Primeiramente, o BLOCPLAN divide a área da planta em duas ou três faixas e distribui os departamentos entre estas faixas. Em seguida, a largura apropriada de cada faixa é determinada dividindo a área total dos departamentos inclusos na faixa pela largura da planta. O *layout* completo é formado re-arranjando os departamentos em cada faixa em uma seqüência específica.

2.1.4.9 DISCON

O DISCON é um algoritmo de projeto de *layout* que possui duas fases: dispersão e concentração. O funcionamento do algoritmo pode ser compreendido através da seguinte analogia. Sejam os departamentos de uma empresa discos sobre um plano, conectados por molas que representam o fator de custo de movimentação c_{ij} (custo de mover uma unidade do produto por uma unidade de distância do departamento i para o j). Os discos não podem se sobrepor pois uma força de repulsão elástica os afasta. Na fase de dispersão, colocam-se todos os discos em um determinado ponto e deixa-os “explodir” devido às forças de repulsão elástica. Na fase de concentração aproximam-se os discos, sem sobrepor, de acordo com o resultado obtido na fase de dispersão, pois, quando um par de departamentos é fortemente

ligado, estes tendem a permanecer próximos mesmo após a explosão. Assim, o arranjo final da fase de dispersão serve como um direcionamento para a distribuição dos departamentos na empresa (DREZNER, 1987).

2.1.4.10 Algoritmos de Seqüenciamento para Projeto de *Re-layout*

A necessidade de *re-layout* em uma planta pode ser causada por diversos fatores, tais como adição ou remoção de equipamentos, produtividade, segurança, qualidade e mudanças nos volumes de produção. Lacksonen e Hung (1998) propõem um modelo que minimize os custos de re-posicionamento e movimentação de material durante o *re-layout* dos equipamentos. Os custos de movimentar um departamento incluem mão-de-obra para atividades de preparação (instalação e desligamento dos equipamentos), mão-de-obra para movimentação física dos equipamentos e aumento dos estoques para compensar o período em que o equipamento estiver sendo movimentado.

O modelo de seqüenciamento de *re-layout* busca encontrar o período de início e término das atividades que minimize a duração total do projeto, sujeito às restrições de precedência, através de programação linear. Assim, um projeto de *re-layout* bem planejado irá minimizar o impacto financeiro e produtivo, permitindo que sejam feitas as alterações de posicionamento em um menor tempo possível (LACKSONEN; HUNG, 1998).

2.1.5 Análise Crítica da Literatura sobre *Layout*

A maioria dos métodos ou algoritmos de auxílio ao projeto de *layout* encontrados na literatura não são de fácil aplicação ou compreensão. Apesar de possibilitarem a geração de inúmeras propostas de *layout* em um curto espaço de tempo, a complexidade de seu manuseio faz com que não se justifique seu uso dependendo do nível de importância do projeto. Assim, para projetos de *layout* relativamente pequenos e com menor impacto sobre a fábrica, a utilização da experiência e criatividade de uma equipe de trabalho pode vir a agilizar o processo de geração de propostas e implementação em termos práticos. Contudo, para projetos de grande porte, que possuam conseqüências estratégicas a médio e longo prazo, o auxílio de técnicas estruturadas de *layout* torna-se necessário e aumenta a gama de propostas para os possíveis cenários. A Figura 12 ilustra uma consolidação das principais características de cada método de projeto de *layout* para fins de comparação.

MÉTODO	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS
CRAFT	Planilha <i>de-para</i> como dado de entrada
	Departamentos restritos a formas retangulares
	Distâncias entre os pares de centróides dos departamentos
MULTIPLE	Utilizado para <i>layouts</i> multi-nível
	Trocas de posição dos departamentos nos níveis ou entre níveis
SLP	Altamente utilizada
	Direciona o projeto de <i>layout</i> através de uma sequência de análises
QAP	Busca a minimização dos custos de movimentação
	Complexa utilização
Algoritmos Genéticos	Propício para <i>layouts</i> com departamentos de áreas desiguais
	Gera a solução final a partir de melhorias feitas na primeira alternativa
SPM	Nem sempre satisfaz as limitações de forma dos departamentos
	Área da planta dividida em blocos
BLOCPLAN	Departamentos restritos a formas retangulares
	Pode ser usado para construção ou melhoria de <i>layouts</i>
DISCON	Dividido em duas fases: dispersão e concentração
	Utiliza o fator custo de movimentação como critério de análise

Figura 12: Consolidação das principais características dos métodos de projeto de *layout*

2.2 ANÁLISE MULTICRITERIAL APLICADA AO PROBLEMA DO *LAYOUT*

Apesar do problema do *layout* de fábrica ser um tema de relativa importância acadêmica, a literatura sobre sistemáticas para a avaliação das alternativas de *layout* é relativamente limitada. A avaliação de uma alternativa de *layout* consiste em investigar suas características sob condições reais de tempo, espaço e informação. Assim, índices que permitam mensurar estas características são necessários de modo a tornar objetiva a avaliação de um *layout* e proporcionar a seleção da melhor alternativa (LIN; SHARP, 1999a).

2.2.1 Critérios de Avaliação de *Layouts* de Fábrica

Os índices quantitativos têm por objetivo permitir identificar o impacto e a influência resultante de um dado critério de avaliação sobre a alternativa de *layout*. Além disso, devem distinguir entre as diferentes configurações de *layout* relacionando-as aos critérios de avaliação e proporcionando uma seqüência consistente de preferências de alternativas (LIN; SHARP, 1999b).

Konz (1985) resume em três categorias os índices relevantes para o projeto de um *layout*: (i) baseados em taxas de utilização dos recursos de pessoas, equipamentos, espaço e energia; (ii) baseados em taxas de controle do gerenciamento de materiais e transporte; e (iii)

baseados em taxas de eficiência operacional para manufatura, estoque, recebimento e expedição. Contudo, Lin e Sharp (1999b) colocam que tais índices podem possuir limitações e deficiências como demandar parâmetros difíceis de serem obtidos na prática, detalhamento excessivo de dados ou dados apenas disponíveis após implementação do *layout*.

Lee (1988) introduz o índice de Esforço de Transporte (ou TW - *Transport Work*) que pode ser obtido pelo produto da intensidade de fluxo I e a distância D . Como o cálculo do TW pode consumir um tempo excessivo, normalmente este deve ser aplicado depois que as opções de *layout* estiverem finalizadas e com o auxílio de programas computacionais, para agilizar a análise. Aplicações evidenciaram que o TW permite que haja um refinamento nas alternativas de *layout* e uma diferenciação significativa entre estas.

Para ambientes de mercado onde *mix* e volumes de produção possam sofrer variações ao longo do tempo, Rosenblatt e Kropp (1992) detalham um índice de eficiência de adaptabilidade de cada alternativa de *layout* para diferentes cenários de demanda. Este índice, denominado de TEFP (*Total Expected Facility Penalty* ou Perda Esperada de *Layout*), é obtido através do produto da probabilidade de ocorrência de determinado cenário de demanda p_j e a perda de eficiência decorrida da aplicação de um *layout* projetado para um cenário i em um cenário j , somando-se estes resultados para todos os cenários possíveis; ver equação (5). Como resultado, pode-se considerar o TEFP como um valor de perda pelo uso de um *layout*, projetado para determinado cenário, sob outras condições de mercado. O melhor *layout* será aquele que possuir o menor TEFP.

$$TEFP = \sum_{j=1}^S p_j (C_{ij} - C_{jj}), C_{ij} \geq C_{jj} \text{ e } \forall i \neq j \quad (5)$$

onde:

C_{ij} = custo de usar o *layout* i (projetado para o cenário i) no cenário j

S = número total de cenários

Lin e Sharp (1999a) apresentam na Figura 13 uma classificação de critérios de avaliação de alternativas de *layout*. Esta se divide em três níveis hierárquicos, correspondendo a três grupos de critérios: custo, fluxo e ambiente.

Chiang *et al.* (2002) salientam a importância de se avaliar a influência dos fluxos de trabalho entre os diversos centros de atividade existentes na fábrica. A melhor alternativa de *layout* deve maximizar caminhos diretos de fluxo, isto é, evitar que haja interrupções durante o transporte ou intersecções com outros fluxos. O efeito das interrupções durante o transporte resulta em congestionamentos e intersecções indesejáveis. Além disso, as intersecções entre fluxos podem contribuir para danos e mistura de peças devido ao excesso de movimentação.

Das e Diaz (2003) ressaltam que durante avaliação de alternativas de *layout* deve-se verificar a coerência destas com o sistema de transporte de material existente na fábrica. Corredores, áreas de acesso, áreas de estoque, áreas de recebimento e expedição de materiais devem ser dimensionadas de acordo com o tipo de sistema de transporte de material utilizado e as políticas de estoque da empresa a fim de não prejudicar o fluxo de trabalho.

CUSTO	Não-Inventariado	Terreno
		Prédio
		Produção
		Maquinário
		Material
		Manuseio
		Equipamentos
		Manutenção
		Mão-de-obra
	Inventariado	Matéria-prima
	Estoques WIP	
	Estoques Componentes Acabados	
FLUXO	Espaço	Utilização de área
		Áreas livres
	Fluxo de Materiais	Corredores
		Distância e Densidade de Volumes
	Flexibilidade e Robustez	Expansão Predial
Robustez dos Equipamentos		
AMBIENTE	Arredores da Fábrica	Topografia e Topologia
		Ambiente da Comunidade
	Qualidade do Ambiente	Segurança dos operadores
		Conforto de trabalho
		Segurança patrimonial
	Acesso para manutenção	

Figura 13: Classificação de critérios de avaliação de alternativas de *layout* (Adaptado de LIN; SHARP, 1999a)

2.2.2 Ferramentas de Auxílio à Tomada de Decisão Multicriterial

A relevância de uma metodologia de apoio à tomada de decisão multicritério deriva do fato de que na maioria das situações em que se tem que decidir, não existe apenas um objetivo

e sim, vários pontos de vista a serem considerados, sendo eles geralmente conflitantes entre si. Por isso, o processo de decisão deve ser orientado por uma análise com métodos multicritérios para apoiar o decisor na escolha das alternativas. Tal análise visa auxiliar no processo de escolher, ordenar ou classificar as ações potenciais. Além disso, busca incorporar múltiplos aspectos nesse processo, ao invés dos métodos monocritérios da Pesquisa Operacional tradicional (MORAIS; ALMEIDA, 2002).

Segundo Vincke *apud* Moraes e Almeida (2002), existem algumas técnicas multicritério tais como: os modelos aditivos, que geram um critério único de síntese como o AHP e MAUT e os métodos de subordinação ou *outranking methods* como o *Electre* e o *Promethee*. Esses modelos e métodos seguem duas principais vertentes: a MCDM (*Multiple Criteria Decision Making* ou Tomada de Decisão de Critérios Múltiplos) pertencente à Escola Americana, e a MCDA (*Multicriteria Decision Aid* ou Ferramenta de Decisão Multicritério) pertencente à Escola Européia. A adoção de um desses modelos é normalmente justificada por argumentos ditados pela natureza do problema a ser analisado.

A abordagem de um critério único de síntese, basicamente ligada aos países de língua inglesa, pode ser ilustrada através do MAUT (*Multi-attribute Utility Theory* ou Teoria de Utilidade de Atributos Múltiplos). Nele, um determinado critério é transformado em uma função de utilidade (que exprime o quanto uma dada ação fornece de utilidade para os decisores, com relação ao aspecto que está sendo medido naquele critério). Um caso particular do MAUT é quando se utiliza o conceito de função de valor ao invés de função de utilidade. Essa abordagem é largamente utilizada no apoio à decisão em problemas econômicos e financeiros. O método AHP (*Analytic Hierarchy Process* ou Processo Hierárquico Analítico) também pode ser classificado como de critério único de síntese (ENSSLIN *et al.*, 2001). Este método tem sido bastante difundido e será descrito nas subseções seguintes.

A abordagem de subordinação ou *outranking* surge nos países de língua francesa e aparece como uma contraposição à abordagem de critério único de síntese. Enquanto esta exige um nível elevado de informações e faz uso de pressupostos rígidos, a abordagem de subordinação evita propor hipóteses matemáticas excessivamente rígidas e perguntar questões excessivamente complexas aos decisores (ENSSLIN *et al.*, 2001).

Há, ainda, um outro tipo de abordagem que tem origem nos procedimentos de programação matemática, denominada abordagem do julgamento interativo. Esta visa otimizar simultaneamente mais de uma função objetivo, procurando a solução mais conveniente no espaço de soluções viáveis. Seus métodos estão baseados em uma seqüência

de julgamentos, realizados pelos decisores, sobre o desempenho requerido localmente em um determinado critério (ARBEL, 1994).

Uma vez que o processo de seleção de alternativas de *layout* envolve diferentes critérios de análise com pressupostos rígidos, a abordagem de um único critério de síntese se aplica eficientemente. Dentre os métodos existentes com este tipo de abordagem, o AHP seria o mais indicado pois possibilita a comparação entre os pares de alternativas para cada critério de análise gerando pesos entre as alternativas de acordo com o critério.

2.2.2.1 AHP

O AHP (*Analytic Hierarchy Process* ou Processo Hierárquico Analítico) desenvolvido por Saaty (1980) é um método de apoio à tomada de decisão multicritério, cujo processo básico de aplicação consiste em priorizar a importância relativa de n elementos de tomada de decisão em relação a um objetivo, através de avaliações parciais destes elementos, dois a dois, facilitando a análise pelos avaliadores. Através de um índice de consistência, verifica-se se os valores atribuídos a cada par de critérios estão coerentes (FRANCESCHINI & CABEL, 2003). O número excessivo de julgamentos necessários para estruturas hierárquicas complexas é apontado por Gonçalves *et al.* (2003) como uma das grandes dificuldades de aplicação do AHP.

Saaty (1980) define as seguintes etapas para a aplicação do AHP:

- a) Definir os critérios de decisão através de uma hierarquia de objetivos. A hierarquia é estruturada em diferentes níveis: desde o mais alto nível (objetivo principal), passando por níveis intermediários (os critérios e sub-critérios de avaliação dos quais os níveis subsequentes dependem), até o mais baixo nível (relação de alternativas para cada um dos critérios);
- b) Atribuir pesos aos critérios, sub-critérios e alternativas em uma matriz $n \times n$ onde serão comparadas as importâncias relativas, segundo uma escala apresentada na Figura 14. Para isto, o AHP utiliza comparações para cada par de alternativas i e j em relação ao nível imediatamente acima. Deste modo, são necessárias $n(n-1)$ avaliações (uma para cada par de elementos da matriz), uma vez que as recíprocas são automaticamente designadas;

Atributo	Interpretação
1	Objetivos i e j têm igual importância
3	Objetivo i é moderadamente mais importante que j
5	Experiência indica que objetivo i é mais importante que j
7	Objetivo i é fortemente mais importante que j
9	Objetivo i é absolutamente mais importante que j
Valores intermediários - por exemplo, um valor de 8	
2, 4, 6, 8	significa que o objetivo i é entre forte e absolutamente mais importante que j

Figura 14: Interpretação dos atributos de prioridade entre pares de objetivos i e j (Adaptado de WINSTON, 1993)

- c) Uma vez que a matriz de julgamento foi estabelecida, calcular o vetor de prioridade a fim de determinar os pesos dos elementos. Este vetor é o autovetor normalizado da matriz de julgamento; e
- d) Calcular o índice de consistência ou CI (*Consistency Index*) e a taxa de consistência ou CR (*Consistency Ratio*) através das equações (6) e (7). Se $CR \leq 0,1$, então a consistência das avaliações é adequada. Caso contrário, a matriz $n \times n$ deve ser refeita e as etapas c , d e e devem ser repetidas.

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (6)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

onde:

$\lambda_{m\acute{a}x}$ = máximo autovalor da matriz de julgamento;

RI = valor aleatório médio correspondente de CI para um matriz $n \times n$ (ou *Random Index*), com valores dados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores de RI (Adaptado de WINSTON, 1993)

n	RI
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,51

2.2.2.2 Aplicação do AHP como Ferramenta de Análise Multicriterial de Projetos de *Layout*

Yang *et al.* (2000) propõem a utilização do AHP como ferramenta de auxílio à decisão para resolução do problema de *layout* de uma fábrica de semicondutores elétricos. Após a geração de inúmeras alternativas de *layout*, o AHP é, então, aplicado a fim de proporcionar a realização de uma avaliação multicriterial, incluindo aspectos qualitativos e quantitativos. No estudo de caso original oito categorias são usadas para avaliação do *layout*: (i) maximização da qualidade do processo, (ii) maximização da produtividade, (iii) maximização da flexibilidade de *layout*, (iv) maximização do fluxo de *work-in-process*, (v) maximização da capacidade fabril, (vi) maximização dos fatores humanos, (vii) maximização dos aspectos de manutenibilidade e (viii) minimização do impacto sobre o custo.

Yang e Kuo (2003) apresentam um estudo onde o AHP é utilizado para avaliar o desempenho qualitativo das propostas de *layout* de uma empresa que produz componentes eletrônicos em Taiwan. Três foram os critérios utilizados para a análise qualitativa: (i) flexibilidade do *layout*, o qual envolve a capacidade de se adaptar a diferentes condições operacionais e de mercado; (ii) acessibilidade, relacionada aos fluxos de pessoas e movimentação de materiais; e (iii) manutenção, que se refere aos espaços requeridos para movimentação de ferramentas próximas aos equipamentos. A partir destes critérios, as 18 propostas de *layout* existentes foram avaliadas e o processo de seleção direcionado para aquela que possuísse um melhor desempenho.

Lin e Sharp (1999a) apresentam a aplicação de uma estrutura integrada para avaliação do problema de *layout*. Esta estrutura visa corrigir deficiências de outros métodos de análise de decisão multicritério e utiliza características da estrutura hierárquica do AHP com o intuito de reduzir os esforços requeridos no processo de integração. Esta metodologia é então demonstrada em duas aplicações: uma empresa de equipamentos eletrônicos e uma empresa de manufatura de móveis. Ambas as empresas encontravam-se em processo de *re-layout* e possuíam diversas alternativas para o *layout* futuro da fábrica. A estrutura integrada para avaliação do problema de *layout* foi então utilizada para definir qual a melhor proposta para cada caso.

A seção seguinte destina-se a explanação da metodologia de planejamento de *layout* proposta para o presente trabalho.

CAPÍTULO III

PLANEJAMENTO SISTEMÁTICO DE *LAYOUT*

Neste capítulo apresenta-se de forma detalhada os procedimentos e as etapas do Planejamento Sistemático de *Layout*. O objetivo desta apresentação é fundamentar a metodologia de trabalho proposta no Capítulo 4, onde tal método será utilizado no auxílio ao planejamento de *layout* de uma empresa do ramo automotivo.

