

# Planejamento sistemático de *layout* com apoio de análise de decisão multicritério

**Guilherme L. Tortorella** GKN Driveline S/A

**Flávio S. Fogliatto** UFRGS

## 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 macroespaço, como o SLP (*Systematic Layout Planning – Planejamento Sistemático de Layout*), podem auxiliar no desenvolvimento de alternativas de *layout*. Contudo, devido à geração de soluções subótimas com benefícios e desvantagens distintos, 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. Este artigo propõe a utilização de ferramentas de apoio à decisão multicritério em sistemáticas de planejamento de *layout*, refinando a fase de Seleção do método SLP. A sistemática 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* foram geradas no caso apresentado, sendo avaliada a melhor alternativa geral em relação a sete critérios de avaliação.

## PALAVRAS-CHAVE

Planejamento Sistemático de *Layout*, análise multicritério, AHP

## *Systematic layout planning aided by multicriteria decision analysis*

## ABSTRACT

*The proper use of physical space in a factory is an important operational factor since it establishes its primary organization as well as the material and information flow patterns, with long run impacts. In order to systematize an adequate plant layout, methods for macro-space planning such as SLP (Systematic Layout Planning) have been proposed to 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 layout alternative becomes critical to assure the company's efficiency and flexibility, when facing different market scenarios. In this paper we propose the use of multicriteria decision support tools in conjunction with SLP. The multicriteria analysis proposed is illustrated in a case study from the automotive industry. The company analyzed is expanding its physical area to house new machines and optimize material flows. Nine different macro-layout alternatives were generated and the best overall alternative was evaluated in relation to seven criteria using AHP (Analytic Hierarchy Process).*

## KEY WORDS

*Systematic Layout Planning, Multicriteria Analysis, AHP.*

## 1. INTRODUÇÃO

O planejamento do macroespaço de uma fábrica é frequentemente o nível mais importante do planejamento de uma instalação (LEE, 1998). Este estabelece a organização fundamental da fábrica e os padrões de fluxo de materiais, com efeitos que se farão presentes no longo prazo. 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 material, pessoas ou fluxo de trabalho. A importância da distribuição física de uma empresa é reforçada pelas consequências em longo prazo das decisões e do custo de re-projetar a planta. Assim, um *layout* inicial correto é fundamental para a efetividade e eficiência operacional de uma empresa (URBAN, 1989).

## Neste artigo, demonstra-se através de um caso prático a adequação do AHP como ferramenta de análise de decisão complementar ao SLP.

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 abordagens 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 et al., 1999). Uma abordagem sistemática que tem sido largamente aplicada é o Planejamento Sistemático de *Layout* ou SLP (*Systematic Layout Planning*), desenvolvido por Muther et al., (2000). Esse método usa um sistema de taxas de relacionamento e busca arranjar os departamentos baseando-se na inter-relação departamental (URBAN, 1989). Assim, um *layout* que minimize o *work-in-process* também minimiza o manuseio de materiais e o *lead time* do processo (FU et al., 1997).

Na indústria automobilística brasileira, o ramo de semi-eixos homocinéticos (SEH) tem enfrentado dificuldades em atender a demanda do mercado externo e interno devido à falta de capacidade produtiva. Isto se deve ao fato de o Brasil ser atualmente encarado como ponto estratégico de fornecimento devido à mão-de-obra abundante e barata, além das facilidades fiscais para empresas multinacionais. Em função disto, não só o volume demandado, mas também a variedade de produtos tende a aumentar. Para atender aos clientes é necessário que as empresas do ramo, que são tipicamente metal-mecânicas, expandam sua área fabril de

maneira eficiente sem perda de qualidade, processo ou fluxo, visando o aumento de produtividade. Nesse sentido, o desenvolvimento de bons *layouts* possibilita que os materiais, o pessoal e as informações fluam de uma forma eficiente e segura (TREIN et al., 2001).

Este trabalho tem por tema sistemáticas de planejamento de *layout*. Estas dividem o processo de planejamento em diversas etapas que são sequencialmente solucionadas; 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*.

O artigo traz duas contribuições relevantes para a literatura sobre planejamento de *layout*. A primeira vem na forma de um relatório completo de aplicação do SLP na indústria metal-mecânica. Por se tratar de um método embasado em macroetapas genéricas, a sua aplicação demanda um detalhamento dos passos inseridos em cada etapa, o que é relativamente escasso na literatura (exceções são os trabalhos de TREIN e AMARAL, 2001, e COSTA, 2004). Segundo, o artigo propõe a utilização do AHP (*Analytic Hierarchy Process* ou Processo Hierárquico Analítico; SAATY, 1980) na etapa de seleção do SLP. A literatura sobre SLP apenas sugere o uso de técnicas de análise multicriterial na etapa de seleção do método, sem maior detalhamento. Neste artigo, demonstra-se através de um caso prático a adequação do AHP como ferramenta de análise de decisão complementar ao SLP.

As propostas aqui apresentadas foram aplicadas 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.

O restante deste artigo está dividido em quatro seções. Na seção 2 são apresentados (i) o método SLP e (ii) as alternativas de técnicas de análise multicriterial disponíveis na literatura, compatíveis com o SLP. Na seção 3 apresenta-se a metodologia de trabalho proposta, baseada no SLP, com os passos operacionais ilustrados em um estudo de caso. Na seção 4 são apresentados os resultados práticos obtidos a partir da adoção da metodologia de trabalho no estudo de caso. Uma seção de conclusões encerra o artigo.

