



Sylvio Camporini Junior

Uma Análise de Modelos Quantitativos Aplicados
à Solução de Problemas de Plant - Layout



Fundação Getúlio Vargas
Escola de Administração
de Empresas de São Paulo
Biblioteca



35/77

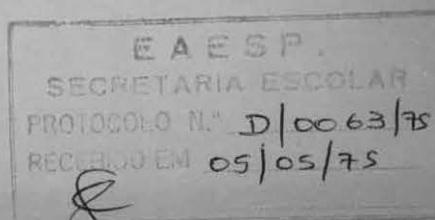


1197700035

Dissertação de Mestrado

Escola de Administração de Empresas de São Paulo
da Fundação Getúlio Vargas

Maio 75



772B

Escola de Administração de Empresas de São Paulo	
Data	N.º de chamada
16.5	658.5 C1982 D15.
N.º do Volume	Registrado por:
35/77	DL

e. 1

À minha esposa
e ao meu filho

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Engenheiro Wolfgang Schoeps, pela orientação, comentários e sugestões.

Ao Professor Engenheiro José Luiz Olivério, pelo auxílio na escolha do tema e pela cessão de boa parte do material bibliográfico.

Ao Administrador e Analista de Sistemas Edgard José dos Santos, pela colaboração, sem a qual não seria possível a realização deste trabalho.

À Srta. Selma Regina Caparroz, pela execução dos desenhos, fluxos e tabelas, e pela revisão do manuscrito.

À Srta. Gilda Maria Latorre de Nápole, pelo trabalho de datilografia.

Ao meu irmão, Dr. Sydnei Camporini, pela ajuda e assistência efetiva.

À minha mãe, pelo constante apoio e incentivo.

Particular e carinhosamente à minha esposa e ao meu filho, pela compreensão e auxílio na compatibilização das necessidades familiares com aquelas intrínsecas ao desenvolvimento de uma dissertação de mestrado.

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS	1
1.- CONCEITUAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO "PLANT-LAYOUT"	
1.1.- Significado do "plant-layout"	2
1.2.- Objetivos do estudo de "layout"	3
1.3.- Princípios do "plant-layout"	5
1.4.- A necessidade de um sistema de informações	7
1.5.- A natureza dos problemas de "layout"	8
1.6.- Tipos clássicos de "layout"	10
1.7.- A escolha de um determinado tipo de "layout"	14
1.8.- A escolha de uma alternativa de "layout"	17
2.- DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO	
2.1.- Abordagens sistemáticas	22
2.1.1.- O início	22
2.1.2.- Carta De-Para	24
2.1.3.- Carta de ligações preferenciais	31
2.1.4.- Cartões perfurados	32
2.1.5.- Modelo de Wimmert	32
2.1.6.- Modelo de Noy	36
2.1.7.- Outras técnicas	37
2.1.8.- Grafos	39
2.2.- Abordagens otimizantes	41
2.2.1.- Balanceamento de linha	41
2.2.2.- Teoria das filas	43
2.2.3.- Programação quadrática	45
2.2.4.- Curvas de nível de custo	46
2.2.5.- Programação linear	48
2.2.6.- Programação dinâmica	50
2.2.7.- "Branch and Bound"	51
2.2.8.- Otimização em diagrama homem-máquina	52
2.3.- Métodos computacionais	53

Em memória
de meu pai

3.- A IMPORTÂNCIA DOS MÉTODOS HEURÍSTICOS	
3.1.- Equacionamento do problema	53
3.2.- A solução ótima por processos matemáticos com restrições	59
3.3.- A solução ótima pela análise de todas as alternativas	59
4.- ANÁLISE DOS MODELOS COMPUTACIONAIS	
4.1.- CRAFT - Computerized relative allocation facilities technique	63
4.1.1.- Entradas	63
4.1.2.- Fluxo do processo	64
4.1.3.- Saídas	65
4.1.4.- Formato das saídas	66
4.1.5.- Descrição do processamento	67
4.1.6.- Funções das sub-rotinas	68
4.2.- ALDEP - Automated layout design program	71
4.2.1.- Entradas	71
4.2.2.- Fluxo do processo	73
4.2.3.- Saídas	74
4.2.4.- Formato das saídas	75
4.2.5.- Descrição do processamento	76
4.2.6.- Funções das sub-rotinas	78
4.3.- RMA - Comp I - Richard Muther and Associates computer program - number I	79
4.3.1.- Entradas	79
4.3.2.- Fluxo do processo	81
4.3.3.- Saídas	82
4.3.4.- Formato das saídas	83
4.3.5.- Descrição do processamento	84
4.4.- CORELAP - Computerized relationship layout planning	85
4.4.1.- Entradas	85
4.4.2.- Fluxo do processo	87
4.4.3.- Saídas	88
4.4.4.- Formato das saídas	89
4.4.5.- Descrição do processamento	90
4.4.6.- Funções das sub-rotinas	92