3.1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, o método mais utilizado em planejamento de *layout* tem sido o Planejamento Sistemático de *Layout* ou SLP (*Systematic Layout Planning*), desenvolvido por Muther (1961). O método tem sido aplicado à produção, transporte, armazenamento, serviços de suporte e atividades em escritórios, dentre outros. O procedimento do SLP é ilustrado na Figura 15. Uma vez coletada a informação apropriada, uma análise de fluxo pode ser combinada a uma análise de atividade a fim de desenvolver um diagrama de relacionamentos. Considerações de espaço, quando combinadas com o diagrama de relacionamento, levam a construção de um diagrama de relacionamentos de espaço. Com base no diagrama de relacionamentos de espaço, mudanças consideradas e limitações práticas, podem ser geradas e avaliadas um número de alternativas de *layout*. O procedimento pode ser dividido em três

grandes fases: Análise, Pesquisa e Seleção; sendo estas subdivididas em outras etapas (FRANCIS *et al.*, 1992). Estas etapas são descritas nas seções seguintes.

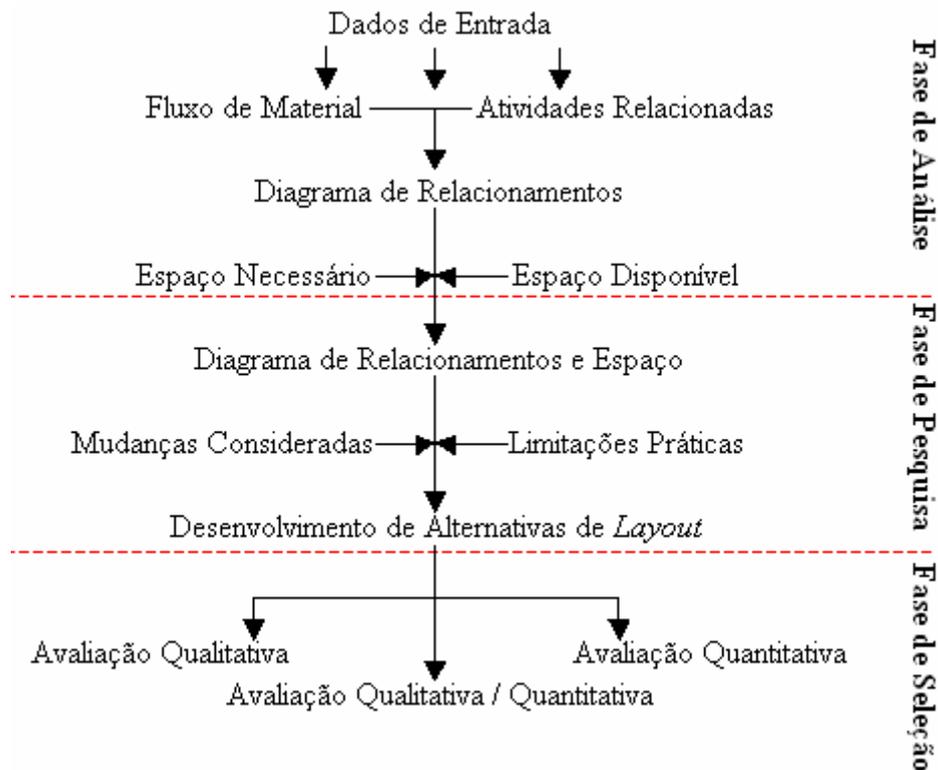


Figura 15: Procedimento do SLP (Adaptado de TOMPKINS *et al.*, 1996)

3.2 FASE DE ANÁLISE

3.2.1 Dados de Entrada

O primeiro conjunto de tarefas no planejamento sistemático de *layout* envolve a coleta de informações, tanto quantitativas quanto qualitativas, necessárias para desenvolver planos de macro-espço sólidos. Essa fase tem outro objetivo que pode ser mais profundo e menos óbvio: aumentar a conscientização em toda a organização e fazer perguntas difíceis que talvez muitos membros da organização não tenham considerado anteriormente (LEE, 1998a). Nesse momento, o processo de desenvolver apoio e consenso em relação ao resultado é iniciado e torna-se fundamental a correta escolha da equipe a ser envolvida durante o projeto. Esta deve

conter pessoas que sejam familiares com o processo, pertençam a diferentes departamentos e possuam diferentes experiências e percepções da fábrica (SLY, 1997).

Brooks (1998) sugere que, durante a coleta de informações, sejam consultadas as pessoas afetadas pelas possíveis mudanças a fim de contribuir com suas visões, opiniões pessoais e requisitos para o desenvolvimento do projeto. O envolvimento destas pessoas durante o projeto, geralmente, leva a um maior senso de propriedade e comprometimento com a mudança, o que facilita o processo posterior de avaliação das alternativas e aumenta a tolerância com relação a possíveis problemas que possam ocorrer após o término do projeto.

O SLP inicia, então, com uma análise de PQRST (produto, quantidade, rota, suporte e tempo) para todas as atividades produtivas envolvidas na fábrica. Esta análise proporcionará os dados de entrada do problema (YANG *et al.*, 2000).

A análise de produto-volume examina o contexto atual e futuro dos produtos e seus volumes, auxiliando a compreender a relação entre vários produtos. Os produtos de baixo e alto volume, por exemplo, podem exigir equipamentos e modos de produção diferentes. A análise também define necessidades futuras, ajuda a selecionar o melhor horizonte de planejamento e permite mudanças além do planejamento de espaço imediato (LEE, 1998a).

Esta previsão de mercado é convertida em demanda de produtos e as decisões de planejamento são tomadas tendo como referência a demanda de produção e sua probabilidade de ocorrência, como ilustra a Figura 16. Associada a estas decisões, está a determinação do número de máquinas requeridas para atender aos volumes previstos de produção. Dependendo do *mix* de produção e os volumes de cada produto, a estratégia de manufatura pode então variar quanto ao tipo de processo produtivo a ser aplicado. Assim, o *layout* será diretamente afetado pelas decisões referentes ao número de máquinas, tipo de processo e programação de produção (FRANCIS *et al.*, 1992).

A identificação dos processos de produção existentes estabelece se um componente é comprado ou fabricado, qual o tempo necessário de fabricação e qual o tipo de processo (montagem, usinagem, processamento químico, etc.). Além disso, determina o nível de integração vertical existente na empresa. Tal informação é tipicamente resumida em uma planilha de operações ou um fluxograma de processos que permite compreender a seqüência de processo e tempos necessários, bem como o tipo de equipamento utilizado na produção, como ilustra a Figura 17 (TOMPKINS *et al.*, 1996).

Produto ou Serviço	Estado Demanda	Primeiro Ano		Segundo Ano		Quinto Ano		Décimo Ano	
		Probabilidade	Volume	Probabilidade	Volume	Probabilidade	Volume	Probabilidade	Volume
A	Baixo	0,3	3.000	0,2	3.500	0,1	5.500	0,1	7.000
	Médio	0,5	5.000	0,6	5.500	0,8	8.000	0,9	10.000
	Alto	0,2	6.000	0,2	6.500	0,1	9.500		
B	Baixo	0,1	7.000						
	Médio	0,6	8.000	0,7	7.000	0,9	3.000	1,0	0
	Alto	0,3	8.500	0,3	8.000	0,1	3.500		
C	Baixo	0,2	2.000	0,2	2.000	0,2	2.000	0,2	2.000
	Médio	0,7	4.000	0,7	4.000	0,7	4.000	0,6	4.000
	Alto	0,1	4.500	0,1	4.500	0,1	4.500	0,2	5.000
D	Baixo			0,1	1.500	0,1	2.500	0,2	7.000
	Médio	1,0	0	0,9	2.000	0,8	3.000	0,6	8.000
	Alto					0,1	3.500	0,2	9.000

Figura 16: Exemplo de análise de mercado indicando natureza estocástica das demandas de produção futuras (Adaptado de FRANCIS *et al.*, 1992)

Companhia: Oep Produtos LTDA.
 Produto: Válvula de Escape
 Componente: Arruela de Pressão
 Material: Bronze

Preparado por: John McFrancis
 Data: 31/10/03
 Número do Componente: 0901
 Quantidade de Produção: 1500

Número Operação	Descrição Operação	Tipo de Máquina	Ferramentas	Tempo de Setup (min)	Tempo de Operação (min)
05	Tornear diâmetro externo	Torno multifuso 2 eixos	Inserto DWG806118	65	2,51
06	Furar	Furadeira CNC	Broca 3/16"	42	1,65
07	Temperar haste	Têmpera progressiva indutiva	Indutor de cobre 35 mm	38	0,98
08	Revenir	Forno de revenimento de passagem	Câmara revestida com polipropileno	53	5,56
09	Retificar diâmetro externo	Retífica CNC integral	Rebolo 4" x 3/16"	22	3,78

Figura 17: Exemplo de planilha de controle de processo para o produto válvula de escape (Adaptado de TOMPKINS *et al.*, 1996)

3.2.2 Fluxo de Material

A análise de fluxo se concentra em índices quantitativos de movimento entre departamentos ou centros de atividade. Uma vez que os dados relacionados a produto, processo e programação tenham sido obtidos, pode-se avaliar o fluxo de materiais, pessoas e equipamentos na planta. Dentre os fatores que afetam os padrões de fluxo pode-se citar meios de transporte externo, número de componentes por produto e operações por componente,

seqüência de operações para cada componente, número de sub-montagens e unidades a serem produzidas, fluxo necessário entre as áreas de trabalho, forma e quantidade de espaço disponível, influência de processos, tipos de padrão de fluxo, localização das áreas de serviço e apoio à produção, estoques de materiais, flexibilidade desejada, requisitos particulares de cada departamento e o prédio (FRANCIS *et al.*, 1992).

Para o efetivo planejamento de fluxo de materiais de uma fábrica, é importante seguir uma hierarquia no processo de análise. Primeiramente, se avalia o macro-fluxo da fábrica e, para tanto, é necessária a identificação de dois pontos: entrada ou recebimento e saída ou expedição de materiais. A Figura 18 ilustra alguns tipos de fluxo de material entre departamentos. O fluxo de material entre departamentos depende do fluxo dentro dos departamentos e este, por sua vez, depende do fluxo entre as estações de trabalho existentes (TOMPKINS *et al.*, 1996).

Assim, todos os fluxos de materiais no setor produtivo são agregados em uma planilha *de-para* que representa a intensidade de fluxo entre os diferentes departamentos ou centros de atividade (YANG *et al.*, 2000). Os dados apresentados nesta planilha devem ser relacionados a um escala de tempo, isto é, movimentos por hora, turno ou dia (WILDE, 1996). Vollmann e Buffa (1966) colocam que após a identificação dos fluxos de materiais é apropriado verificar se estes podem vir a sofrer alguma alteração futura de modo que os fluxos não dominantes, que são considerados exceções, tornem-se dominantes e vice-versa.

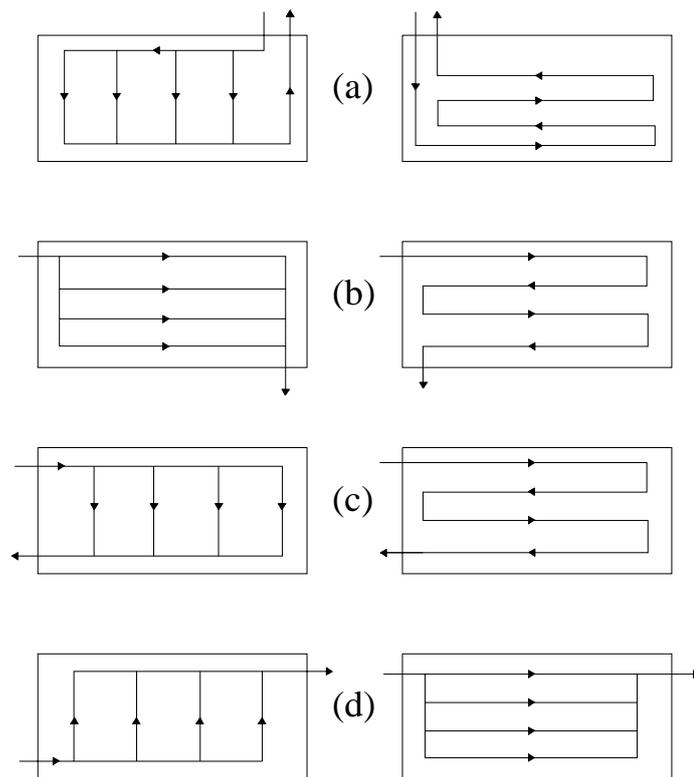


Figura 18: Tipos de fluxo dentro de uma fábrica considerando os locais de entrada e saída: (a) no mesmo ponto, (b) em lados adjacentes, (c) no mesmo lado mas em pontos opostos e (d) em lados opostos (Adaptado de TOMPKINS *et al.*, 1996)

3.2.3 Atividades Relacionadas

Kerns (1999) salienta a necessidade de se identificar os SPIs (*Space Planning Identifiers* ou Identificadores de Planejamento de Espaço), os quais representam uma função, departamento ou característica que demande espaço e tenha ou não relacionamentos de fluxo com outros SPIs. Um SPI pode ser composto por: um departamento funcional (unidades de pintura, solda, prensagem), uma área de estoque (estoque de ferramentas, embalagens), linhas de produção (células de montagem, usinagem) e objetos ou itens de um prédio (escadas, entradas, pilares, docas).

3.2.4 Diagrama de Relacionamentos

O diagrama de relacionamento determina os níveis de relacionamento entre os centros de atividade ou departamentos, isto é, quais SPIs possuem altos níveis de relacionamento e devem necessariamente ficar próximos, e quais possuem baixos níveis de relacionamento e

não precisam estar próximos (WILDE, 1996). Os níveis de relacionamento entre dois SPIs são definidos da seguinte maneira: “A”, que significa proximidade absolutamente importante, “E”, proximidade especialmente importante, “I”, proximidade importante, “O”, proximidade pouco importante, “U”, proximidade sem importância e “X”, proximidade não desejável (DEB; BHATTACHARYYA, 2003). A Figura 19 ilustra um diagrama de relacionamento de uma determinada fábrica. Neste diagrama, além dos níveis de relacionamento entre os SPIs, especifica-se os motivos pelos quais os pares de SPIs possuem tais níveis de relacionamento (MUTHER; WHEELER, 2000).

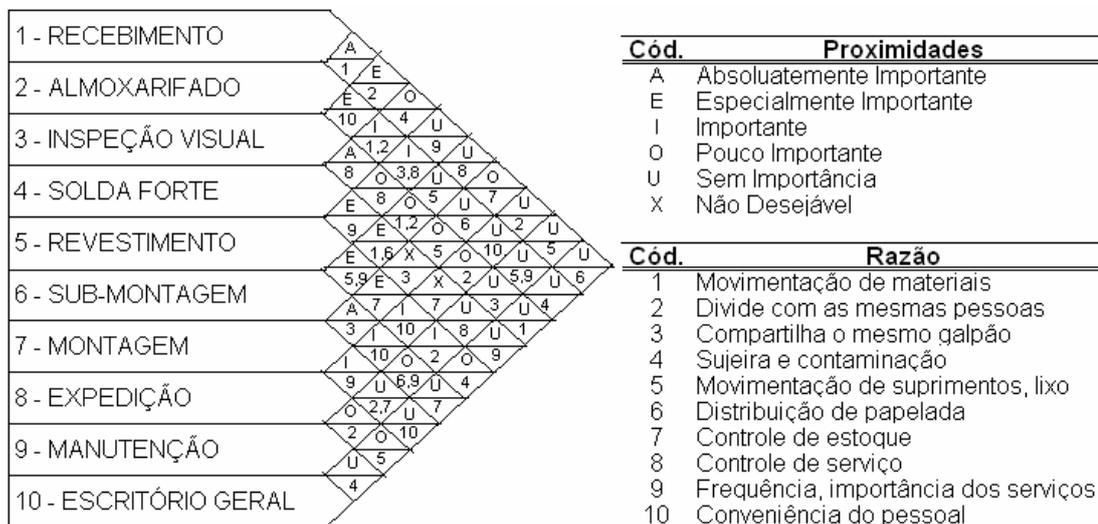


Figura 19: Exemplo de diagrama de relacionamentos (Adaptado de MUTHER; WHEELER, 2000)

Chien (2004) introduz o conceito de taxa de relacionamento média ou ARR (*Average Relationship Rating*) entre dois SPI's. Esta taxa é subdividida em ACR (*Average Closeness Rating* ou Taxa de Proximidade Média) e ASR (*Average Separateness Rating* ou Taxa de Separação Média). Um valor positivo de ARR é atribuído ao ACR, enquanto um valor negativo ao ASR. Quanto maior o ACR, mais próximos devem estar os SPI's, já quanto menor o ASR, mais separado devem estar os SPIs.

3.2.5 Espaço Necessário versus Espaço Disponível

A análise de espaço revela o espaço atual em uso. Os diagramas de espaço indicam se o *layout* existente é principalmente funcional, focalizado no produto ou uma combinação,

bem como os produtos que usam produção em linha ou celular e os que usam modos de *layout* funcionais. Essa análise de espaço também ajuda a definir células de *layout* posteriormente no projeto e pode ser a base de cálculos de necessidades de espaço da nova instalação (LEE, 1998a).

Antes de se iniciar a projeção de espaço, é essencial consolidar a visão de como a fábrica deveria ser, para que se possa determinar sua estrutura organizacional. O processo de projetar o espaço permite a implementação de mudanças na fábrica. Em situações práticas, é muito difícil estabelecer projeções de espaço com horizontes além de cinco anos. (SUSKIND, 1989).

Esta etapa envolve a determinação de espaço para cada SPI de modo a refletir seu crescimento, seja ele positivo ou negativo, de acordo com o horizonte de planejamento. Os SPIs adicionados dos requisitos de área tornam-se as SPUs (*Space Planning Units* ou Unidades de Planejamento de Espaço). A combinação entre as SPUs e o diagrama de relacionamento gera o diagrama de relacionamentos e espaço (KERNS, 1999).

3.3 FASE DE PESQUISA

3.3.1 Diagrama de Relacionamentos e Espaço

O diagrama de relacionamentos e espaço é projetado através da combinação das considerações de espaço com o diagrama de relacionamentos. A partir da análise do diagrama de relacionamentos, cada SPU é posicionada de maneira que seus níveis de relacionamento com as outras SPUs estejam identificados e suas necessidades de área proporcionalmente representadas (FRANCIS *et al.*, 1992).