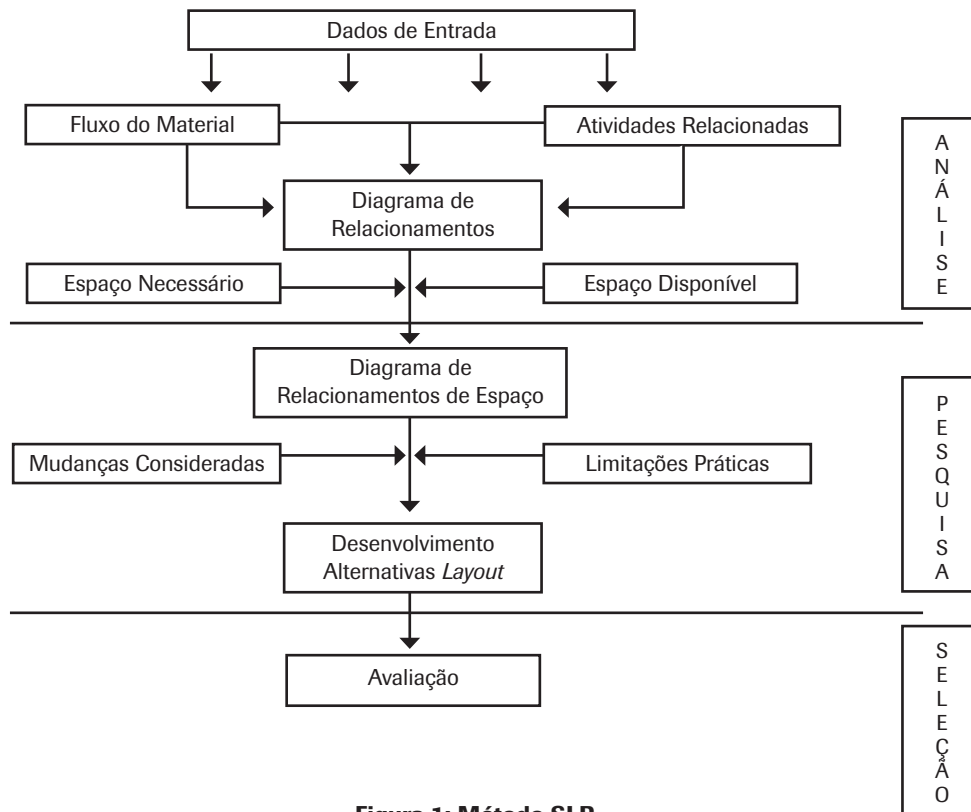
**2. REFERENCIAL TEÓRICO**

O problema do *layout* de uma planta está relacionado com a definição do arranjo mais eficiente de *m* departamentos indivisíveis com diferentes requisitos de área (MELLER et al., 1996). O procedimento do SLP pode ser usado seqüencialmente para desenvolver inicialmente um *layout* de blocos e, a partir deste, obter o detalhamento de cada setor planejado (TOMPKINS et al., 1996). Antes do prosseguimento de qualquer planejamento de *layout*, todos os detalhes relacionados com processos produtivos e fluxo de materiais devem ser obtidos (WILDE, 1996). O SLP inicia com uma análise designada pelas iniciais PQRST (produto, quantidade, rota, suporte e tempo); tal análise auxilia na coleta organizada dos dados de entrada do problema, que constitui a etapa inicial do fluxograma na Figura 1.

O método do SLP, sumarizado na Figura 1, é dividido em três fases. A fase de *Análise* inicia com a avaliação do fluxo de materiais, onde todos os fluxos da produção são agregados em uma planilha *De-Para* que representa a intensidade de fluxo entre os diferentes departamentos. As atividades relacionadas são qualitativamente analisadas aos pares,

com vistas a decidir a necessidade de proximidade entre os diferentes departamentos (YANG et al., 2000). O diagrama de relacionamento posiciona e explicita as taxas de relacionamento entre setores, definindo, assim, quais devem estar próximos. A partir da análise de espaço necessário e espaço disponível, determina-se a quantia de espaço fabril a ser reservada a cada departamento. Esta decisão é crítica para o projeto devido à possibilidade de futuras expansões (YANG et al., 2000). A proximidade ou adjacência das atividades, simplesmente, não tem significado até que necessidades de espaço sejam vinculadas a essa informação (MUTHER et al., 2000).

A fase de *Pesquisa* inicia-se com a elaboração de um diagrama de relacionamento de espaço, que adiciona as áreas dos departamentos ao diagrama de relacionamento. Nesta fase, obtém-se inicialmente um arranjo ideal de espaços. Na seqüência, trabalha-se com um arranjo realístico, idealmente apresentando uma mínima variação com relação ao ideal (MUTHER et al., 2000). Restrições adicionais de projeto e limitações práticas são consideradas antes do início do desenvolvimento do *layout* de blocos (YANG et al., 2000).



**Figura 1: Método SLP.**

Fonte: Adaptada de Tompkins et al., 1996.

Após desenvolvimento do *layout*, inicia-se a fase de *Seleção*, em que *layouts* sofrem uma avaliação de viabilidade e aprovação entre os departamentos envolvidos. Este processo de avaliação deve considerar se os critérios de projeto foram satisfeitos (KERNS, 1999). Além disso, ele permite que os usuários-chave e as pessoas que vão aprovar o *layout* participem das decisões (MUTHER et al., 2000).

### 2.1. Análise multicriterial aplicada ao problema de layout

Apesar do problema do *layout* de fábrica ser um tema de grande relevância prática, 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).

**A**s propostas aqui apresentadas foram aplicadas no planejamento de *layout* de uma empresa do ramo automotivo que se encontra em processo de expansão de seu parque fabril devido à necessidade de aumento em sua capacidade produtiva.

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) argumentam 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*.

Lin e Sharp (1999a) apresentam na Figura 2 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.