4.5.- PLOPCO - Plant-layout ótimo por processo computacional	93
4.5.1.- As três versões do modelo	93
4.5.2.- Fluxo geral do processo	94
4.5.3.- Descrição geral do processamento	96
4.5.4.- Versão PLOPCOL	97
a.- Entradas	97
b.- Particularidades do processamento	98
c.- Saídas	99
d.- Formato das saídas	101
4.5.5.- Versão PLOPCOD	104
a.- Entradas	104
b.- Particularidades do processamento	104
c.- Saídas	106
4.5.6.- Versão PLOPCOF	107
4.6.- LSP - Layout simulation program	109
4.6.1.- Entradas	109
4.6.2.- Fluxo do processo	110
4.6.3.- Saídas	111
4.6.4.- Descrição do processamento	111
4.7.- Uma comparação dos modelos apresentados	113
5.-CONCLUSÕES	117
BIBLIOGRAFIA	123

APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS

As origens do problema do arranjo físico de instalações industriais remontam à era da Revolução Industrial. Entretanto, é relativamente recente a concepção de "plant-layout" como uma função de "management" distinta.

Na medida em que o estudo de "layout" procura a melhor combinação do material, equipamento e mão de obra no espaço disponível, ele faz parte de um plano bem definido que integra todos os recursos de produção num conjunto lógico e bem ordenado, cada qual dando sua contribuição à meta básica das empresas - a eficiência da produção.

Pela sua importância como elemento decisivo na eficiência operacional, o "plant-layout" tem merecido a atenção de pesquisadores e estudiosos na procura, cada vez mais constante e pronunciada, do modelo ideal. Inúmeras são as soluções propostas.

Inicialmente foram construídas técnicas sistemáticas de análise, onde a sensibilidade do analista é orientada para a obtenção de uma solução satisfatória, mas que, ainda assim, depende de sua particular percepção do problema. Desta forma, poderão existir respostas em número igual ao de analistas empenhados na busca de uma solução.

Numa segunda etapa, o problema do "plant-layout" foi quantificado e surgiram soluções numéricas, heurísticas ou não, visando auxiliar o homem de "layout" através da simplificação ou restrição do número de alternativas a serem analisadas.

Com a utilização de computadores na solução de problemas industriais, o "plant-Layout" também foi objeto de algumas tentativas de aplicação do processamento eletrônico de dados na pesquisa de melhores decisões.

Este trabalho tem por objetivo reunir e analisar os modelos quantitativos mais comumente usados como suporte às atividades dos especialistas, responsáveis, nas empresas, pela consecução do melhor arranjo. Ênfase especial é dispensada à análise dos modelos computacionais que, de fato, constitui a parte central da monografia. Não há qualquer pretensão de originalidade para os conceitos e para o material aqui apresentado.

A revisão bibliográfica compreende o período de 1955 a 1972.

1.- CONCEITUAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO "PLANT-LAYOUT"

1.1.- SIGNIFICADO DO "PLANT-LAYOUT"

De acordo com Moore (58)*, "plant-layout" é um plano de um arranjo ótimo de instalações industriais, incluindo pessoal, equipamento de operação, áreas de armazenagem, e quipamento de transporte e todos os outros serviços de apoio.

O "plant-layout", ou simplesmente "layout", como algumas vezes será chamado no decorrer do texto, pode ser, portanto, uma proposta de arranjo, um arranjo existente ou o estudo de um arranjo físico de instalações industriais. Está intimamente ligado ao "plant-design" ou projeto industrial, do qual é parte relevante.

Considerando-se que o "plant-layout" envolve uma gama muito grande de atividades, os critérios usados na sua avaliação devem variar de caso para caso. Desta forma, o termo ÓTIMO contido na definição de "plant-layout" relaciona-se ao melhor arranjo em função de um critério ou de um conjunto de critérios escolhidos para avaliá-lo.

Na medida em que o "plant-layout" estuda o posicionamento relativo dos recursos produtivos - homens, máquinas e materiais - no espaço, preocupa-se com o dimensionamento e a distribuição desses recursos, a partir de metas industriais pré-fixadas. O trabalho de planejamento do "layout" cobre um vasto campo. Pode referir-se desde o estudo de um pequeno local individual de trabalho até o estudo do arranjo completo de grandes áreas de propriedade industrial, sendo igualmente importante em qualquer situação. O problema do "layout" é tão importante que, segundo Muther (63), ele determinará a eficiência e, em algumas circunstâncias, a sobrevivência de uma empresa. De fato, equipamentos sofisticados, ferramentaria complexa, esforço de vendas e um adequado projeto de produto, podem ser todos sacrificados por um "plant-layout" mal planejado.