A Figura 20 ilustra alguns tipos de morfologias utilizadas durante os projetos de *layout*. A Figura 20(a) simplesmente provê o posicionamento relativo dos SPIs. A Figura 20(b) apresenta o mesmo posicionamento relativo acrescentada das intensidades de relacionamento entre os SPIs. Já a Figura 20(c) contém, além das informações anteriores, a representação SPUs com suas proporções de área, a qual também é chamado de *layout* primitivo, pois não contempla as restrições práticas existentes (MONTREUIL *et al.*, 1993).

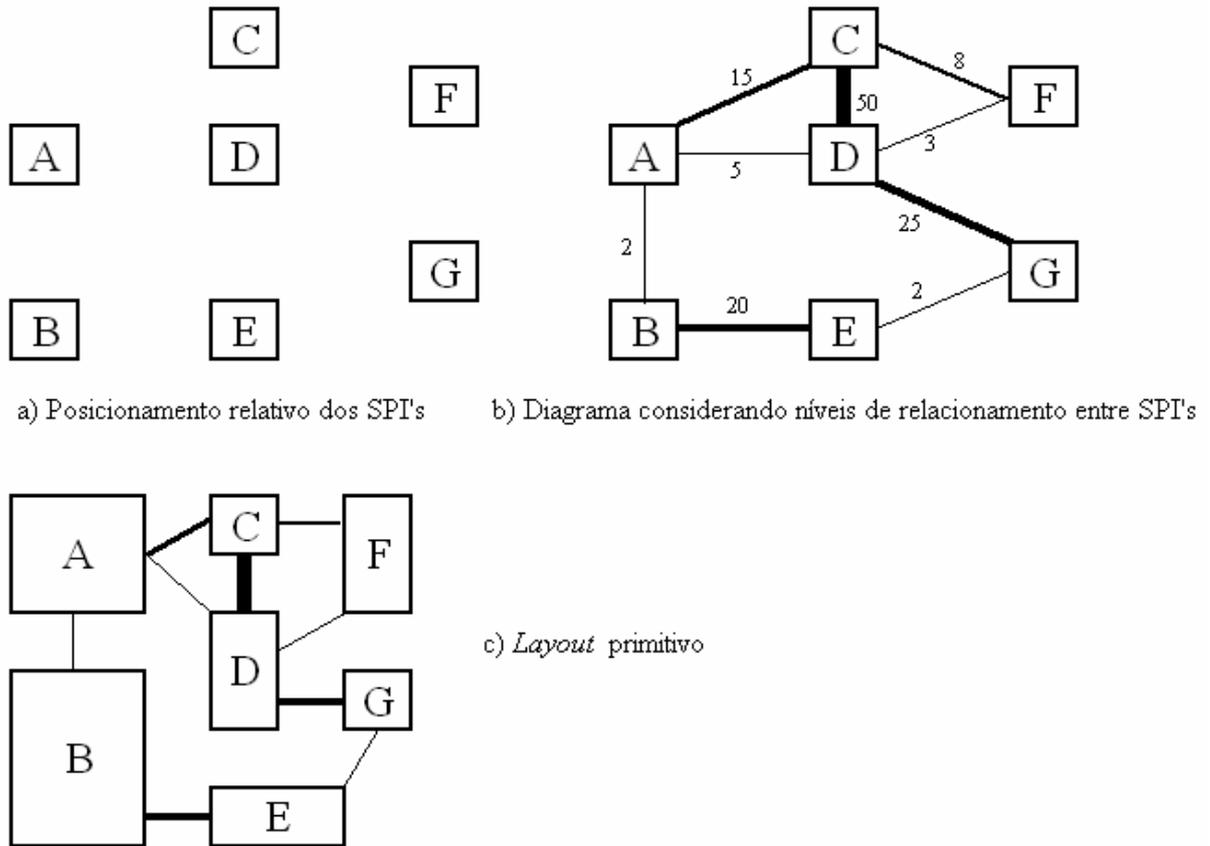


Figura 20: Diferentes morfologias para projetos de *layout* (Adaptado de MONTREUIL *et al.*, 1993)

3.3.2 Mudanças Consideradas e Limitações Práticas

Muitos fatores que afetam o planejamento de *layout* não se adaptam ao conceito de SPUs, espaço ou afinidades. Estes fatores podem ser classificados como limitações ou restrições de *layout*, tais como: (i) colunas e paredes existentes no prédio da fábrica, (ii) disponibilidade de energia elétrica, água, telefone para a fábrica e sua distribuição interna, (iii) necessidades de controle de temperatura e ambiente, (iv) peso e dificuldade de movimentação de certos equipamentos, (v) riscos de acidentes e ambientes insalubres e (vi) topografia do terreno da fábrica, entre outros (LEE, 1998a).

Lee (1998b) coloca que em um projeto de *layout* as limitações influenciam, em média, em 20% a menos a eficiência do *layout*, sendo a infraestrutura física a mais representativa para a localização das SPUs. O *layout* primitivo acrescido das limitações práticas é o que possibilitará a geração das alternativas de *layout*.

3.3.3 Desenvolvimento de Alternativas de *Layout*

O *layout* por blocos é uma representação diagramática do prédio e normalmente ilustra suas divisões internas e colunas (FRANCIS *et al.*, 1992). A preparação das alternativas de *layout* por blocos começa com a sobreposição do esboço do prédio ao *layout* primitivo. As SPUs são moldadas a fim de se ajustarem às características do prédio, possibilitando a geração de diversas alternativas de *layout* viáveis (LEE, 1998a). A Figura 21 ilustra diferentes alternativas de *layout* por blocos, com base nos *layouts* primitivos apresentados na Figura 20 (c) e simulando restrições de área do prédio e das SPUs.

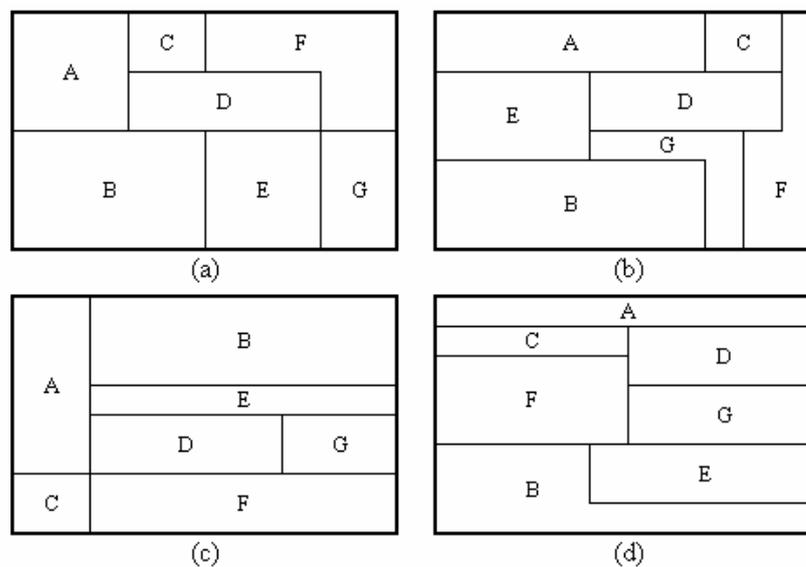


Figura 21: Diferentes alternativas de *layout* por blocos (Adaptado de MONTREUIL *et al.*, 1993)

Uma vez gerado um número razoável de alternativas de *layout*, pode-se encaminhar o processo de avaliação e seleção da melhor alternativa de *layout* e, assim, detalhar o *micro-layout* do prédio (FRANCIS *et al.*, 1992).

3.4 FASE DE SELEÇÃO

Uma vez que diversas alternativas de *layout* por blocos foram geradas, o processo de seleção do *layout* deve ser iniciado. Este deve ocorrer antes de haver o detalhamento das

alternativas (*micro-layout*). Os diferentes critérios utilizados no processo de seleção podem ser classificados em dois grupos: qualitativos e quantitativos (FRANCIS *et al.*, 1992).

3.4.1 Avaliação Multicriterial Qualitativa

Para a seleção de alternativas de *layout* onde os critérios de avaliação utilizados são qualitativos, tais como flexibilidade, manutenibilidade ou segurança, a ferramenta de análise multicriterial AHP (*Analytic Hierarchy Process* ou Processo Hierárquico Analítico) pode ser aplicada eficientemente. O detalhamento acerca do funcionamento desta ferramenta pode ser encontrado na seção II.

3.4.2 Avaliação Multicriterial Quantitativa

Em uma análise de decisão onde os critérios utilizados são quantitativos, como, por exemplo, custo de transporte e distância percorrida pelos materiais, a Função de Perda Quadrática é uma abordagem que pode ser utilizada eficazmente. Para o caso de seleção de alternativas de *layout*, a perda resulta aproximadamente proporcional ao quadrado do desvio da meta estabelecida para um certo critério de análise. No caso de haver mais de um critério, tem-se um somatório ponderado de perdas, conforme equação (8) apresentada por Feigenbaum (1994), a qual foi adaptada para a avaliação quantitativa.

$$L_i = k_1(y_1 - m_1)^2 + k_2(y_2 - m_2)^2 + \dots + k_n(y_n - m_n)^2 \quad (8)$$

onde:

L_i = perda associada com os desvios das metas dos critérios de análise para a alternativa i ;

y_i = valor medido para um critério de análise para a alternativa i em estudo;

n = número total de critérios de análise para a alternativa i em estudo;

m_i = valor meta para o i -ésimo critério de análise; e

k_i = coeficiente de perda que permite ponderar em importância do i -ésimo critério de análise.

3.4.3 Avaliação Multicriterial Qualitativa e Quantitativa

Boucher *et al.* (1997) apresentam uma metodologia de avaliação multicriterial que combina fatores qualitativos e quantitativos denominada NCIC (*Non-Traditional Capital Investment Criteria* ou Critério Não Tradicional de Investimento de Capital). A metodologia dispõe de algumas técnicas do AHP e foi concebida como uma alternativa às dificuldades encontradas no AHP quando aplicado para investimentos de capital. Apesar de as técnicas usadas em ambos os métodos serem muito similares, há diferenças no modo em que o problema decisório é apresentado para o decisor.

O AHP divide a hierarquia em duas: uma para fatores qualitativos e outra para fatores quantitativos. A razão para esta divisão é a diferença com que o método manuseia cada fator durante o processo de comparação par-a-par. Cada hierarquia é dividida em k categorias maiores que definem o desempenho do sistema (nível 2), como ilustra a Figura 22. Essas categorias são, então, divididas em critérios (nível 3) e no nível final da hierarquia tem-se i alternativas mutuamente exclusivas que estão sendo consideradas. O NCIC, ao contrário, posiciona as alternativas no nível 2, abaixo do objetivo principal como ilustra a Figura 23. Para cada alternativa a hierarquia é composta de categorias contendo os critérios que estão no nível final da hierarquia. O NCIC não requer diferenciação entre fatores qualitativos e quantitativos na hierarquia, contudo não há nada que previna o usuário de fazê-lo (BOUCHER *et al.*, 1997).

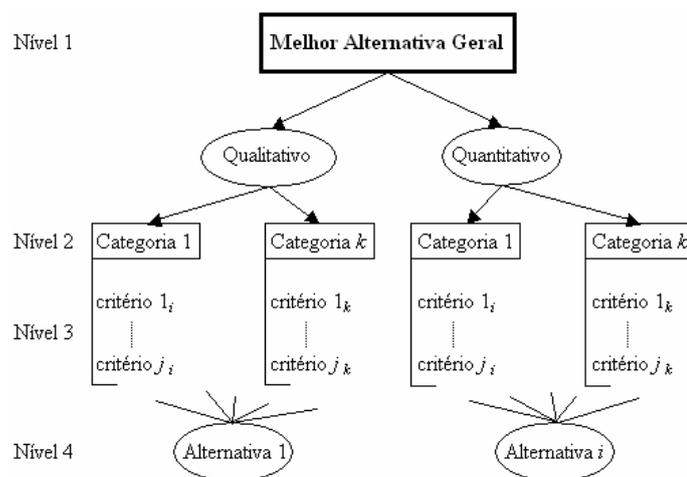


Figura 22: Os 4 níveis de hierarquia do AHP (Adaptado de BOUCHER *et al.*, 1997)

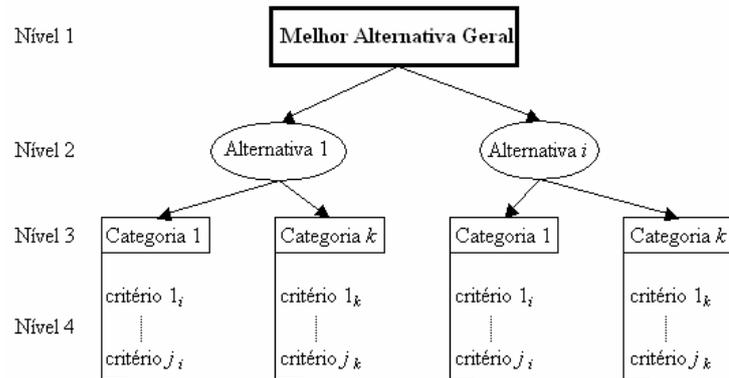


Figura 23: Os 4 níveis de hierarquia do NCIC (Adaptado de BOUCHER *et al.*, 1997)

Apesar de o método NCIC ser direcionado para a análise de fatores qualitativos e quantitativos, este possui maior aplicação em problemas voltados para tomadas de decisão em análises financeiras. Assim, o AHP é o método mais indicado no auxílio de tomadas de decisão envolvendo problemas de *layout* de fábrica.

CAPÍTULO IV

ESTUDO DE MACRO-LAYOUT EM UMA EMPRESA DO RAMO AUTOMOTIVO

Este capítulo destina-se à descrição dos resultados obtidos durante a pesquisa-ação definida para esta dissertação. A metodologia proposta no Capítulo III foi aplicada de maneira cooperativa com a GKN DRIVELINE, empresa metalúrgica do ramo automotivo que produz semi-eixos homocinéticos.

De origem inglesa, a empresa é líder mundial no fornecimento de componentes e sistemas de transmissão para a indústria automobilística e conta com 21 mil trabalhadores em 49 fábricas distribuídas por 31 países. No Brasil, fornece todas as montadoras de automóvel e cerca de 85% dos veículos produzidos no país são equipados com seus semi-eixos homocinéticos.

4.1 O PRODUTO

Antes de iniciar a descrição da pesquisa-ação realizada, faz-se necessário uma breve explanação sobre o produto em questão. O semi-eixo homocinético ou SEH tem por função transmitir a potência do motor do veículo para suas rodas, permitindo que haja o esterçamento das rodas durante curvas e o acompanhamento do sistema de suspensão do veículo sem perda de potência. Basicamente, o SEH pode ser dividido em três grandes partes: junta fixa, eixo interconector e junta deslizante, como ilustra a Figura 24.

A junta fixa é constituída por seis esferas, gaiola, anel interno R ou AIR e ponta de eixo. De todos estes itens, somente as esferas são compradas, sendo o restante fabricado na própria empresa em estudo. A junta fixa posiciona-se na roda do veículo possibilitando uma angulação que acompanhe os movimentos das rodas durante as curvas.

A junta deslizante possui diferentes configurações de acordo com o tipo de caixa de câmbio do motor. Existem 4 tipos de configurações: tulipa, monobloco, HSVL e anel externo V ou AEV. As configurações do tipo monobloco, AEV e HSVL possuem todas as seis esferas, gaiola e anel interno V ou AIV. Já a configuração do tipo tulipa possui apenas uma tripeça, a qual é o componente interno da junta. A função da junta deslizante é possibilitar a variação do comprimento do SEH visando acompanhar o sistema de suspensão do veículo.

O eixo é o elemento rígido que conecta ambas as juntas e permite a transmissão de potência do motor para as rodas. Dentre suas possíveis configurações, destacam-se os eixos maciços e os tubulares, sendo aplicados de acordo com as exigências técnicas do cliente. Há, ainda, outros componentes comprados que apenas na montagem final do SEH são incluídos como parte do produto.

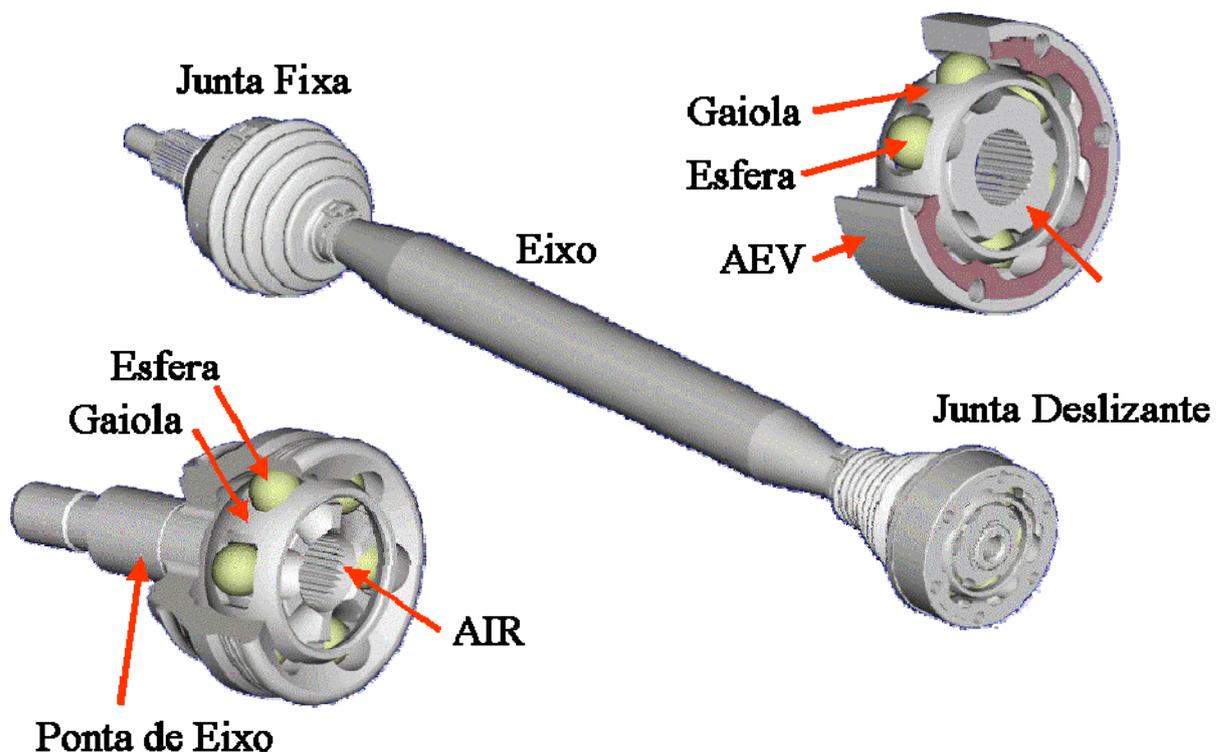


Figura 24: Desenho esquemático de um SEH (Fonte: GKN DRIVELINE, 2000)

4.2 FASE DE ANÁLISE

4.2.1 Dados de Entrada

Anualmente o departamento de vendas da GKN realiza uma análise de mercado, onde faz as projeções de demanda para o ano corrente e os próximos cinco anos. Esta previsão de demanda é o dado de entrada para a elaboração do plano de investimentos da empresa. Este plano compreende todo o investimento necessário para a obtenção de recursos para o atendimento do mercado, inclusive a aquisição de máquinas para aumento da capacidade produtiva.