Os critérios de avaliação de alternativas de *layout* na Figura 2 são melhor utilizados em conjunto com metodologias de apoio à tomada de decisão multicritério. A necessidade por tais metodologias deriva do fato de que na maioria das situações em que se tem que decidir, vários objetivos e pontos

de vista devem ser simultaneamente considerados, sendo eles geralmente conflitantes entre si. Por isso, o processo de decisão deve ser orientado por uma análise com métodos multicriteriais para apoiar o analista na escolha das alternativas. A análise multicriterial guia o processo de escolha, ordenação ou classificação das ações potenciais. Além disso, busca incorporar múltiplos aspectos nesse processo, ao invés dos métodos unicriteriais da Pesquisa Operacional tradicional (MORAIS; ALMEIDA, 2002).

Segundo Vincke *apud* Moraes e Almeida (2002), algumas técnicas multicritério poderiam ser utilizadas na análise de *layouts* alternativos, 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 a partir de Múltiplos Critérios), pertencente à escola Americana, e a MCDA (*Multicriteria Decision Aid* ou Apoio à Decisão Multicritério), pertencente à escola Européia. A adoção de um desses modelos é normalmente justificada por argumentos relacionados à natureza do problema a ser analisado.

A abordagem de subordinação ou *outranking* surgiu nos países de língua francesa como 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 apresentar questões excessivamente complexas aos decisores (ENSSLIN et al., 2001).

A abordagem de critério único de síntese, basicamente ligada aos países de língua inglesa, pode ser ilustrada através da MAUT (*Multi-attribute Utility Theory* ou Teoria de Utilidade de Múltiplos Atributos). Nela, 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 da MAUT ocorre ao se empregar 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 um método de critério único de síntese (ENSSLIN et al., 2001).

O AHP é uma ferramenta de apoio à tomada de decisão que permite identificar a melhor alternativa em um grupo de candidatas, tendo em vista critérios predefinidos de seleção.

O AHP é baseado em três etapas básicas: (i) organização do problema em uma estrutura hierárquica que reflita as relações existentes entre os critérios de decisão e as alternativas candidatas; (ii) comparação pareada entre elementos posicionados em um nível hierárquico com relação a elementos no nível superior adjacente; e (iii) análise das matrizes de comparações geradas em (ii) através do cálculo de autovetores e autovalores máximos, e de indicadores de desempenho deles derivados, tais como os índices de consistência das avaliações. O AHP foi originalmente proposto por Saaty (1980), tendo seus fundamentos matemáticos aprofundados e ampliados em Saaty e Vargas (1987).

O AHP é uma das ferramentas de apoio à tomada de decisão multicritério com maior número de aplicações práticas reportadas na literatura, particularmente em problemas envolvendo avaliações subjetivas. As áreas de aplicação incluem engenharia, educação, indústria e setores governa-

mentais; os problemas abordados são tipicamente de seleção e avaliação de alternativas. O AHP é tipicamente utilizado como ferramenta isolada de priorização, mas aplicações em conjunto com outras técnicas, como, por exemplo, o QFD (*Quality Function Deployment* ou Desdobramento da Função Qualidade) podem ser encontradas nos trabalhos de Koksall e Egitman (1998) e Myint (2003). O trabalho de Zahedi (1986) traz o primeiro levantamento bibliográfico de aplicações do AHP, atualizado, posteriormente, por Vargas (1990), Tummala e Wan (1994) e, mais recentemente, por Vaidya e Kumar (2006).

Guglielmetti et al. (2003) realizaram uma comparação entre o AHP e outros métodos de análise multicritério como o *Electre* e o MAHP. Os métodos foram avaliados quanto as suas características de desempenho na entrada dos dados, saída dos dados e interface entre tomador de decisão e método. Para a escolha do método apropriado ao desenvolvimen-

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 2: Classificação de critérios de avaliação de alternativas de layout.**

Fonte: Adaptado de LIN; SHARP, 1999a



to da pesquisa, realizou-se um estudo da literatura disponível sobre os métodos existentes. Neste intento, foram considerados principalmente os seguintes aspectos: consistência, lógica, transparência, facilidade de uso, quantidade de aplicações práticas e publicações científicas, tempo requerido para o processo de análise e disponibilidade de *software*.

Seguindo os critérios propostos por Guglielmetti et al. (2003), optou-se pela adoção do AHP como técnica multicritério por possui atributos desejáveis para a realização do presente estudo, tais como (STEIGUER et al., 2005): (i) é um processo de decisão estruturado que pode ser documentado e repetido, (ii) é aplicável a situações que envolvem julgamentos subjetivos, (iii) utiliza tanto dados quantitativos quanto qualitativos, (iv) prevê medidas de consistência das preferências, (v) há uma ampla documentação sobre suas aplicações práticas na literatura e (vi) seu uso é apropriado para grupos de decisão.

Limitações do AHP foram analisadas por Belton & Gear (1982) e Dyer (1990), entre outros, estando vinculadas a diferentes aspectos do método. A principal limitação apontada pelos autores está relacionada à mudança da posição

## A pesar do problema do layout de fábrica ser um tema de grande relevância prática, a literatura sobre sistemáticas para a avaliação das alternativas de layout é relativamente limitada.

relativa de algumas das opções no momento da introdução de novas opções no problema (conhecido como problema da reversão de *ranking*). Harker e Vargas (1990) apresentam uma argumentação onde questionam a relevância prática do problema. Problemas de escolha de *layout* costumam partir de um conjunto predefinido de alternativas, dificilmente sendo incorporados novos *layouts* à medida que o processo de tomada de decisão se desenrola, dada a complexidade da tarefa de desenvolvimento de *layouts* alternativos. A escolha do AHP como técnica multicritério a ser utilizada em conjunto com o SLP surge, assim, como adequada.