Além das projeções de demanda, existe uma estratégia de manufatura mundial da GKN. Esta estratégia tem por objetivo direcionar a produção de SEH para as plantas que apresentem tecnologia adequada e vantagens financeiras. Assim, a verdadeira projeção de demanda é composta em parte por uma análise de mercado e em parte por decisões estratégicas de manufatura da alta cúpula da empresa.

Durante o ano de 2004, a GKN do Brasil passou a ser identificada, dentro da organização GKN DRIVELINE, como ponto estratégico de fornecimento de SEH devido à mão-de-obra abundante e barata, além das facilidades fiscais para empresas multinacionais, entre outros fatores. Isto provocou um aumento na demanda projetada e variedade de produtos existentes.

Esta estratégia de manufatura possibilitou que apenas alguns itens do SEH fossem fabricados no Brasil. Mais especificamente, podia-se fabricar apenas a junta fixa e exportá-la para Inglaterra, onde ocorreria a montagem final do SEH com os outros componentes. Além disso, alguns dos componentes que seriam exportados não necessitariam estar completamente prontos, ou seja, uma gaiola poderia ser torneada no Brasil, tratada termicamente nos Estados Unidos e retificada na Alemanha, por exemplo. Assim, o crescimento projetado de demanda para os componentes do SEH apresentou-se desigual, como ilustra a Tabela 2.

Em vista desta nova projeção de demanda, uma análise da capacidade produtiva da empresa se fazia necessária, de modo a garantir o atendimento do mercado e determinar o investimento necessário.

Tabela 2: Projeção de demanda anual para o ano de 2004 e os próximos cinco anos em número de peças

ÁREAS PRODUTIVAS	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2004 - 2009
TULIPAS	831.772	868.379	919.475	962.293	1.014.231	1.081.152	30%
HSVL	274.083	315.195	362.475	416.846	479.373	551.279	101%
MONOBLOCO	1.210.748	1.480.086	1.691.932	1.709.447	1.709.886	1.728.597	43%
AEV	1.752.338	2.004.002	2.019.023	2.036.588	2.093.792	2.108.156	20%
AIV	2.940.021	3.484.136	3.711.003	3.746.083	3.803.726	3.836.801	31%
PONTA DE EIXO	4.565.519	4.881.307	5.133.080	5.416.220	5.624.336	5.795.663	27%
CORTE DE TUBOS	7.883.383	8.912.384	9.393.979	9.717.067	9.985.762	10.190.538	29%
TORNOS GAIOLA	4.636.027	5.167.075	5.421.400	5.707.255	5.918.140	6.089.467	31%
TORNOS AIR	4.660.197	5.180.291	5.434.629	5.720.447	5.931.376	6.102.703	31%
TORNOS TRIPEÇA	1.903.988	1.968.139	2.033.659	2.148.155	2.284.642	2.460.438	29%
TRATAMENTO TÉRMICO	14.447.568	16.060.814	16.862.267	17.585.669	18.201.780	18.753.679	30%
RETÍFICAS AIR	4.194.177	4.662.262	4.891.166	5.148.402	5.338.238	5.492.433	31%
RETÍFICAS GAIOLA	3.247.356	3.745.309	3.972.579	4.009.812	4.067.622	4.101.071	26%
RETÍFICAS TRIPEÇA	1.903.988	1.968.139	2.033.659	2.148.155	2.284.642	2.460.438	29%
MONTAGEM	3.780.528	3.765.833	3.999.267	4.263.866	4.445.110	4.587.691	21%

4.2.2 A Formação de uma Equipe de Trabalho

Devido ao substancial aumento de demanda projetado para os anos seguintes, formou-se uma equipe de trabalho especialmente dedicada ao projeto de expansão da empresa. Durante a escolha dos membros desta equipe, procurou-se aproximar pessoas com diferentes formações e experiências, de modo a enriquecer culturalmente a equipe e obter diferentes percepções sobre o mesmo tema. Assim, além de representar uma oportunidade de aprendizado para os membros da equipe, pois estes foram deslocados de suas antigas áreas de trabalho para o projeto de expansão, a inexistência de vícios de trabalho permitia ampliar o seu potencial criativo.

A Figura 25 ilustra a antiga e nova atribuição de cada membro da equipe e quantos anos de empresa cada um possui. Devido à inexperiência da equipe com relação às técnicas de planejamento de *layout*, esta atribuição foi passada ao pesquisador, o qual estaria em constante contato com a equipe, interagindo com o meio de forma recíproca e possuindo livre acesso aos dados da empresa.

Além disso, através de reuniões semanais e apresentações formais para a diretoria da empresa, o andamento do projeto seria acompanhado e debatido. Durante estas reuniões, seriam convidados antigos funcionários não diretamente envolvidos no projeto de expansão, a fim de possibilitar a participação e integração com a estratégia de crescimento da empresa.

Antiga Atribuição	Nova Atribuição	Tempo de Empresa
Gerente de Manufatura	Instalações de Máquina e Equipamentos	30 anos
Gerente de Manufatura	Compra Técnica de Máquinas e Equipamentos	22 anos
Analista de Desenvolvimento de Produto	Compra Técnica de Máquinas e Equipamentos	7 anos
Chefe de Almoarifado	Elaboração do Plano de Investimento	15 anos
Analista de Processo	Análise de Capacidade Fabril	8 anos
Analista de Processo	Projetos de Automação de Equipamentos	11 anos
Diretor de Produto	Diretor de Planejamento e Expansão	25 anos
-	Analista de <i>Layout</i>	1 ano

Figura 25: Antigas e novas atribuições dos membros da equipe e seus respectivos tempos de empresa

4.2.3 Análise da Capacidade Fabril

A fábrica é dividida em quatro unidades de acordo com o tipo de componente produzido: (i) UMM (Unidade de Manufatura de Montagem), responsável pela montagem final do SEH, (ii) UMJF (Unidade de Manufatura de Junta Fixa), responsável pela fabricação da ponta de eixo e sub-montagem da junta fixa, (iii) UMJD (Unidade de Manufatura de Junta Deslizante), responsável pela fabricação de tulipa, monobloco, AEV e HSVL e sub-montagem da junta deslizante, e (iv) UMC (Unidade de Manufatura de Componentes), responsável pela fabricação de gaiolas, tripeças, AIRs e AIVs. Os eixos são fabricados em uma outra planta da GKN e são entregues prontos para a planta em estudo.

Cada unidade possui um tipo diferente de processo e capacidades produtivas distintas. Além disso, o tipo de *layout* de cada unidade difere, havendo *layouts* celulares, por processo e por produto. Assim, dependendo da unidade, o aumento de capacidade pode demandar a compra de uma única máquina ou de uma linha inteira de produção. A Figura 26 mostra o tipo de *layout* de cada unidade.

Unidade	Tipo de <i>Layout</i>
UMM	Celular
UMJF	Por Produto
UMJD	Por Produto
UMC	Por Processo

Figura 26: Tipos de *layout* das unidades produtivas

O aumento de demanda, de acordo com a Tabela 2, geraria gargalos em cada unidade produtiva. Segundo Goldratt e Cox (2002), gargalos de produção são os recursos que apresentam capacidade produtiva inferior à demanda. Os gargalos de produção são restrições estruturais do sistema, mas, além deles, podem existir outras restrições que ocorrem quando um recurso torna-se momentaneamente em uma restrição, como a quebra de uma máquina durante um determinado período reduzindo a capacidade daquela operação, por exemplo.

Para fins de cálculo de capacidade, a equipe considerou uma eficiência de máquina de 85%, isto é, admitiu-se haver 15% de perdas no processo produtivo reduzindo a capacidade teórica. Assim, conhecendo-se a demanda anual de cada produto e a capacidade teórica de cada recurso, montou-se uma seqüência de investimentos em máquinas necessárias para atender a demanda, de modo a eliminar seqüencialmente os gargalos de produção. Além disso, foi necessário estabelecer qual o padrão de máquina para cada processo durante os próximos anos, pois dependendo do tipo de máquina a capacidade difere e pode vir a comprometer o atendimento do mercado ou aumentar o investimento necessário.

4.2.4 Espaço Necessário *versus* Espaço Disponível

Uma vez estabelecidos os padrões de máquina de cada processo, a área necessária para cada máquina também poderia ser determinada. Assim, foram associadas áreas para cada unidade produtiva e determinadas as SPUs. A Tabela 3 compara as necessidades de área para cada unidade produtiva em relação às suas áreas existentes.

A partir do *layout* atual da planta, como ilustrado no Apêndice B, a equipe constatou não haver disponibilidade de área suficiente para alocar a quantidade de máquinas necessárias. Devido a insuficiente área predial disponível, foi então comprado o terreno contíguo ao existente.

O novo terreno, cuja área é de trinta e seis mil metros quadrados, possibilitaria a expansão predial da fábrica e a conseqüente alocação das novas máquinas. Contudo, um estudo sobre o novo *layout* da planta era fundamental para determinação do posicionamento de cada SPU.

Tabela 3: Áreas atuais e futuras de cada unidade produtiva

SETOR	ÁREA (m ²)		AUMENTO (%)
	2004	2009	
TULIPAS	945	1.415	50%
HSV L	365	1.095	200%
MONOBLOCO	955	1.940	103%
AEV	625	680	9%
AIV	625	675	8%
PONTA DE EIXO	4.575	7.225	58%
CORTE DE TUBOS	785	1.100	40%
TORNOS GAIOLA	400	850	113%
TORNOS AIR	585	645	10%
TORNOS TRIPEÇA	400	400	0%
TRATAMENTO TÉRMICO	570	850	49%
RETÍFICAS AIR	915	1.880	105%
RETÍFICAS GAIOLA	580	750	29%
RETÍFICAS TRIPEÇA	430	450	5%
MONTAGEM	1.640	2.900	77%

4.3 FASE DE PESQUISA

4.3.1 Fluxo de Materiais

A análise de fluxo de materiais foi separada em duas etapas: a primeira consistia em considerar a planta toda como uma única SPU e, então, estudar seu fluxo externo de materiais, isto é, sistema de distribuição e suprimentos de transporte; a segunda visava a divisão das unidades de manufatura em SPUs menores, de acordo com o tipo de *layout* de cada unidade, de forma a estabelecer um melhor fluxo interno de materiais.

4.3.1.1 Fluxo Externo de Materiais

Na análise de fluxo externo de materiais, a equipe necessitava entender como ocorria a entrada e saída de materiais na planta, os tipos de meio de transporte utilizados e as frequências de abastecimento e coleta na fábrica. Estas informações permitiriam a elaboração de propostas de *layout* condizentes com o sistema logístico de suprimentos e distribuição da empresa.

A partir da Figura 27, percebe-se que o maior trânsito de veículos se dava no almoxarifado, destino de 50% de todos os veículos que entravam na empresa. Além disso,

19% dos veículos eram utilizados para entrega de matéria-prima e coleta de produtos acabados, fazendo com que se dirigissem primeiramente ao almoxarifado e, após, à expedição de produtos. Havia ainda uma pequena parcela de veículos que tinham como função coletar resíduos sólidos e químicos da ETE (Estação de Tratamento de Efluentes). Com relação à entrega de itens alimentícios, aproximadamente 21% dos veículos destinavam-se ao restaurante da empresa.

A Figura 28 apresenta um histograma de frequência de entrada de veículos de transporte na empresa. Neste verifica-se que o fluxo de entrada de materiais na empresa ocorria de maneira desigual, havendo maior intensidade de trânsito durante o horário comercial (das 8:00 às 18:00 horas), a qual representava cerca de 72% das entregas e coletas de materiais. Isto evidenciava uma sub-utilização de recursos em outros horários, visto que a empresa trabalha em um sistema de três turnos por dia e a estrutura de apoio e administração de materiais disponível é igual para todos os turnos.

Na Figura 29 tem-se os tipos de veículos utilizados para transporte externo de materiais. Estes foram divididos de acordo com suas dimensões. Esta análise era fundamental para o dimensionamento das áreas de recebimento e expedição de materiais, pois dependendo do tipo de veículo, poder-se-ia adequá-las de acordo com a necessidade de utilização.

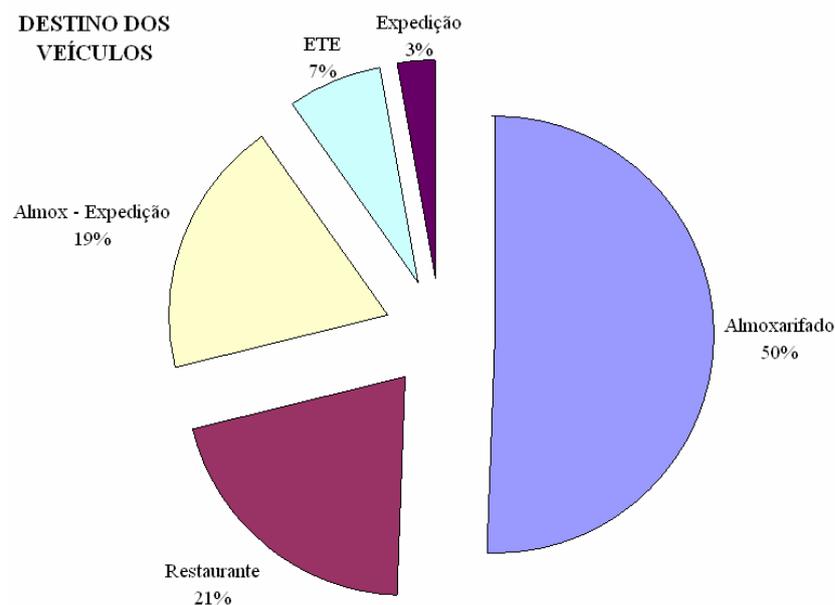


Figura 27: Análise do destino dos veículos de transporte que entram na empresa

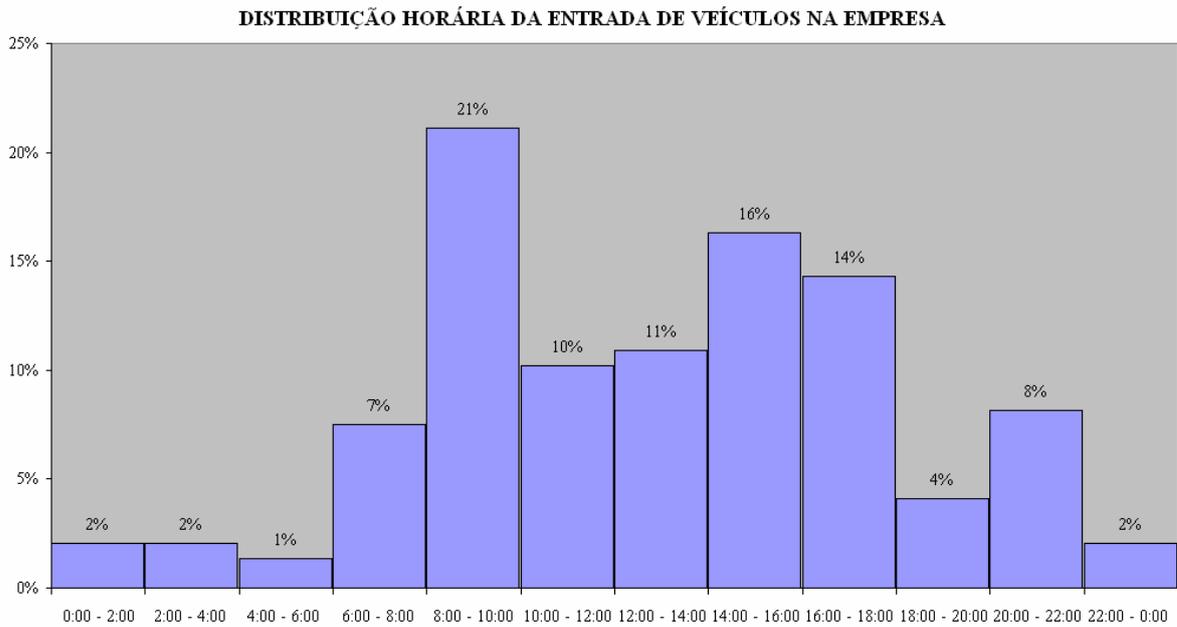


Figura 28: Histograma de frequência de entrada de veículos de transporte na empresa

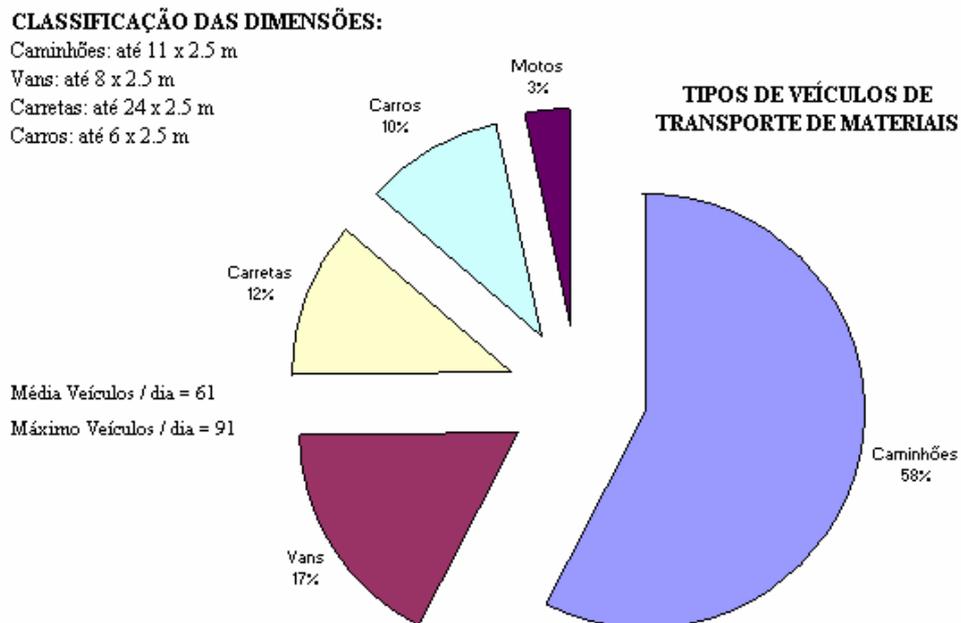


Figura 29: Tipos de veículos de transporte utilizados

4.3.1.2 Fluxo Interno de Materiais

Primeiramente, a equipe de trabalho buscou compreender a hierarquia entre os processos de manufatura, de modo a determinar qual a seqüência adequada de fabricação dos produtos. A representação do fluxo de processo está ilustrada no Apêndice C.

Após, junto aos representantes das áreas de manufatura, determinaram-se as intensidades de relacionamento entre as SPUs. Assim, a estrutura de comunicação entre o saber formal dos pesquisadores (dotados de certa capacidade de abstração) e o saber informal (baseado na experiência concreta dos participantes comuns) estaria sendo estabelecida. Durante esta definição, várias foram as divergências encontradas, principalmente com relação às opiniões dos representantes de manufatura. Coube ao pesquisador, então, mediar os diferentes pontos de vista de modo a obter um consenso entre os integrantes da equipe.

A partir desta análise, que demandou aproximadamente um mês para ser concluída, a equipe gerou um diagrama de relacionamentos entre as SPUs, como ilustra a Figura 30. Este permitiria priorizar a proximidade das SPUs de maior intensidade de relacionamento no desenvolvimento de alternativas de *layout*.

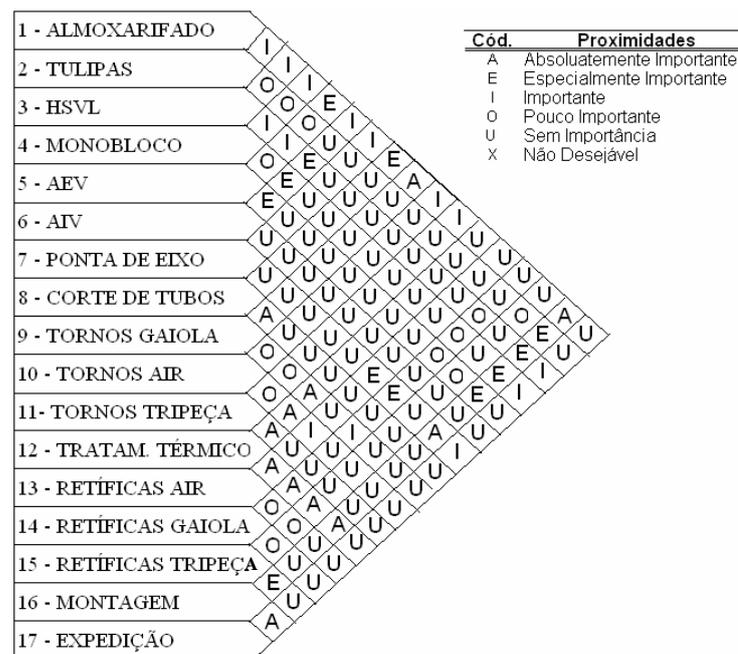


Figura 30: Diagrama de relacionamentos das SPUs (Fonte: GKN, 2004)

4.3.2 Fluxo de Pessoas

A análise do fluxo de pessoas consistiu em verificar a infra-estrutura necessária para possibilitar o acondicionamento de um maior número de funcionários devido a chegada de novas máquinas. Devido ao caráter sigiloso, não foi permitida a divulgação do número de

peças a serem contratadas. Assim, nesta seção apenas serão mostrados os resultados obtidos durante os levantamentos de dados realizados.

Há dois sistemas de horários diferentes na empresa: um sistema para funcionários que trabalham nas áreas de apoio (segunda a sexta-feira, das 7:00 às 17:15 horas) e outro para os funcionários que trabalham diretamente na manufatura. Este se estende de segunda a sábado, sendo dividido em três turnos: das 7:00 às 15:00 horas, das 15:00 às 23:00 horas e das 23:00 às 7:00 horas. Assim, há momentos durante um dia de trabalho em que a concentração de pessoas atinge um máximo devido às intersecções de horários.

A partir da Figura 31 pode-se verificar como estão sendo divididas as áreas da empresa no *layout* atual e, conseqüentemente, quais as áreas de maior concentração de pessoas ao longo de um dia, como mostra a Tabela 4. As áreas 7 e 8 são, respectivamente, restaurante e vestiário, as quais não foram consideradas na análise de concentração de pessoas visto que são utilizadas apenas em alguns horários específicos.

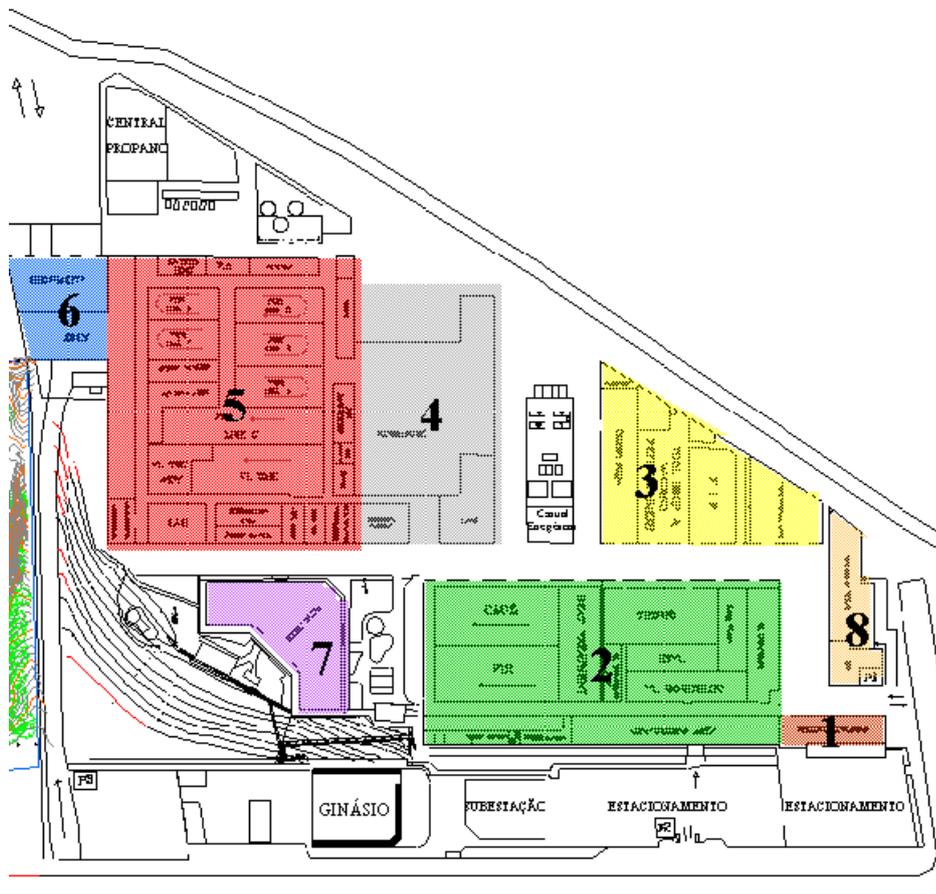


Figura 31: Divisão das áreas da empresa no *layout* atual

Tabela 4: Variação m²/pessoa de acordo com os horários

ÁREA PRODUTIVA	ÁREA (m ²)	NÚMERO DE PESSOAS			
		7:00 - 15:00 hs	15:00 - 17:15 hs	17:15 - 23:00 hs	23:00 - 7:00 hs
1	370	3	3	2	0
2	6.990	208	202	115	102
3	2.950	36	37	15	12
4	3.645	51	47	16	10
5	8.410	210	195	94	90
6	1.500	50	47	38	31
Total	23.865	558	531	280	245
M² / pessoa		42,8	44,9	85,2	97,4

Com relação a capacidade do restaurante da empresa, a Tabela 5 mostra como relaciona-se a capacidade do restaurante com a demanda de funcionários nos horários de refeições disponíveis. Há duas salas de diferentes capacidades que nem sempre estão disponíveis nos mesmos horários. Assim, percebe-se a necessidade da elaboração de um sistema de intervalos para refeições de tal modo a distribuir melhor as pessoas de maneira a não comprometer a capacidade do restaurante.

Tabela 5: Capacidade do restaurante da empresa e demanda de funcionários de acordo com o horário das refeições

SALA	SERVIÇO	HORÁRIO	DEMANDA DE PESSOAS	CAPACIDADE
1	Café da Manhã	6:20 - 6:50	450	224
2	Café da Manhã	7:20 - 7:50	60	128
1	Almoço	10:45 - 12:45	460 - 530	224
2	Almoço	11:30 - 13:30	350 - 370	128
1	Lanche	14:20 - 14:50	210	224
1	Janta	18:30 - 19:00	290	224
2	Janta	19:00 - 20:00	30	128
1	Lanche	22:20 - 22:50	130	224
2	Ceia	2:00 - 3:00	200	128

Para os vestiários, o levantamento realizado apresentou um total de 1428 vagas disponíveis para funcionários da empresa, divididas em 182 vagas para mulheres e 1246 vagas para homens (do total de vagas, 120 são destinadas a funcionários terceirizados). Apesar de o número total de funcionários da empresa ser 1400 pessoas (950 na manufatura e 450 nas áreas de apoio), sabe-se que menos de 30% de todos os funcionários das áreas de apoio utilizam os vestiários, visto que a maioria de suas atividades são nos escritórios. Além

disso apenas 9% dos funcionários de manufatura são mulheres, não comprometendo a capacidade do vestiário feminino.

No caso dos estacionamentos, tem-se atualmente uma grande carência de espaço principalmente em horários de troca de turnos. Como os funcionários do turno posterior chegam um pouco antes e os funcionários do turno anterior não costumam sair pontualmente no horário, há intersecções que geram picos de demanda de vagas no estacionamento. Isto faz com que as pessoas acabem estacionando seus veículos em ruas públicas próximas à empresa, acarretando em insatisfação dos funcionários. A Figura 32 mostra as vagas disponíveis por estacionamento e o número total de veículos registrados pertencentes aos funcionários da empresa.

ESTACIONAMENTOS	
Área	Vagas
1	67
2	31
3	81
Boxes (Rua)	60
Diretoria	66
Motocicletas	45
Total	350
Veículos Registrados	1.060

Figura 32: Número de vagas por estacionamento e veículos registrados

4.3.3 Mudanças Consideradas e Limitações Práticas

Dentre as limitações práticas existentes, a topografia dos terrenos foi um dos fatores de maior influência para o projeto de macro-*layout* da planta. O desnível existente nos terrenos era, em determinadas áreas, de até 15 metros. Além de ser uma restrição em termos de construção predial, o fluxo de materiais ficaria prejudicado nestas áreas, pois haveria necessidade de equipamentos de transporte mais sofisticados para transportar cargas de até duas toneladas em desnível.

Outro ponto de grande importância são os monumentos existentes na fábrica. Equipamentos como central de energéticos, tratamento térmico, brochadeiras, subestação de força, caixa d'água e antena, são classificados como monumentos uma vez que sua movimentação implicaria em um alto custo e impacto para a fábrica. Portanto, apesar de haver

a possibilidade de reposicionar estes equipamentos dentro do macro-*layout*, buscou-se evitar o desenvolvimento de alternativas de *layout* que modificassem a sua localização.

4.3.4 Desenvolvimento de Alternativas de *Layout*

No desenvolvimento das alternativas de macro-*layout*, primeiramente foi gerado um *layout* primitivo, o qual ignorava as limitações práticas existentes e considerava apenas os requisitos de área e as intensidades de relacionamento de cada SPU. Além disso, apenas as áreas produtivas foram consideradas no *layout* primitivo, visto que a prioridade das áreas disponíveis seria dada a estas. Durante o posicionamento das SPUs no *layout* primitivo, utilizou-se a seguinte regra: posiciona-se, inicialmente, a SPU com o maior número de relacionamentos tipo A; em seguida, uma SPU que possua relacionamento tipo A com a primeira e que apresente o maior número de As com as demais; caso não haja nenhum relacionamento tipo A, parte-se para relacionamentos tipo E, I, O e U, e assim sucessivamente.

Após, aplicaram-se as limitações existentes sobre o *layout* primitivo e se desenvolveram diferentes alternativas de macro-*layout*, as quais vêm apresentadas no Apêndice D. Estas alternativas estão baseadas em diferentes conceitos e, portanto, apresentam diferentes vantagens e desvantagens.

As Figuras 33 e 34 ilustram duas alternativas de macro-*layout* da planta com conceitos extremamente diferentes. Enquanto na alternativa (c), na Figura 33, propõe-se a total utilização do novo terreno com a construção de 12000 m² de área predial, na alternativa (d), na Figura 34, é proposta a maximização do uso da área existente no terreno atual, unificando os prédios em um único pavilhão. Contudo, o impacto sobre a fábrica que a alternativa (d) proporciona é muito maior do aquele resultante da adoção da alternativa (c), pois a unificação dos prédios implica em uma grande alteração das instalações industriais, acarretando em grandes períodos de parada da fábrica.

Além disso, o transtorno de haver construção dentro da fábrica geraria grandes quantidades de resíduos que poderiam contaminar os produtos ou processos, comprometendo sua qualidade. Outro aspecto que diferencia as alternativas é o fato de a alternativa (c) possuir um fluxo de materiais convergente, no qual a montagem de SEH encontra-se centralizada e as linhas de componentes dispostas à sua volta. Já a alternativa (d) posiciona a montagem de

4.4 FASE DE SELEÇÃO

4.4.1 Critérios de Avaliação

Na fase de seleção, a equipe de trabalho definiu sete critérios de avaliação das alternativas de *layout*; são eles: (i) maximizar flexibilidade para futuras expansões, (ii) minimizar re-*layout*, (iii) maximizar fatores humanos, (iv) minimizar custo, (v) maximizar aproveitamento de área, (vi) maximizar linearidade de fluxo e (vii) maximizar relacionamento entre as SPUs.

A flexibilidade para futuras expansões é fator determinante para garantir o atendimento às possíveis variações de demanda, visto que a existência de área livre possibilita o aumento da capacidade produtiva. Este critério foi avaliado através do índice do tipo menor-é-melhor F_{e_j} , obtido conforme equação (9), onde A_T representa área total do terreno, A_{O_j} área total coberta da j -ésima alternativa de macro-*layout*. Quanto menor a área total coberta necessária, maior a disponibilidade de área no terreno para expansão predial e, conseqüentemente, para instalação de novas máquinas e atendimento de futuras demandas.

$$F_{e_j} = \frac{A_{O_j}}{A_T} \quad (9)$$

O re-*layout* exigido por cada alternativa determina o impacto do projeto de *layout* futuro sobre a fábrica e suas instalações. O nível de re-*layout* da j -ésima alternativa de macro-*layout*, N_{RL_j} , foi mensurado através do índice do tipo menor-é-melhor apresentado na equação (10), onde N_S é o número total de SPUs existentes e, N_{M_j} é o número total de SPUs movimentadas em relação as suas atuais posições, de acordo com a alternativa de macro-*layout*.

$$N_{RL_j} = \frac{N_{M_j}}{N_S} \quad (10)$$

Os custos para implementação dos *layouts* representam o investimento necessário para a implementação de cada alternativa. Este investimento contempla itens como custo com construção civil, equipamentos para ampliação de capacidade de fornecimento de energia, custo de re-*layout*, etc.

O aproveitamento da área define se a alternativa de *layout* utiliza a área fabril eficientemente, isto é, não deixando espaços em vazio devido a irregularidades na geometria das áreas. Este critério foi mensurado através do índice do tipo maior-é-melhor U_A , o qual foi obtido através do quociente entre área total ocupada pelas SPUs e a área total coberta.

Linearidade de fluxo está relacionado com as distâncias percorridas pelos materiais durante seu processo produtivo na fábrica. A avaliação deste critério foi realizada através do índice do tipo maior-é-melhor D_{P_j} , apresentado na equação (11). Na equação, V_{D_i} representa o volume de demanda da i -ésima SPU previsto para o ano de 2009 e $D_{PS_{ij}}$ representa a distância percorrida pelo material produzido pela i -ésima SPU para a j -ésima alternativa de macro-*layout*, desde sua entrada na fábrica até sua saída.

$$D_{P_j} = \sum_{i=1}^n \frac{V_{D_i}}{D_{PS_{ij}}} \quad (11)$$

Tanto o critério relacionado a fatores humanos, o qual engloba quesitos como segurança, áreas livres para circulação e infra-estrutura para as necessidades levantadas anteriormente, quanto o critério de relacionamento entre as SPUs, que consiste em avaliar o quão eficaz as alternativas de *layout* aproximam as SPUs com maior intensidade de relacionamento, foram analisados de maneira qualitativa e, portanto, não possuem nenhum tipo de índice. Suas avaliações foram baseadas na opinião no grupo decisor, sendo que a análise resultante foi obtida pelo valor médio das avaliações.

4.4.2 Seleção da Melhor Alternativa

Primeiramente, seguindo-se a metodologia do AHP, foi montada uma hierarquia contendo três níveis. No nível mais alto, colocou-se o objetivo principal da análise multicritério, que era determinar a melhor alternativa de macro-*layout*, como mostra a Figura

35. No segundo nível, colocaram-se os critérios de avaliação utilizados sendo os dois primeiros critérios, da esquerda para a direita, qualitativos e o restante quantitativos. No último nível, colocaram-se as alternativas de macro-*layout* a serem consideradas.



Figura 35: Níveis de hierarquia da análise multicritério

Para analisar esta hierarquia foram necessárias oito matrizes de comparações pareadas. A primeira matriz relacionava os níveis 1 e 2 da hierarquia e foi baseada somente em opinião dos diretores da empresa e corresponde à matriz da Tabela 6. Esta tabela apresenta também o vetor de pesos de importância obtido, definindo, assim, a hierarquia entre os critérios de avaliação.

As demais sete matrizes de comparação relacionavam os níveis 2 e 3 da hierarquia. Cada uma destas matrizes comparava as nove alternativas de *layout* com relação a cada critério do nível 2. Contudo, houve dois tipos de procedimento: (i) procedimento para critérios qualitativos e (ii) procedimento para critérios quantitativos.

Para os critérios qualitativos, como fatores humanos e relacionamento entre as SPU's, o procedimento foi semelhante à primeira matriz de comparações a qual foi baseada na opinião dos diretores da empresa. Os Apêndices E e F apresentam as matrizes de comparações pareadas e normalizadas para estes critérios, respectivamente.

Para os critérios quantitativos, as matrizes de comparações pareadas foram baseadas em indicadores numéricos. Assim, não havia opiniões de especialistas envolvidas. As matrizes foram montadas simplesmente calculando as razões entre os indicadores avaliados em cada alternativa de macro-*layout*. Por exemplo, o resultado da comparação entre as alternativas de macro-*layout* (a) e (b) para o critério flexibilidade para futuras expansões foi dado pela razão entre $F_{e(a)}$ e $F_{e(b)}$. Os Apêndices G, H, I, J, L apresentam as matrizes de

comparações pareadas para cada critério de avaliação e suas respectivas matrizes de comparações normalizadas.