Yang et al. (2000) utilizam o AHP como ferramenta de auxílio à decisão para resolução do problema de *layout* de uma fábrica de semicondutores elétricos devido a sua praticidade de aplicação. Após a geração de diversas 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 originalmente reportado em Yang et al. (2000) 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.

Neste artigo, aplica-se o AHP em contexto similar ao de Yang et al. (2000). Entretanto, como no caso em questão analisam-se alternativas de macro-*layout*, os critérios de avaliação diferem daqueles propostos pelos autores. Adicionalmente, as etapas de geração das alternativas através dos passos iniciais do SLP são detalhadas neste artigo, ao contrário da apresentação em Yang et al. (2000).

### 3. METODOLOGIA DE TRABALHO E CASO PRÁTICO

A metodologia aqui utilizada está baseada nas três fases do SLP, implementadas através das etapas operacionais listadas na Figura 3 e brevemente introduzidas nas subseções

que se seguem. Especial ênfase é dada à fase final, de seleção das alternativas de *layout*. Na operacionalização desta fase, utiliza-se o AHP. Em paralelo ao detalhamento da metodologia, apresenta-se a sua aplicação em um estudo de caso. Optou-se por esta estratégia de apresentação para evitar redundâncias e objetivar a apresentação do SLP, já que algumas

de suas etapas são auto-explicativas e, assim, plenamente visualizáveis através do exemplo.

#### 3.1 Fase de análise

O primeiro conjunto de tarefas no planejamento sistemático de *layout* envolve a coleta de informações, tanto quantitativas quanto qualitativas, necessárias para desenvolver planos de macroespaço 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). O SLP inicia-se, 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).

##### 3.1.1 Dados de entrada

Anualmente o departamento de vendas da empresa em estudo realiza uma análise de mercado, onde faz as proje-

ções 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. Nesta análise, estima-se a demanda de todos os itens atualmente fabricados e a possibilidade de participação em novos projetos. A Tabela 1 mostra os volumes de produção anual atuais e o volume anual projetado para daqui a cinco anos; no longo prazo, pode-se notar uma projeção de crescimento significativo de mercado.

### 3.1.2 Análise do fluxo de materiais

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, podem-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 submontagens 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).

A análise de fluxo de materiais foi separada em duas etapas: a primeira consistiu 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 consistiu na 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.

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.

Verificou-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

**Tabela 1: 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%

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.

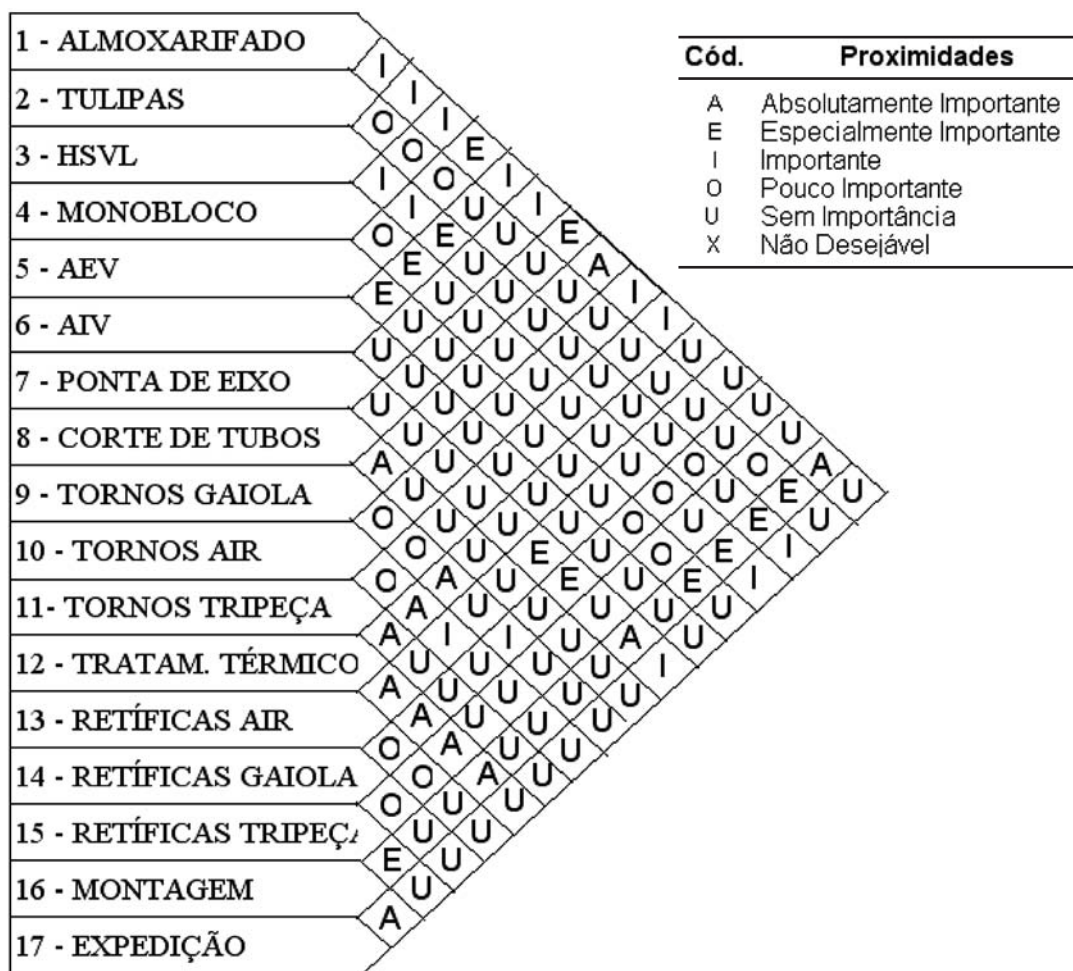
Além disso, constatou-se que o fluxo de entrada de materiais na empresa ocorria de maneira desigual, havendo maior intensidade de trânsito durante o horário comercial (das 8:00 às 18:00 horas), o qual acumulava cerca de 72% das entregas e coletas de materiais. Isto evidenciava uma subutilização de recursos 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.