Semelhante ao procedimento utilizado para definição da importância dos critérios de avaliação, foram obtidos os vetores pesos para cada critério de acordo com as alternativas de *macro-layout*, como mostra a Tabela 7. A consistência das avaliações qualitativas realizadas nos níveis 2 e 3 da hierarquia geraram os valores de CR apresentados nas Tabelas 6 e 7. Como todos os valores são inferiores a 0,10, conclui-se que as avaliações feitas pelos especialistas são consistentes, podendo ser utilizadas no restante do método. Com relação às avaliações quantitativas, nenhum cálculo de consistência é necessário já que o procedimento de obtenção das matrizes resulta em perfeita consistência.

Tabela 6: Matriz de comparações pareadas dos critérios de avaliação

Matriz Comparações Pareadas	maximizar flexibilidade para futuras expansões	minimizar re- <i>layout</i>	maximizar fatores humanos	minimizar custo	maximizar aproveitamento de área	maximizar linearidade de fluxo	maximizar relacionamento entre SPU's	PESOS
maximizar flexibilidade para futuras expansões	1	1/3	1/2	1/5	3	4	2	0,105
minimizar re- <i>layout</i>	3	1	2	3	6	5	4	0,315
maximizar fatores humanos	2	1/2	1	1/3	4	5	3	0,161
minimizar custo	5	1/3	3	1	5	6	4	0,268
maximizar aproveitamento de área	1/3	1/6	1/4	1/5	1	2	1/2	0,045
maximizar linearidade de fluxo	1/4	1/5	1/5	1/6	1/2	1	1/3	0,034
maximizar relacionamento entre SPU's	1/2	1/4	1/3	1/4	2	3	1	0,072
	CR							0,06

Tabela 7: Matriz de pesos das alternativas para cada critério

ALTERNATIVAS	CRITÉRIOS						
	maximizar flexibilidade para futuras expansões	minimizar re- <i>layout</i>	maximizar fatores humanos	minimizar custo	maximizar aproveitamento de área	maximizar linearidade de fluxo	maximizar relacionamento entre SPU's
$V_{P(a)}$	0,028	0,077	0,062	0,233	0,228	0,021	0,030
$V_{P(b)}$	0,040	0,247	0,040	0,293	0,126	0,121	0,241
$V_{P(c)}$	0,017	0,089	0,018	0,134	0,292	0,079	0,019
$V_{P(d)}$	0,142	0,030	0,025	0,062	0,059	0,069	0,071
$V_{P(e)}$	0,142	0,153	0,103	0,043	0,035	0,108	0,141
$V_{P(f)}$	0,061	0,297	0,166	0,135	0,095	0,261	0,305
$V_{P(g)}$	0,061	0,057	0,063	0,059	0,095	0,242	0,105
$V_{P(h)}$	0,255	0,017	0,169	0,021	0,035	0,049	0,044
$V_{P(i)}$	0,255	0,033	0,354	0,020	0,035	0,049	0,044
CR	-	-	0,098	-	-	-	0,056

Para obter o vetor final de pesos, o qual atribui um peso de importância a cada alternativa de *layout*, calculou-se a média ponderada das avaliações obtidas para cada alternativa em cada critério da análise. Os elementos ponderadores foram os pesos de importância atribuídos a cada critério, os quais são dados na Tabela 6. A partir desta análise verificou-se que a maior pontuação geral, apresentada na Tabela 8, corresponde à alternativa (f), com um valor de 0,198. Portanto, esta foi a alternativa de macro-*layout* selecionada para a empresa em estudo e um plano de implementação do *layout* se fez necessário.

Tabela 8: Valores das pontuações gerais das alternativas de macro-*layout*

Alternativas	PG
(a)	0,113
(b)	0,194
(c)	0,086
(d)	0,055
(e)	0,107
(f)	0,198
(g)	0,070
(h)	0,072
(i)	0,106

4.5 IMPLEMENTANDO O LAYOUT

4.5.1 O Plano de Ação

Definida a alternativa de macro-*layout* para a planta, diversas ações foram iniciadas para implementar o projeto de *layout* e, assim, sustentar o plano de expansão fabril. Primeiramente, o projeto de *layout* implicava em um aumento de área predial de aproximadamente 10.000 m². Assim, seria necessário definir o projeto arquitetônico deste prédio, projeto das instalações industriais e a construtora civil. O processo de projeto e construção predial foi dirigido por uma outra equipe de trabalho.

Em paralelo a isto, o micro-*layout* de cada unidade produtiva começou a ser detalhado de modo a verificar o correto balanceamento das linhas, mão-de-obra necessária e disposição de cada máquina e área de apoio. Este estudo foi desenvolvido com equipes de trabalho focadas, de acordo com a unidade produtiva.

Além disso, um cronograma de re-*layout* da planta foi montado, como ilustra a Figura 36, pois a alternativa selecionada movimentaria aproximadamente 30% das máquinas existentes. Este cronograma estaria sujeito a mudanças devido a possíveis variações de demanda e chegada de novas máquinas; contudo, serviria como linha de base para o plano de expansão da planta.

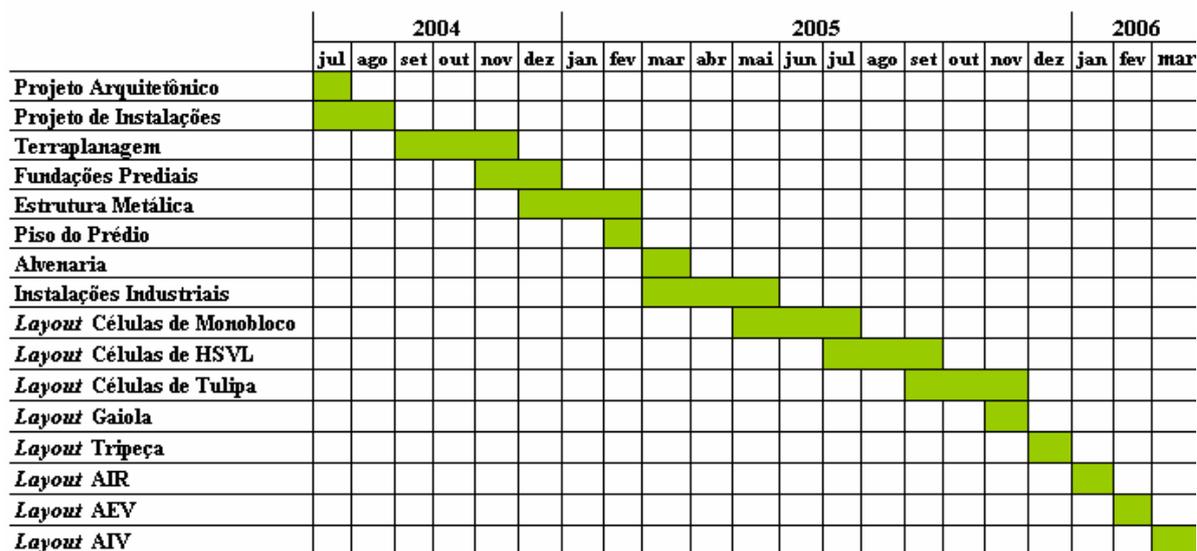


Figura 36: Cronograma de implementação do projeto de macro-*layout* da planta

4.5.2 Resultados Obtidos

A alternativa selecionada utilizaria 39% dos 100.000 m² disponíveis do terreno para áreas cobertas. Como o índice de utilização máximo permitido pela Prefeitura de Porto Alegre é de 75% da área total do terreno, a planta ainda teria potencial de construção de mais 36.000 m² para futuras expansões. Além disso, dos 39.000 m² de área coberta 72% estaria sendo ocupado pelas SPUs e o restante estaria disponível para áreas de apoio e para possíveis necessidades de aumento da capacidade produtiva que não tenham sido previstos.

Os benefícios apresentados pela alternativa são claramente visíveis quanto ao critério linearidade do fluxo, como ilustra a Figura 37. Enquanto o aumento na demanda total de peças entre 2004 e 2009 é de 29%, as distâncias percorridas pelos produtos reduziram, em média, 2%. Assim, considerando embalagens de até 500 peças por unidade e podendo-se transportar apenas uma embalagem por viagem, o índice de linearidade de fluxo aumenta de

1,75 peças/m para 2,29 peças/m, representando um aumento de 31% no critério linearidade de fluxo.

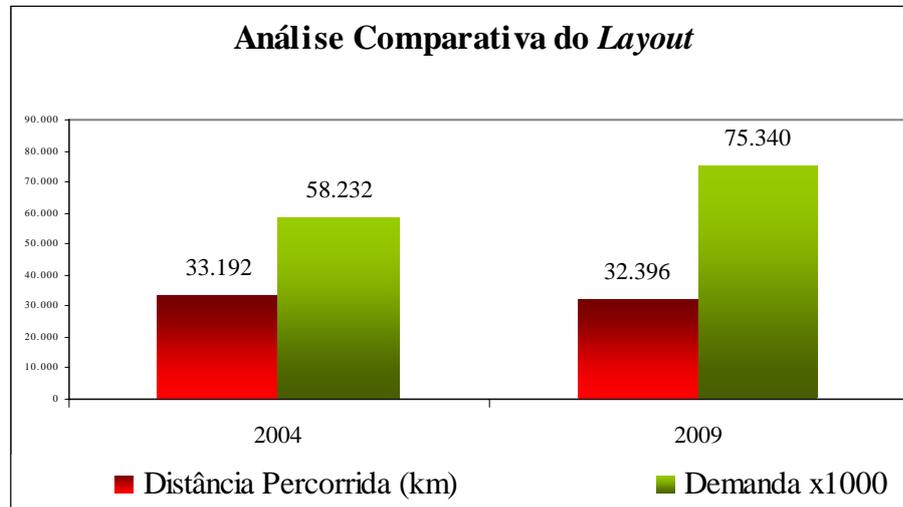


Figura 37: Análise comparativa do *layout* selecionado com a condição atual

Quanto aos fatores humanos, a alternativa selecionada apresenta um aumento de 200 vagas para estacionamento, amenizando o problema de falta de área de estacionamento. Além disso, a entrada de funcionários na empresa estaria sendo deslocada para uma posição centralizada, facilitando o acesso tanto para as pessoas que utilizam veículo próprio quanto para as que utilizam transporte público, como ilustra a Figura 38. Este novo fluxo de entrada reduziria de uma maneira geral as distâncias a serem caminhadas pelos funcionários, principalmente para os que trabalham em áreas como AEV, AIV ou Montagem.

CAPÍTULO V

CONCLUSÃO

A realização desta dissertação de mestrado permitiu a formulação de algumas conclusões a respeito de uma metodologia de utilização de ferramentas de apoio à decisão multicritério em sistemáticas de planejamento de *layout*, assim como sugestões para possíveis trabalhos futuros.

A utilização de ferramentas de apoio à decisão multicritério com aplicação em sistemáticas de planejamento de *layout* foi o objetivo principal deste trabalho. A metodologia proposta foi aplicada de maneira cooperativa entre pesquisador e pesquisado, caracterizando o trabalho como uma pesquisa-ação.

O presente trabalho apresentou uma contextualização da importância do planejamento de *layout* de fábrica na estratégia de manufatura das empresas. Tal contextualização aponta no sentido de flexibilizar e aumentar a eficiência de fábricas inseridas em um mercado que apresente condições oscilatórias e de extrema competitividade. É neste cenário que o planejamento de *layout* de fábrica constitui-se em elemento central no intuito de dar apoio à estratégia de manufatura das empresas no que diz respeito a produtos, processos, programação, mão-de-obra, etc. Este trabalho explicitou as etapas estruturais necessárias para um adequado planejamento de *layout*, incorporando uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão multicritério com objetivo de direcionar a fase de seleção das alternativas de *layout*.

Aprofundando a compreensão e aplicabilidade de uma série de conceitos associados a tomada de decisão multicriterial, a metodologia utilizada permite avaliar de maneira objetiva os benefícios e desvantagens de cada alternativa de *layout* de acordo com os critérios de avaliação pré-definidos. A metodologia também destaca a importância da participação e as vantagens do trabalho em equipe, tanto no desenvolvimento do projeto como na fase de seleção das alternativas de *layout*. De forma geral, a metodologia foi concebida com o intuito de incrementar a habilidade de planejamento de *layout* de fábrica e o processo decisório na organização.

O trabalho apresenta o caso de uma empresa do ramo automotivo que se encontra em processo de re-*layout*. Através dos passos metodológicos, tanto o planejamento de *layout* de fábrica quanto o processo decisório da melhor alternativa de *layout* para a empresa foram direcionados. A pesquisa aponta para as seguintes conclusões: (i) a utilização de técnicas sistemáticas no planejamento de *layout* não fornece uma solução ótima e, sim, uma variedade de alternativas com características diferentes; e (ii) a utilização de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão multicritério agiliza o processo decisório da melhor alternativa de *layout*, uma vez que possibilita uma análise objetiva dos critérios de avaliação, porém, quando aplicada junto a um grupo de pessoas com elevada experiência, não se consegue evitar a análise de caráter subjetivo por parte dos decisores.

Em relação aos objetivos secundários estabelecidos:

- a) A proposição de indicadores numéricos para os critérios de avaliação quantitativos permitiram classificar e auxiliar as comparações das alternativas de *layout*. A obtenção destes indicadores foi dada através de equações matemáticas que diferem das formulações encontradas na literatura;
- b) A avaliação do impacto sobre os fatores humanos das alternativas de *layout* obtidas através da metodologia utilizada foi dada pela análise da capacidade das estruturas de apoio à fábrica, tais como vestiários, restaurante, estacionamento, concentração de pessoas de acordo com a área de trabalho e entradas e saídas dos funcionários. Esta avaliação foi incluída ao procedimento do SLP, já que o mesmo não menciona o fluxo de pessoas em seus procedimentos; e,

- c) Os conceitos pesquisados foram efetivamente aplicados em uma empresa do ramo automotivo, o que permitiu validar a metodologia proposta e enriquecê-la com exemplos práticos.

O estudo aqui desenvolvido pode ser estendido para além dos limites desta dissertação de mestrado. Na seqüência são apresentadas sugestões de estudos futuros através da aplicação de análise multicritério e técnicas de *layout*.

Durante o estudo de *layout* realizado, apenas observou-se para as SPUs como unidades de espaço que possuem intensidades de relacionamento com outras unidades. As SPUs utilizadas foram definidas de acordo com a distribuição física existente na fábrica. Em momento algum questionou-se a possibilidade de uma redistribuição física a ponto de tornar *layouts* tipicamente por processo em *layouts* celulares. Esta redistribuição, se realizada, mudaria tanto os requisitos de área das SPUs como a análise de capacidade produtiva. Assim, anterior ao processo de análise dos dados de entrada, deveria ser realizada uma avaliação a fim de provocar a mudança das características atuais dos processos com intuito de criar fluxo entre as unidades de trabalho. Uma técnica disponível na literatura que auxilia nesta análise é o *Value Stream Mapping* ou VSM (Mapeamento de Fluxo de Valor) que mapeia tanto os fluxos de material quanto os fluxos de informação. Assim, a incorporação do VSM aos procedimentos do SLP pode gerar resultados que à médio e longo prazo apresentem ganhos tanto a nível de transporte e flexibilidade da fábrica quanto a nível de produtividade, tempo de atravessamento e qualidade.

A metodologia proposta apresenta em sua etapa de geração de alternativas de macro-*layout* um procedimento caracterizado por atividades manuais que demandam tempo para conclusão do desenvolvimento de cada alternativa. Este procedimento, justamente por aumentar o tempo total necessário para o estudo, geralmente gera um número pequenos de alternativas. A utilização de um algoritmo que agilizasse a etapa de desenvolvimento das alternativas de *layout* proporcionaria um aumento na quantidade de opções de solução e, conseqüentemente, potencializaria a aproximação da solução ótima do problema. Contudo, a maioria dos algoritmos existentes para projeto de *layout* são baseados em otimizar apenas um critério de avaliação como custo de transporte, por exemplo. Assim, a elaboração de um algoritmo para projeto de *layout* que permita utilizar múltiplos critérios de otimização, possibilita ampliar o escopo das alternativas de *layout* e facilita o processo decisório, já que as alternativas de *layout* foram geradas com o intuito de maximizar mais de um critério.

REFERÊNCIAS

- ARBEL, A. Using efficient anchoring points for generating search directions in interior multiobjective linear programming. *Journal of Operational Research Society*, v. 45, n. 3, p. 330-344. 1994.
- ASKIN, R.; GOLDBERG, J. *Design and Analysis of Lean Production Systems*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- BENJAAFAR, S.; HERAGU, S. S.; IRANI, S. A. Next Generation Factory Layouts: research challenges and recent progress. *Interfaces*, v. 32, n. 6, p. 58, Nov/Dec. 2002.
- BENJAAFAR, S.; SHEIKHZADEH, M. Design of Flexible Layouts. *IIE Transactions*, v. 32, n. 4, p. 309, Apr. 2000.
- BOUCHER, T. O.; GOGUS, O.; WICKS, E. M. A comparison between two multiattribute decision methodologies used in capital investment decision analysis. *The Engineering Economist*, v. 42, n. 3, Spring. 1997.
- BOZER, Y. A.; MELLER, R. D. A reexamination of the distance-based facility layout problem. *IIE Transactions*, v. 29, n. 7, p. 549, July. 1997.
- BROOKS, A. Ergonomic approaches to office layout and space planning. *Facilities*, v. 16, n. 3/4, p. 73-78. 1998.

CANEN, A. G.; WILLIAMSON, G. H. Facility Layout Overview: towards competitive advantage. *Facilities*, v. 16, n. 7/8, p. 198-203, July/August. 1998.

CHIANG, W.; KOUVELIS, P.; URBAN, T. L. Incorporating Workflow Interference in Facility Layout Design: the quartic assignment problem. *Management Science*, v. 48, n. 4, p. 584, April. 2002.

CHIEN, T. K. An empirical study of facility layout using a modified SLP procedure. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 15, n. 6, p. 455-465. 2004.

DALMAS, V. *Avaliação de um Layout Celular Implementado: um estudo de caso em uma indústria de autopeças*. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

DAS, B.; DIAZ, A. G. Improving workplace material handling through consolidation of cribs and a dispatching system. *Integrated Manufacturing Systems*, v. 14, n. 2, p. 87. 2003.

DEB, S. K.; BHATTACHARYYA, B. Fuzzy decision support system for manufacturing facilities layout planning. *Decision Support Systems*, 2004.