Já na análise de fluxo interno de materiais, primeiramente, buscou-se compreender a hierarquia entre os processos de manufatura, de modo a determinar qual a seqüência

adequada de fabricação dos produtos. 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, gerando-se um diagrama de relacionamentos entre as SPUs, como ilustra a Figura 3. Este permitiria priorizar a proximidade das SPUs de maior intensidade de relacionamento no desenvolvimento de alternativas de layout.

**3.1.3 Análise do espaço**

Os estudos de capacidade fabril *versus* demanda foram baseados nos dados da Tabela 1. A partir dessas projeções, verificou-se que a empresa teria dificuldade em atender o



**Figura 3: Diagrama de relacionamentos das SPUs.**



mercado para a maioria dos itens já no ano corrente, devido à falta de capacidade produtiva. Esta verificação alertou para a necessidade de investimentos em novos equipamentos a fim de aumentar os níveis de produção. Contudo, não havia mais espaço físico no parque fabril atual da empresa para alocação de novos equipamentos. Como esse crescimento de mercado já havia sido previsto com certa antecedência, um novo terreno, contíguo ao terreno onde a empresa se situa atualmente, foi comprado a fim de possibilitar uma expansão predial.

Assim, a determinação do layout da fábrica, considerando a expansão fabril e a reorientação de fluxos de materiais, era extremamente importante, visto que disto dependia o atendimento do mercado para os próximos anos. A Figura 4 mostra o layout atual da empresa em questão e o terreno contíguo adquirido para possibilitar a ampliação fabril.

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 2 compara as necessidades de área para cada unidade produtiva em relação às suas áreas existentes, balizadas pelas informações sobre previsão de demanda futura dos itens processados nas unidades produtivas.

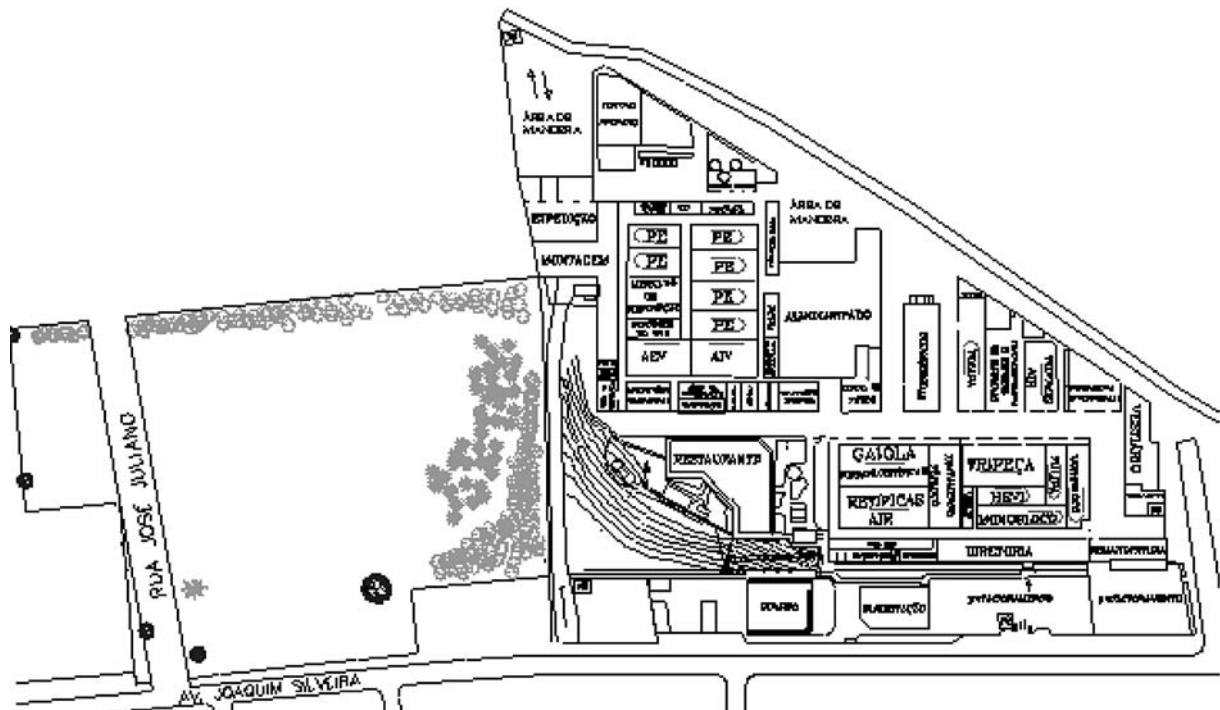
### 3.2 Fase de pesquisa

Esta fase consolida as informações obtidas e dá início ao processo de elaboração das alternativas de layout, respeitando os níveis de relacionamento entre SPUs, as requisições de área e as limitações práticas existentes.

#### 3.2.1 Limitações práticas do layout

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).

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 ne-



**Figura 4:** Layout atual da empresa com o terreno adquirido para possibilitar expansão (à esquerda).

cessidade 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,

**O**s critérios de avaliação de alternativas de *layout* são melhor utilizados em conjunto com metodologias de apoio à tomada de decisão multicritério.

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

### 3.2.2 Desenvolvimento das 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,

aplicam-se as limitações existentes sobre o *layout* primitivo e desenvolvem-se alternativas de macro-*layout* baseadas em diferentes conceitos e, portanto, diferentes vantagens e desvantagens.

### 3.3 Fase de seleção

#### 3.3.1 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

**Tabela 2: Áreas atuais e futuras de cada unidade produtiva.**

Áreas Produtivas	2004	2009	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%

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 (1), onde  $A_T$  representa área total do terreno e  $A_{0_j}$  a 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.

$$F_{e_j} = \frac{A_{0_j}}{A_T} \quad (1)$$

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 (2), onde NS 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.

$$N_{RL_j} = \frac{N_{M_j}}{N_S} \quad (2)$$

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 vazios devido a irregularidades na geometria das áreas. Este critério foi mensurado através do índice do tipo maior-é-melhor UA, o qual foi obtido através do quociente entre área total ocupada pelas SPUs e a área total coberta.

Linearidade de fluxo está relacionada 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 (3). 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.

$$D_{P_j} = \sum_{i=1}^n \frac{V_{D_i}}{D_{PS_{ij}}} \quad (3)$$

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 eficazmente as alternativas de layout aproximam as SPUs com maior intensidade de relacionamento, foram analisados de maneira subjetiva e, portanto, não possuem nenhum índice associado. Suas avaliações foram baseadas na opinião no grupo decisor,

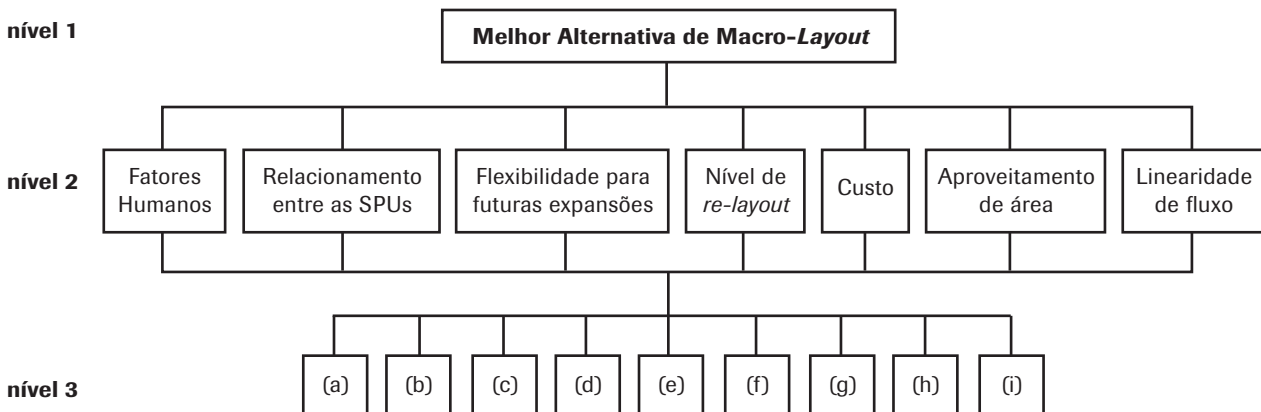


Figura 5: Níveis de hierarquia da análise multicritério.

sendo que a análise resultante foi obtida pelo valor médio das avaliações.

**3.3.2 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 para o caso em questão, como mostra a Figura 5. No segundo nível, colocaram-se os critérios de avaliação utilizados, sendo os dois primeiros critérios, da esquerda para a direita, qualitativos e os restantes, quantitativos. No último nível, colocaram-se as alternativas de macro-layout a serem consideradas (identificadas pelas letras *a* a *i*).

Para analisar esta hierarquia foram necessárias oito matrizes de comparações pareadas. A primeira matriz, apresentada na Tabela 3, relaciona os níveis 1 e 2 da hierarquia. Trata-se de uma matriz onde as comparações pareadas foram avaliadas utilizando opinião dos diretores da empresa. Cada par de itens (*i,j*) foi avaliado em importância utilizando uma escala discreta de 1 a 9, onde 1 denota um cenário em que os itens *i* e *j* são igualmente importantes, e 9 denota um cenário em que o item *i* é extremamente mais importante do que o item *j*.

Valores intermediários denotam situações de compromisso e valores recíprocos, tal como  $\frac{1}{9}$ , denotam situações onde o item *i* é menos importante do que o item *j*.

Na Tabela 3 tem-se também o vetor de pesos de importância obtido para os elementos listados nas linhas da matriz, definindo, assim, o *ranking* de importância entre os critérios de avaliação de macro-layouts. O vetor de pesos de importância corresponde ao autovetor principal da matriz na Tabela 3, com valores normalizados tal que a soma dos pesos seja igual a 1,0. As demais sete matrizes de comparação relacionavam os níveis 2 e 3 da hierarquia. Cada uma destas matrizes traz as comparações pareadas das nove alternativas de layout com relação a cada critério do nível 2. As comparações pareadas que geraram os dados constantes nas matrizes foram realizadas adotando (*i*) um procedimento para critérios qualitativos e (*ii*) um procedimento para critérios quantitativos.

Para os critérios qualitativos, como fatores humanos e relacionamento entre as SPUs, o procedimento de obtenção dos dados foi semelhante à primeira matriz de comparações, a qual foi baseada na opinião dos diretores da empresa. Já para os critérios quantitativos, as matrizes de comparações pareadas foram baseadas em indicadores numéricos. Assim,

**Tabela 3: Matriz de comparações pareadas dos critérios de avaliação.**

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

não havia opiniões de especialistas envolvidas. As matrizes foram montadas simplesmente calculando as razões entre os indicadores avaliados em cada alternativa de macro-layout.