DREZNER, Z. A heuristic procedure for the layout of a large number of facilities. *Management Science*, v. 33, n. 7, p. 907, Jul. 1987.

DUNDON, D. R. The effect of facility planning on quality and productivity. *Hospital Material Management Quarterly*, v. 9, n. 4, p. 41, May. 1988.

ELBERTAGI, E.; HEGAZY, T. M. Genetic Optimization of Site Layout Planning. *AACE International Transactions*, p. IT51. 1999.

ENGSTROM, T.; JONSSON, D.; MEDBO, L. The Volvo Uddevalla plant and interpretations of industrial design processes. *Integrated Manufacturing Systems*, v. 9, n. 5, p. 279-295. 1998.

ENSSLIN, L.; NETO, G. M.; NORONHA, S. M. *Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas*. Florianópolis: Editora Insular, 2001.

FEIGENBAUM, A. V. *Controle da Qualidade Total*. São Paulo: Makron Books, v. 3, 1974.

FOULDS, L.R. Layout Manager: a microcomputer-based decision support system for facilities layout. *Decision Support Systems*, v. 20, p. 199-213. 1997.

FRANCIS, R. L.; MCGINNIS, L. F.; WHITE, J. A. *Facility Location and Location: an analytical approach*. 2.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1992.

FRANCISCHINI, P. G.; CABEL, G. M. Proposição de um indicador geral de desempenho utilizando AHP. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23, 2003, *Anais*.

FU, M. C.; KAKU, B. K. Minimizing work-in-process and material handling in the facilities layout problem. *IIE Transactions*, v. 29, n. 1, p. 29, January. 1997.

GIL, A. C. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. 4.ed. São Paulo: Editora Atlas, 1995.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. A *Meta*. 2.ed. São Paulo: Nobel, 2002.

GONÇALVES, M. E.; MARINS, F. A. S.; SALOMON, V. A. P. Auxílio à decisão por múltiplos critérios na escolha da sede administrativa de uma universidade multi-campi. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23, 2003, *Anais*.

GOPALAKRISHNAN, B.; TURUVEKERE, R.; GUPTA, D. Computer integrated facilities planning and design. *Facilities*, v. 22, n. 7/8, p. 199-209. 2004.

GOPALAKRISHNAN, B.; WENG, L.; GUPTA, D. Facilities design using a split departmental layout configuration. *Facilities*, v. 21, n. ¾, p. 66-73. 2003.

HEGAZY, T. M.; ELBERTAGI, E. Simplified Spreadsheet Solutions: a model for site layout planning. *Cost Engineering*, v. 42, n. 1, p. 24, January. 2000.

JACOBS, F. R. A layout planning system with multiple criteria and a variable domain representation. *Management Science*, v. 33, n. 8, p. 1020. 1987.

JOHNSON, R. V. Spacecraft for multi-floor layout planning. *Management Science*, v. 28, n. 4, p. 407, April. 1982.

KERNS, F. Strategic Facility Planning. *Work Study*, v. 48, n. 5, p. 176-181. 1999.

- KIM, J.; KIM, Y. A space partitioning method for facility layout problems with shape constraints. *IIE Transactions*, v. 30, n. 10, p. 947, October. 1998.
- KING, L. T. Strategic facility planning lets companies manage their facilities as corporate assets. *Industrial Engineering*, v. 21, n. 6, p. 25, Jun. 1989.
- KLEIN, R. A. Strategic Facility Planning: keeping an eye on the long view. *Journal of Facilities Management*, v. 2, n. 4, p. 338, Mar. 2004.
- KOCHHAR, J. S.; HERAGU, S. S. Facility layout design in a changing environment. *International Journal of Production Research*, v. 37, n. 11, p. 2429-2446. 1999.
- KONZ, S. A. *Facility Design*. New York: Wiley, 1985.
- KOVAC, E. J.; THOMPSON, R. A. Strategic Facilities Planning. *Planning Review*, v. 22, n. 1, p. 44, Jan/Feb. 1994.
- KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P. *Operations Management: strategy and analysis*. 6.ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- LACKSONEN, T. A.; HUNG, C. Project scheduling algorithms for re-layout projects. *IIE Transactions*, v. 30, n. 1, p. 91, January. 1998.
- LEE, Q. Computer aided plant layout with real time material flow evaluation. *MTM Journal of Methods – Time Measurement*, v. 14, p. 33. 1988.
- LEE, Q. *Projeto de Instalações e do Local de Trabalho*. São Paulo: IMAM, 1998a.
- LEE, Q. Facility Planning`s Hidden Link. *IEE Solutions*, p. 23, Sep. 1998b.
- LIN, L. C.; SHARP, G. P. Application of the integrated framework for the plant layout evaluation problem. *European Journal of Operational Research*, n. 116, p. 118-138. 1999a.
- LIN, L. C.; SHARP, G. P. Quantitative and qualitative indices for the plant layout evaluation problem. *European Journal of Operational Research*, n. 116, p. 100-117. 1999b.
- MCGREGOR, W. The future of workspace management. *Facilities*, v. 18, n. $\frac{3}{4}$, p. 138-143. 2000.

MELLER, R. D.; BOZER, Y. A. Alternative approaches to solve the multi-floor facility layout problem. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 16, n. 3, p. 192. 1997.

MELLER, R. D.; GAU, K. The Facility Layout Problem: recent and emerging trends and perspectives. *Journal of Manufacturing Systems*, Auburn, v. 15, n. 5, p. 351. 1996.

MEYERSDORF, D.; TAGHIZADEH, A. Fab Layout Design Methodology: case of the 300 mm fabs. *Semiconductor International*, v. 21, n. 8, p. 187, July. 1998.

MONTREUIL, B.; VENKATADRI, U.; RATLIFF, H. D. Generating a layout from a design skeleton. *IIE Transactions*, v. 25, n. 1, p. 3, January. 1993.

MONTREUIL, B.; VENKATADRI, U. Strategic interpolative design of dynamic manufacturing systems layouts. *Management Science*, v. 37, n. 6, p. 682, June. 1991.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. Avaliação multicritério para adequação de sistemas de redução de perdas de água. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22, 2002, *Anais*.

MUTHER, R.; WHEELER, J. D. *Planejamento Sistemático e Simplificado de Layout*. São Paulo: IMAM, 2000.

PERKINS, J.; GRAVES, R.; SMITH, J. Planning for space assignment and material flow routing in multi-level facilities. *Industrial Engineering*, v. 20, n. 8, p. 58, Aug. 1988.

POLAKOFF, J. C. Factory Floor Layout: catalyst for change. *Management Review*, v. 79, n. 11, p. 33, November. 1990.

PRICE, S. M. Facilities Planning: a perspective for the information age. *IEE Solutions*, v. 29, n. 8, p. 20, Aug. 1997.

ROSENBLATT, M. J.; KROPP, D. H. The single period stochastic plant layout problem. *IIE Transactions*, v. 24, n. 2, p. 169, May. 1992.

SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980.

SCHONBERGER, R. *Técnicas Industriais Japonesas: nove lições ocultas sobre simplicidade*. 4. ed. São Paulo: Livraria Pioneira, 1993.

SHA, D. Y.; CHEN, C. W. A new approach to the multiple objective facility layout problem. *Integrated Manufacturing Systems*, v. 12, n. 1, p. 59-66. 2001.

SLY, D. Updating your factory layout drafting and design system: a step-by-step approach. *IIE Solutions*, v. 29, n.8, p. 24, Aug. 1997.

SUSKIND, P. B. Productivity and quality improvement in non-manufacturing activities: a systematic approach to office development. *Industrial Engineering*, v. 21, n. 1, p. 52, Jan. 1989.

TATE, D.; SMITH, A. Unequal-area facility layout by genetic search. *IIE Transactions*, v. 27, n. 4, p. 465, Aug. 1995.

THIOLLENT, M. *Metodologia da Pesquisa-ação*. São Paulo: Cortez, 1985.

TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A. et al. *Facilities Planning*. 2.ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 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. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 21, 2001, *Anais*.

URBAN, T. L. Combining qualitative and quantitative analyses in facility layout. *Production and Inventory Management Journal*, p. 73, Third Quarter. 1989.

VISCHER, J. C. Strategic Work-Space Planning. *Sloan Management Review*, v. 37, n. 1, p. 33, Fall. 1995.

VOLLMANN, T. E.; BUFFA, E. S. The facilities layout problem in perspective. *Management Science*, v.12, n. 10, p. B450, June. 1966.

VORIS, W. *The Management of Production*. New York: The Ronald Press Co., 1960.

VOS, H. D. Management Services: manufacturing management. *Journal of Accountancy*, n. 124, p. 81, Aug. 1986.

WAINWRIGHT, C. E. The application of queuing theory in the analysis of plant layout. *International Journal of Operation & Production Management*, v. 16, n. 1, p. 50-74. 1996.

WILDE, E. Functional Planning. *Facilities*, v. 14, n. 7/8, p. 35-39, July/August. 1996.

WINSTON, W. L. *Operations Research: applications and algorithms*. 3.ed. Belmont: Duxbury Press, 1993.

WRENNALL, W. Facilities design for an integrated structure. *Work Study*, v. 48, n. 4, p. 123-129. 1999.

WRENNALL, W. Facilities Planning and Design: a foundation of the BPR pyramid. *Industrial Management*, v. 39, n. 4, p. 7, July/August. 1997.

YANG, T.; KUO, C. A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem. *European Journal of Operational Research*, n. 147, p. 128-136. 2003.

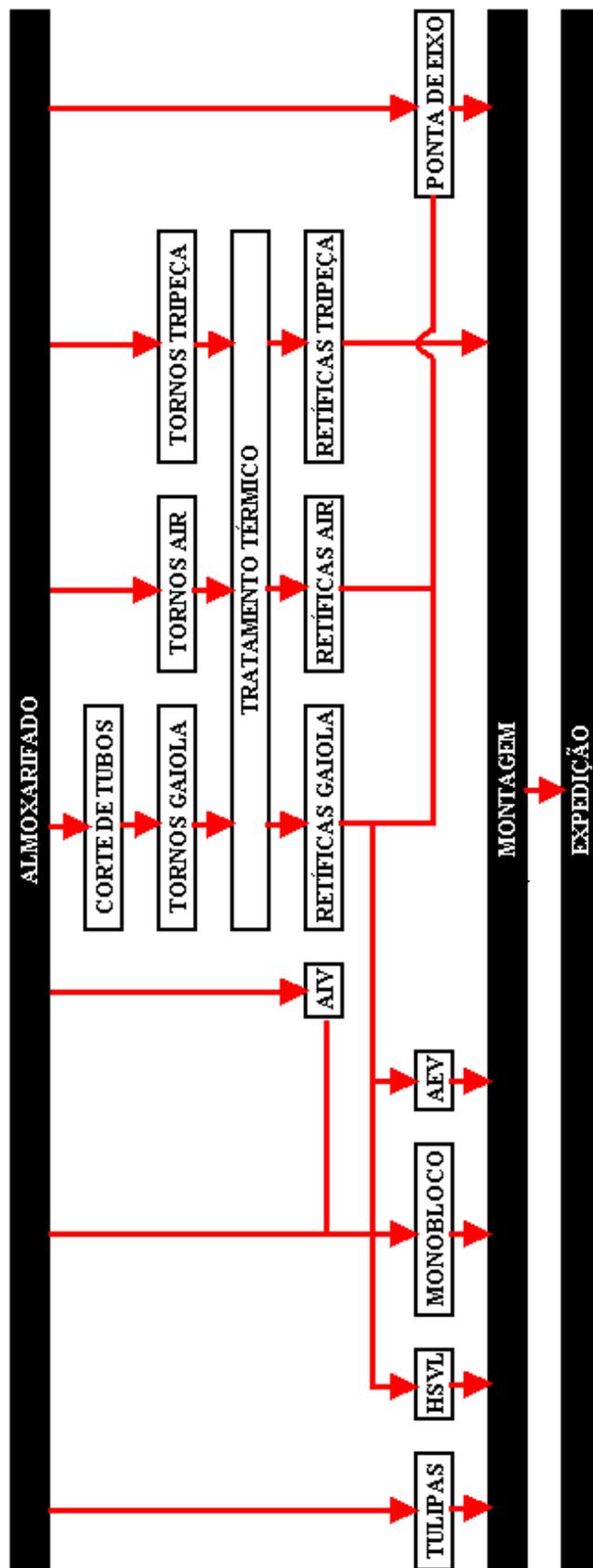
YANG, T.; SU, C.; HSU, Y. Systematic Layout Planning: a study on semiconductor wafer fabrication facilities. *International Journal of Operations Production Management*, v. 20, pp. 1359-1371. 2000.

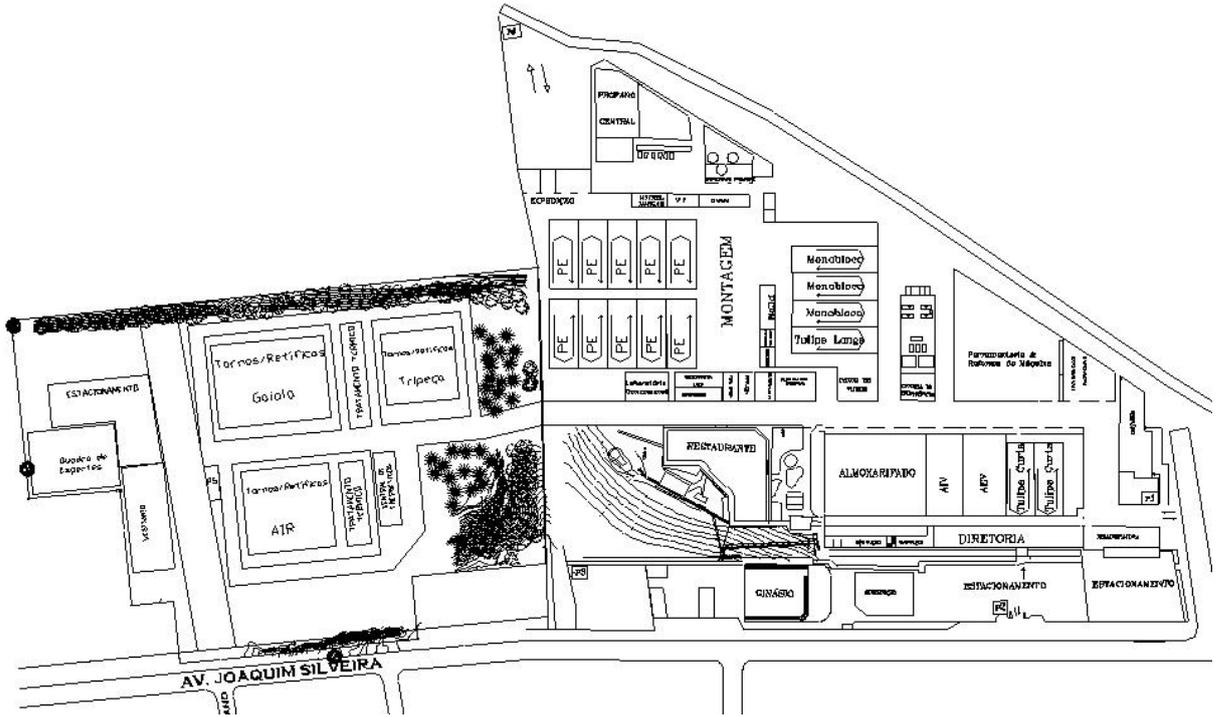
APÊNDICE A: Modelos e algoritmos de *layout* publicados entre 1986 e 1996 (Adaptado de MELLER & GAU, 1996)

AUTORES	ANO	CATEGORIA	NOTA
Aneke e Carrie	1986	C.1.b	Heurística de <i>layout</i> em linha
Gupta	1986	B.3.a	Simulação de flexibilidade de <i>layout</i>
Hassan, Hogg e Smith	1986	A.2.a	SHAPE
Rosenblatt	1986	B.1.a	Problema de <i>layout</i> dinâmico
Rosenblatt e Sinuany-Stern	1986	B.3.a	Seleção de <i>layout</i> robusto
Drezner	1987	A.2.b	Diagrama de dispersão baseado em autovetores
Evans, Wilhelm e Karwowski	1987	A.2.d	Construção de <i>layout</i> baseado em lógica confusa
Giffin e Foulds	1987	A.2.b	Medida de adjacência contínua, gráfica-teórica
Hassan e Hogg	1987	A.1.b	Revisão gráfica-teórica
Jacobs	1987	B.3.a	Múltiplos critérios
Montreuil, Ratliff e Goetschalckx	1987	A.2.b	MATCH
Rosenblatt e Lee	1987	B.3.b	Avaliação de <i>layout</i> robusto para o QAP
Urban	1987	B.3.b	Modelo objetivo ponderado
Wemmerlov e Hyer	1987	C.3.a	Visão geral sobre pesquisa de manufatura celular
Wilhelm e Ward	1987	A.2.d	Temperamento simulado para QAP
Co e Araar	1988	C.3.a	<i>Layout</i> de manufatura celular
Heragu e Kusiak	1988	C.2.a	<i>Layout</i> de máquinas em FMS
Kaku, Thompson e Baybars	1988	A.2.d	QAP multi-nível
Smith e Macleod	1988	A.1.a	Problema de empacotamento em série quadrático
Malakooti	1989	B.3.b	Heurística multiobjetiva
Malakooti e Tsurushima	1989	B.3.a	Sistema especial para escolha de <i>layout</i>
Montreuil e Ratliff	1989	A.1.a	Sistema de árvore para <i>layout</i>
Urban	1989	B.3.a	Multiobjetivo
Wemmerlov e Hyer	1989	C.3.a	Aplicação de manufatura celular
Heragu e Kusiak	1990	C.2.b	<i>Layout</i> de máquinas em FMS
Kouvelis e Kiran	1990	C.2.a	QAP modificado para manufatura
Montreuil	1990	A.1.c	Método MIP
Vakharia e Wemmerlov	1990	C.3.a	Projeto de manufatura celular
Al-Hakim	1991	A.2.b	Construção gráfico-teórica
Foulds	1991	A.1.b	Texto gráfico-teórico
Hassan e Hogg	1991	A.1.b	<i>Layout</i> de bloco por diagrama
Heragu e Kusiak	1991	A.1.c	Formulação MIP
Huntley e Brown	1991	A.2.d	Computação paralela para QAP
Kaku, Thompson e Morton	1991	A.2.d	Heurística QAP
Kouvelis e Kiran	1991	B.1.a	Modelos de <i>layout</i> dinâmico
Logendran	1991	C.3.a	Sequenciamento de operações e máquinas
Montreuil e Venkatadri	1991	B.1.a	Requisitos de <i>layout</i> dinâmico
Raoot e Rakshit	1991	A.2.a	Procedimentos de alocação heurística
Tam e Li	1991	A.2.a	HAL
Van Camp, Carter e Vannelli	1991	A.1.a	Otimização não-linear
Al-Hakim	1992	A.2.b	<i>Layout</i> de bloco por diagrama
Balakrishnan, Jacobs e Venkataramanan	1992	B.1.b	<i>Layout</i> de fábrica dinâmico para QAP
Banerjee <i>et al.</i>	1992	A.2.c	Construção racional
Boswell	1992	A.2.b	Construção gráfico-teórica - TESSA
Chhajed, Montreuil e Lowe	1992	A.1.a	Projeto de redes de fluxo
Goetschalckx	1992	A.2.b	SPIRAL
Harmonosky e Totho	1992	B.3.b	Heurística QAP multiobjetiva
Heragu e Alfa	1992	C.1.b	Temperamento simulado para <i>layout</i> em linha
Irani, Cohen e Cavalier	1992	C.3.a	<i>Layout</i> e formação de célula simultâneo