Semelhante ao procedimento utilizado para definição da importância dos critérios de avaliação, foram obtidos os vetores de pesos para cada critério de acordo com as alternativas de macro-layout, como mostra a Tabela 4. A consistência das avaliações qualitativas realizadas nos níveis 2 e 3 da hierarquia geraram os valores de CR (Razão de Consistência) apresentados nas Tabelas 3 e 4. Como todos os valores de CR são inferiores a 0,10 (sendo este o valor máximo proposto por Saaty, 1980, para que avaliações em uma matriz de comparações sejam consideradas consistentes), 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. Para maiores detalhes sobre escalas, cálculo de vetor de pesos e determinação da consistência das avaliações, recomendam-se os trabalhos de Saaty (1980) e Winston (1997).

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 última coluna da Tabela 3.

A partir desta análise verificou-se que a maior pontuação geral, apresentada na Tabela 5, corresponde à alternativa (f), ver Figura 6, 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.

#### 4. RESULTADOS

A alternativa selecionada utilizaria 39% dos 100.000 m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup> para futuras expansões. Além disso, dos 39.000 m<sup>2</sup> de área coberta, 72% estaria sendo ocupado pelas SPU's e o restante estaria disponível para áreas de apoio e para possíveis necessidades de aumento da capacidade produtiva que não tenham sido previstas.

Os benefícios apresentados pela alternativa são claramente visíveis, por exemplo, ao se analisar o critério linearidade do fluxo, como ilustra a Figura 7. Enquanto o aumento na demanda total de peças entre 2004 e 2009 é de 29%, as distâncias percorridas pelos produtos reduziram-se, 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

**Tabela 4: Matriz de pesos das alternativas para cada critério.**

Alternativas	maximizar flexibilidade para futuras expansões	minimizar re-layout	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	-	-	<b>0,098</b>	-	-	-	<b>0,056</b>



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

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.

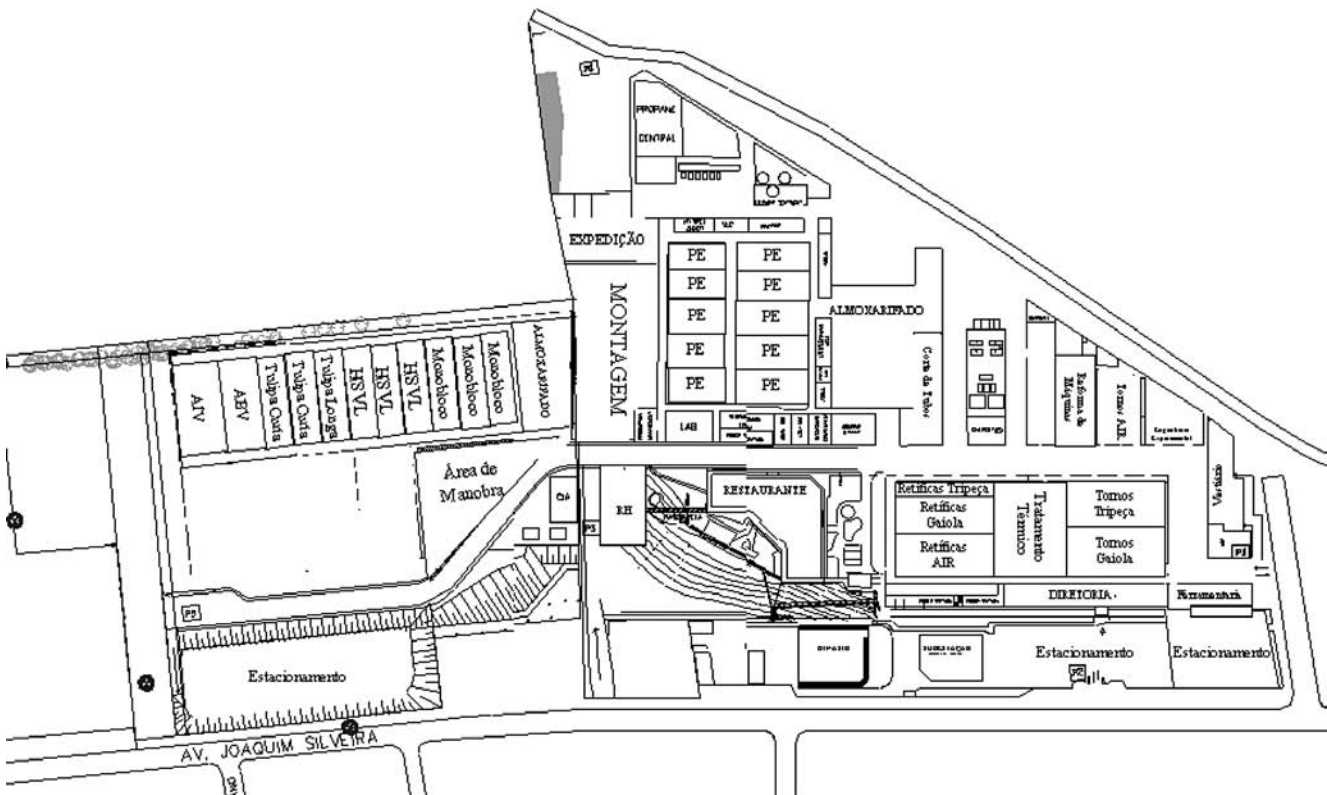
**Tabela 5: Valores das pontuações gerais das alternativas de macro-layout.**

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

**5. CONCLUSÃO**

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



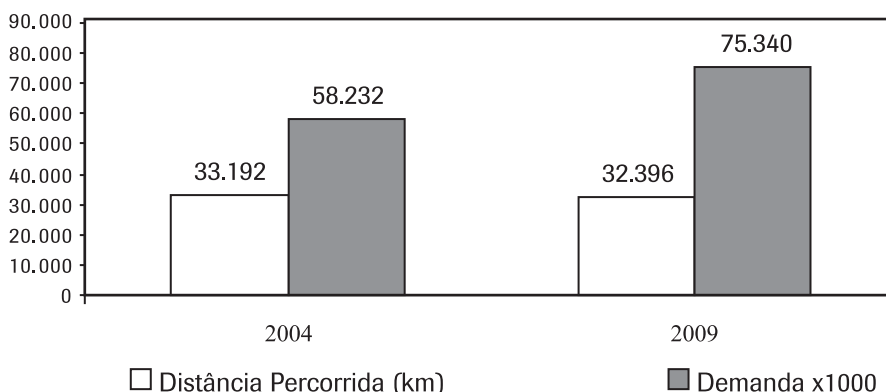
**Figura 6 – Alternativa de macro-layout selecionada.**

série de conceitos associados à tomada de decisão multicritério, a metodologia utilizada permite avaliar de maneira objetiva os benefícios e desvantagens de cada alternativa de layout de acordo com os critérios de avaliação predefinidos. 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.

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 pequeno número 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 baseia-se na otimização de um único 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.

**Análise Comparativa do Layout**



**Figura 7: Análise comparativa do layout selecionado com a condição atual.**

**Artigo recebido em 29/01/2007**

**Aprovado para publicação em 05/08/2008**

**REFERÊNCIAS**

BELTON, V.; GEAR, T. On a short-coming of Saaty's method of analytic hierarchies. *Omega*, v. 11(3), p. 228-230, 1982.

COSTA, A. J. *Otimização do layout de produção de um processo de montagem de ônibus.* Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 114 p., 2004.

DYER, J. S. Remarks on the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, v. 36(3), p. 249-258, 1990.

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

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.

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

- FU, M. C. & KAKU, B. K. Minimizing work-in-process and material handling in the facilities layout problem. *IEE Transactions*, January, p. 29. 1997.
- GUGLIEMETTI, F.; MARINS, F.; SALOMON, V. Comparação teórica entre métodos de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. *Anais*. 23, 2005.
- HARKER, P. T.; VARGAS, L. G. Reply to "Remarks on the Analytic Hierarchy Process" by J. S. Dyer. *Management Science*, v. 36 (3), p. 269-273, 1990.
- KERNS, F. Strategic Facility Planning (SFP). *Work Study*, v. 48, p. 176-181, 1999.
- KOKSAL, G.; EGITMAN, A. Planning and design of industrial engineering education quality. *Computers & Industrial Engineering*, v. 35 (3-4), p. 639-642, 1998.
- KONZ, S. A. *Facility Design*. New York: Wiley, 1985.
- LEE, Q. *Projeto de Instalações e Local de Trabalho*. São Paulo: IMAM, 1998.
- 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.
- MELLER, R. D.; GAU, K. The Facility Layout Problem: recent and emerging trends and perspectives. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 15, n. 5, p. 351, 1996.
- 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. *Anais*. 22, 2002.
- MUTHER, R.; WHEELER, J. D. *Planejamento Sistemático e Simplificado de Layout*. São Paulo: IMAM, 2000.
- MYINT, S. A framework of an intelligent quality function deployment (IQFD) for discrete assembly environment. *Computers and Industrial Engineering*, v. 45 (2), p. 269-283, 2003.
- SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980.
- SAATY, T. L.; VARGAS, L. The Legitimacy of Rank Reversal. *Omega*, 12, 1987.
- STEIGUER, J.; DUBERSTEIN, J.; LOPES, V. *The Analytic Hierarchy Process as a Means for Integrated Watershed Management*. <http://www.tucson.ars.ag.gov/icrw/Proceedings/Steiguer.pdf>. 2005.
- TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A.; BOZER, Y. A. et al. *Facilities Planning*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1996.
- TREIN, F.; AMARAL, F. 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, *Anais*. 21, 2001.
- TUMMALA, V. R. M.; WAN, Y. M. Analytic Hierarchy Process (AHP) in practice: a survey of applications and recent developments. *Journal of Mathematical Modelling and Scientific Computing*, v. 3 (1), p. 1-38, 1994.
- URBAN, T. L. Combining Qualitative and Quantitative Analyses in Facility Layout. *Production and Inventory Management Journal*, n. 3/4, p. 73, 1989.
- VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, v. 169 (1), p. 1-29, 2006.
- VARGAS, L. G. An overview of analytic hierarchy process: Its applications. *European Journal of Operational Research*, v. 48 (1), p. 2-8, 1990.
- WILDE, E. Functional Planning. *Facilities*, v. 14, July-August, p. 35-39, 1996.
- WINSTON, W. L. *Operations Research: Applications and Algorithms*. 3. ed. New York: Wadsworth, 1997.
- YANG, T.; SU, C.; HSU, Y. Systematic Layout Planning: a study on semiconductor wafer fabrication facilities. *International Journal of Operations Production Management*, v. 20, p. 1359-1371, 2000.
- ZAHEDI, F. The Analytic hierarchy process: A survey of methods and its applications. *Interfaces*, v. 16 (4), p. 96-108, 1986.

## **SOBRE OS AUTORES**

### **Guilherme L. Tortorella**

GKN Driveline S/A,  
Líder de Melhoria Contínua  
End.: R. Joaquim Silveira 557, Porto Alegre / RS  
Fone: (51) 3349-9283 Fax: (51) 3349-9271  
E-mail: guilherme.tortorella@gkndriveline.com

### **Flávio S. Fogliatto**

Departamento de Engenharia de Produção e Transportes  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Av. Osvaldo Aranha 99, 5ª andar – Porto Alegre / RS  
Fone: (51) 3308-3491 Fax: (51) 3308-4007  
E-mail: ffogliatto@producao.ufrgs.br