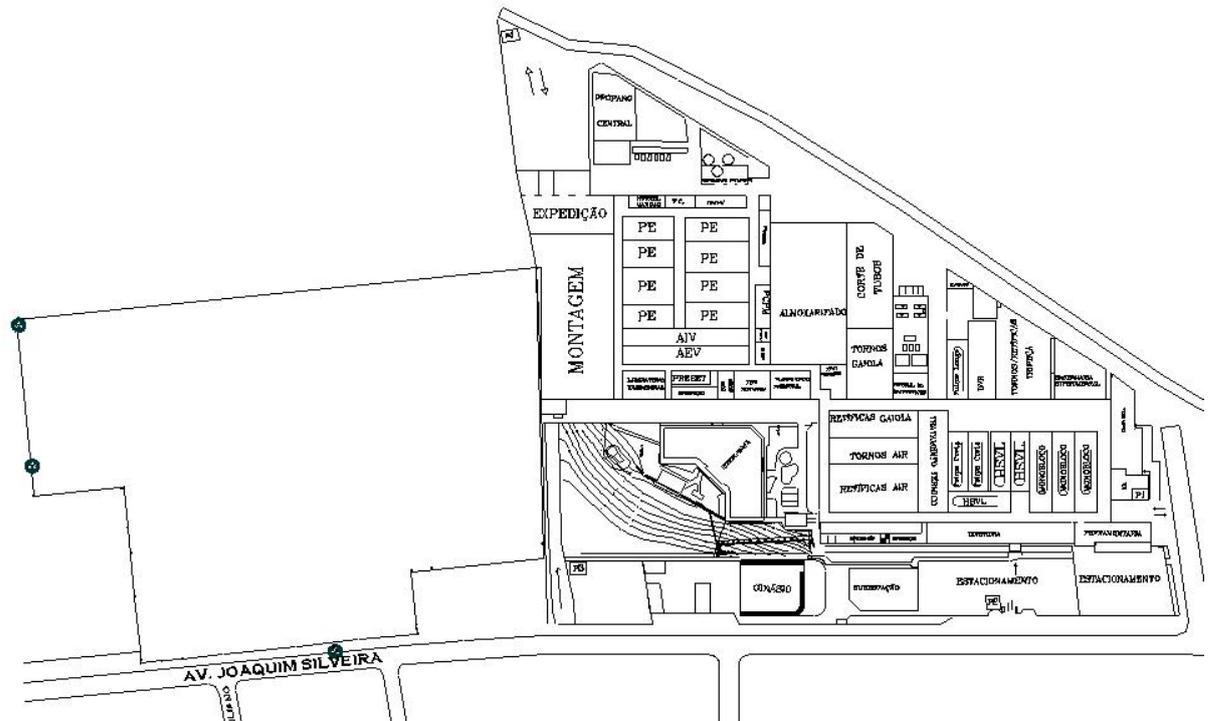
Jajodia <i>et al.</i>	1992	A.2.d	Temperamento simulado para QAP
Kaku e Rachamadugu	1992	C.1.b	Projeto de FMS
Kouvelis e Chiang	1992	C.1.b	Temperamento simulado para <i>layout</i> em linha
Kouvelis, Kurawarwala e Gutiérrez	1992	B.3.b	Modelo de <i>layout</i> robusto
Leung	1992	C.1.b	Construção gráfico-teórica
Montreuil e Laforge	1992	B.1.a	<i>Layout</i> dinâmico de fábrica
Palekar <i>et al.</i>	1992	B.1.a	Modelos QAP estocástico-dinâmico
Rosenblatt e Golany	1992	A.1.a	Método QAP alternativo
Rosenblatt e Kropp	1992	B.2.a	Problema de <i>layout</i> estocástico
Sarin <i>et al.</i>	1992	B.3.a	Método de decisão teórico para QAP
Tam	1992	A.2.a	Temperamento simulado e heurística de algoritmos genéticos
Urban	1992	B.1.a	Restrições para <i>layout</i> dinâmico
Das	1993	C.3.b	<i>Layout</i> de sistema de manufatura flexível
Ho, Lee e Moodie	1993	C.1.b	<i>Layout</i> multilinear
Irani, Cavalier e Cohen	1993	C.3.a	<i>Layout</i> e células de manufatura virtual
Liao	1993	C.1.b	Manufatura celular e linha
Montreuil, Venkatadri e Ratliff	1993	A.2.c	Projeto de esqueleto para MIP
Shang	1993	B.3.b	Multicritério hierárquico
Suresh e Sahu	1993	B.3.b	Temperamento simulado, QAP multiobjetivo
Tate e Smith	1993	A.2.a	FLEX-BAY
Urban	1993	B.1.b	Heurística de <i>layout</i> de fábrica dinâmico
Welgama e Gibson	1993	C.2.b	Problema do <i>layout</i> de máquinas
Bozer, Meller e Erlebacher	1994	A.2.a	MULTIPLE
Conway e Venkataramanan	1994	B.1.b	Algoritmo genético para QAP dinâmico
Heragu e Gupta	1994	C.3.b	Projeto de manufatura celular
Lacksonen	1994	A.2.c	<i>Layout</i> dinâmico MIP
Langevin, Montreuil e Riopel	1994	C.1.a	<i>Layout</i> em espinha
Sirinaovakul e Thajchayapong	1994	A.2.d	Departamentos de formas fixas
Skorin-Kapov	1994	A.2.d	Tabu para QAP
Tretheway e Foote	1994	A.2.b	Diagrama de dispersão para <i>layout</i> de fábrica
Welagama, Gibson e Al-Hakim	1994	A.2.b	Diagrama de conhecimento para <i>layout</i>
Banerjee e Zhou	1995	C.1.a	<i>Layout</i> de <i>loop</i> simples
Hassan	1995	A.2.b	<i>Layout</i> de tecnologia de grupo
Kim e Kim	1995	A.2.b	Gráfico-teórico
Kouvelis, Chiang e Yu	1995	C.1.a	Modelos de <i>layout</i> em linha
Sarker <i>et al.</i>	1995	C.1.a	Locação de máquinas unidimensionais
Souilah	1995	A.2.d	Projeto hierárquico simulado
Benjaafar, Sheikhzadeh e Soewito	1996	B.3.a	<i>Layouts</i> flexíveis
Chiang e Kouvelis	1996	A.2.d	Tabu
Fu e Kaku	1996	A.1.a	<i>Work-in-process</i> vs. <i>layout</i>
Liao <i>et al.</i>	1996	C.3.a	Manufatura celular e linha
Meller e Bozer	1996	A.2.a	Algoritmo de temperamento simulado
Meller e Gau	1996	B.3.a	Estudo de objetivos de <i>layout</i>
Goldschmidt, Takvorian e Yu	1996	A.1.b	Representação gráfica

APÊNDICE C: Representação Esquemática do Fluxo de Processo dentro da empresa





Alternativa (c)



Alternativa (d)

APÊNDICE E: Matriz de comparação par-a-par das alternativas de macro-*layout* para o critério maximizar fatores humanos e sua matriz normalizada

Alternativas	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
(a)	1	4	6	5	1/4	1/6	1/2	1/6	1/9
(b)	1/4	1	5	3	1/5	1/6	1/3	1/6	1/9
(c)	1/6	1/5	1	1/2	1/5	1/7	1/4	1/7	1/9
(d)	1/5	1/3	2	1	1/4	1/6	1/3	1/6	1/8
(e)	4	5	5	4	1	1/3	3	1/3	1/5
(f)	6	6	7	6	3	1	3	1	1/4
(g)	2	3	4	3	1/3	1/3	1	1/3	1/7
(h)	6	6	7	6	3	1	3	1	1/3
(i)	9	9	9	8	5	4	7	3	1

Normalizada	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
(a)	0,03	0,12	0,13	0,14	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05
(b)	0,01	0,03	0,11	0,08	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05
(c)	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,05
(d)	0,01	0,01	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05
(e)	0,14	0,14	0,11	0,11	0,08	0,05	0,16	0,05	0,08
(f)	0,21	0,17	0,15	0,16	0,23	0,14	0,16	0,16	0,10
(g)	0,07	0,09	0,09	0,08	0,03	0,05	0,05	0,05	0,06
(h)	0,21	0,17	0,15	0,16	0,23	0,14	0,16	0,16	0,14
(i)	0,31	0,26	0,20	0,22	0,38	0,55	0,38	0,48	0,42

APÊNDICE F: Matriz de comparação par-a-par das alternativas de macro-*layout* para o critério maximizar relacionamento entre as SPUs e sua matriz normalizada

Alternativas	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
(a)	1	1/7	3	1/3	1/5	1/9	1/4	1/2	1/2
(b)	7	1	8	3	5	1/4	4	6	6
(c)	1/3	1/8	1	1/5	1/7	1/8	1/6	1/3	1/3
(d)	3	1/3	5	1	1/3	1/5	1/2	2	2
(e)	5	1/5	7	3	1	1/3	2	4	4
(f)	9	4	8	5	3	1	3	5	5
(g)	4	1/4	6	2	1/2	1/3	1	3	3
(h)	2	1/6	3	1/2	1/4	1/5	1/3	1	1
(i)	2	1/6	3	1/2	1/4	1/5	1/3	1	1

Normalizada	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
(a)	0,03	0,02	0,07	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02
(b)	0,21	0,16	0,18	0,19	0,47	0,09	0,35	0,26	0,26
(c)	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01
(d)	0,09	0,05	0,11	0,06	0,03	0,07	0,04	0,09	0,09
(e)	0,15	0,03	0,16	0,19	0,09	0,12	0,17	0,18	0,18
(f)	0,27	0,63	0,18	0,32	0,28	0,36	0,26	0,22	0,22
(g)	0,12	0,04	0,14	0,13	0,05	0,12	0,09	0,13	0,13
(h)	0,06	0,03	0,07	0,03	0,02	0,07	0,03	0,04	0,04
(i)	0,06	0,03	0,07	0,03	0,02	0,07	0,03	0,04	0,04

APÊNDICE G: Matriz de comparação par-a-par das alternativas de macro-*layout* para o critério maximizar flexibilidade para futuras expansões e sua matriz normalizada

Alternativas	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
(a)	1	1/4	5	1/7	1/7	1/4	1/4	1/9	1/9
(b)	4	1	4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/7	1/7
(c)	1/5	1/4	1	1/7	1/7	1/4	1/4	1/9	1/9
(d)	7	4	7	1	1	5	5	1/3	1/3
(e)	7	4	7	1	1	5	5	1/3	1/3
(f)	4	4	4	1/5	1/5	1	1	1/5	1/5
(g)	4	4	4	1/5	1/5	1	1	1/5	1/5
(h)	9	7	9	3	3	5	5	1	1
(i)	9	7	9	3	3	5	5	1	1

Normalizada	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
(a)	0,02	0,01	0,10	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03
(b)	0,09	0,03	0,08	0,03	0,03	0,01	0,01	0,04	0,04
(c)	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03
(d)	0,15	0,13	0,14	0,11	0,11	0,22	0,22	0,10	0,10
(e)	0,15	0,13	0,14	0,11	0,11	0,22	0,22	0,10	0,10
(f)	0,09	0,13	0,08	0,02	0,02	0,04	0,04	0,06	0,06
(g)	0,09	0,13	0,08	0,02	0,02	0,04	0,04	0,06	0,06
(h)	0,20	0,22	0,18	0,34	0,34	0,22	0,22	0,29	0,29
(i)	0,20	0,22	0,18	0,34	0,34	0,22	0,22	0,29	0,29

APÊNDICE H: Matriz de comparação par-a-par das alternativas de macro-*layout* para o critério minimizar re-*layout* e sua matriz normalizada

Alternativas	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
(a)	1	1/7	1/5	3	1/5	1/7	3	7	5
(b)	7	1	5	7	3	1/2	5	9	7
(c)	5	1/5	1	3	1/3	1/5	2	5	3
(d)	1/3	1/7	1/3	1	1/5	1/7	1/3	3	1/2
(e)	5	1/3	3	5	1	1/3	4	7	6
(f)	7	2	5	7	3	1	5	9	8
(g)	1/3	1/5	1/2	3	1/4	1/5	1	4	3
(h)	1/7	1/9	1/5	1/3	1/7	1/9	1/4	1	1/3
(i)	1/5	1/7	1/3	2	1/6	1/8	1/3	3	1

Normalizada	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
(a)	0,04	0,03	0,01	0,10	0,02	0,05	0,14	0,15	0,15
(b)	0,27	0,23	0,32	0,22	0,36	0,18	0,24	0,19	0,21
(c)	0,19	0,05	0,06	0,10	0,04	0,07	0,10	0,10	0,09
(d)	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02	0,05	0,02	0,06	0,01
(e)	0,19	0,08	0,19	0,16	0,12	0,12	0,19	0,15	0,18
(f)	0,27	0,47	0,32	0,22	0,36	0,36	0,24	0,19	0,24
(g)	0,01	0,05	0,03	0,10	0,03	0,07	0,05	0,08	0,09
(h)	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01
(i)	0,01	0,03	0,02	0,06	0,02	0,05	0,02	0,06	0,03

APÊNDICE I: Matriz de comparação par-a-par das alternativas de macro-*layout* para o critério minimizar custo e sua matriz normalizada

Alternativas	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
(a)	1	1/3	3	5	6	4	5	8	7
(b)	3	1	4	6	7	1	6	9	8
(c)	1/3	1/4	1	3	4	2	3	7	6
(d)	1/5	1/6	1/3	1	2	1/2	1	5	4
(e)	1/6	1/7	1/4	1/2	1	1/3	1/2	4	3
(f)	1/4	1	1/2	2	3	1	5	6	5
(g)	1/5	1/6	1/3	1	2	1/5	1	5	4
(h)	1/8	1/9	1/7	1/5	1/4	1/6	1/5	1	2
(i)	1/7	1/8	1/6	1/4	1/3	1/5	1/4	1/2	1

Normalizada	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
(a)	0,18	0,10	0,31	0,26	0,23	0,43	0,23	0,18	0,18
(b)	0,55	0,30	0,41	0,32	0,27	0,11	0,27	0,20	0,20
(c)	0,06	0,08	0,10	0,16	0,16	0,21	0,14	0,15	0,15
(d)	0,04	0,05	0,03	0,05	0,08	0,05	0,05	0,11	0,10
(e)	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	0,09	0,08
(f)	0,05	0,30	0,05	0,11	0,12	0,11	0,23	0,13	0,13
(g)	0,04	0,05	0,03	0,05	0,08	0,02	0,05	0,11	0,10
(h)	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,05
(i)	0,03	0,04	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03

APÊNDICE J: Matriz de comparação par-a-par das alternativas de macro-*layout* para o critério maximizar aproveitamento de área e sua matriz normalizada

Alternativas	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
(a)	1	3	1/7	5	6	4	4	6	6
(b)	1/3	1	1/9	3	4	2	2	4	4
(c)	7	9	1	3	4	2	2	4	4
(d)	1/5	1/3	1/3	1	2	1/2	1/2	2	2
(e)	1/6	1/4	1/4	1/2	1	1/3	1/3	1	1
(f)	1/4	1/2	1/2	2	3	1	1	3	3
(g)	1/4	1/2	1/2	2	3	1	1	3	3
(h)	1/6	1/4	1/4	1/2	1	1/3	1/3	1	1
(i)	1/6	1/4	1/4	1/2	1	1/3	1/3	1	1

Normalizada	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
(a)	0,10	0,20	0,04	0,29	0,24	0,35	0,35	0,24	0,24
(b)	0,03	0,07	0,03	0,17	0,16	0,17	0,17	0,16	0,16
(c)	0,73	0,60	0,30	0,17	0,16	0,17	0,17	0,16	0,16
(d)	0,02	0,02	0,10	0,06	0,08	0,04	0,04	0,08	0,08
(e)	0,02	0,02	0,07	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04
(f)	0,03	0,03	0,15	0,11	0,12	0,09	0,09	0,12	0,12
(g)	0,03	0,03	0,15	0,11	0,12	0,09	0,09	0,12	0,12
(h)	0,02	0,02	0,07	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04
(i)	0,02	0,02	0,07	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04

APÊNDICE L: Matriz de comparação par-a-par das alternativas de macro-*layout* para o critério maximizar linearidade de fluxo e sua matriz normalizada

Alternativas	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
(a)	1	1/5	1/4	1/3	1/5	1/7	1/7	1/5	1/5
(b)	5	1	4	5	1	1/5	1/3	2	2
(c)	4	1/4	1	1	1/3	1/5	1/5	4	4
(d)	3	1/5	1	1	1/3	1/4	1/4	3	3
(e)	5	1	3	3	1	1/3	1/3	2	2
(f)	7	5	5	4	3	1	1	5	5
(g)	7	3	5	4	3	1	1	5	5
(h)	5	1/2	1/4	1/3	1/2	1/5	1/5	1	1
(i)	5	1/2	1/4	1/3	1/2	1/5	1/5	1	1

Normalizada	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
(a)	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,04	0,01	0,01
(b)	0,12	0,09	0,20	0,26	0,10	0,06	0,09	0,09	0,09
(c)	0,10	0,02	0,05	0,05	0,03	0,06	0,05	0,17	0,17
(d)	0,07	0,02	0,05	0,05	0,03	0,07	0,07	0,13	0,13
(e)	0,12	0,09	0,15	0,16	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09
(f)	0,17	0,43	0,25	0,21	0,30	0,28	0,27	0,22	0,22
(g)	0,17	0,26	0,25	0,21	0,30	0,28	0,27	0,22	0,22
(h)	0,12	0,04	0,01	0,02	0,05	0,06	0,05	0,04	0,04
(i)	0,12	0,04	0,01	0,02	0,05	0,06	0,05	0,04	0,04