* os números entre parêntesis indicam as referências correspondentes à bibliografia relacionada ao fim do trabalho.

1.2. - OBJETIVOS DO ESTUDO DE "LAYOUT"

Em termos gerais, o estudo do "layout" procura assegurar a máxima satisfação a todas as partes envolvidas, isto é, empregados, administração e proprietários ou acionistas. Cada uma destas partes tem determinados interesses na obtenção e manutenção de um "plant-layout" adequado. Em função destes interesses pode-se considerar os seguintes objetivos do "plant-layout":

- Simplificar o processo de produção.

Isto significa obter um arranjo do equipamento que permita sua maior utilização, minimize os atrasos na produção, possibilite e facilite as tarefas de manutenção, incremente as quantidades produzidas, reduza os tempos totais do processo de fabricação e seja compatível com um programa de qualidade adequado.

- Minimizar o transporte de materiais.

Um bom planejamento de "layout" certamente levará em consideração a redução das distâncias de transporte e as facilidades na sua execução. Vale lembrar que, em muitos casos, o transporte manual pode ser mais econômico. Em qualquer hipótese, entretanto, o analista de "layout" terá uma preocupação constante em atingir este objetivo.

- Reduzir os estoques "em processo".

Os estoques "em processo" devem ser considerados não só pelas quantidades mas também pelo tempo que permanecem como tais. Embora a questão destes estoques seja um problema primário do Planejamento e Controle da Produção, um "layout" adequado será útil na sua redução.

- Utilizar efetivamente o espaço.

Aspecto que se torna cada vez mais importante em termos de custo relaciona-se à área ocupada, não só pelas tarefas produtivas, como também pelas atividades de apoio. Uma organização adequada das áreas garantirá sua efetiva utilização e a consequente redução de custos.

- Proporcionar segurança e satisfação aos empregados.
As condições de higiene e segurança oferecidas aos empregados refletem-se na eficiência qualitativa e quantitativa da produção. Aspectos como ruído, ventilação, iluminação e organização do trabalho deverão ser examinados durante o planejamento do "layout".
- Utilizar efetivamente o equipamento.
Uma utilização efetiva do equipamento pode ser conseguida através de um arranjo adequado, o que proporcionará sensíveis economias, não só através da redução de tempo ocioso, mas, em muitos casos, evitando investimentos adicionais.
- Utilizar efetivamente a mão de obra.
Um bom "layout" garantirá um maior aproveitamento da mão de obra direta, reduzirá a mão de obra indireta e facilitará a supervisão e controle, tornando harmônica a execução das diversas atividades.

O planejamento do "layout" procura um arranjo das áreas de trabalho e dos equipamentos que seja a mais econômica em termos de operação, segurança e satisfação para os empregados. Tem como finalidade a obtenção de um arranjo de homens, máquinas, materiais e serviços de suporte que leve à produção de um bem a um custo suficientemente baixo que permita negociá-lo com lucro, em um mercado competitivo.

Dos objetivos fixados transcende um outro mais amplo, de caráter eminentemente social: o estudo do "layout" deve contribuir para o aperfeiçoamento do meio onde a empresa se instala, propiciando a adoção de melhores técnicas de produção, a preservação da higiene e da segurança, e a garantia de condições condígnas de trabalho.

Será provavelmente impossível alcançar a todos estes objetivos, ao mesmo tempo, e de maneira global. Entretanto, a preocupação do engenheiro de "layout" estará sempre voltada à sua consecução, em qualquer estudo, e quanto mais o plano do "layout" se aproximar de cada um deles, tanto melhor, mais eficiente será o "layout" resultante.

Se atingir estes objetivos não é tarefa fácil, a ausência de planejamento irá torná-la ainda mais difícil. Um bom "layout" implica necessariamente em planejamento.

1.3. - PRINCÍPIOS DO "PLANT-LAYOUT"

A necessidade de planejamento anteriormente evidenciada associa-se o seu custo. Um "plant-layout" bem estudado terá, obviamente, um custo superior ao daquele mal estudado. Não obstante, em ambos os casos - "layout" bem planejado e mal planejado - suas consequências, positivas ou negativas, se farão sentir durante toda a vida do "layout". Um bom estudo, na maioria das vezes, rapidamente se paga. Infere-se, portanto, que ao surgir a necessidade de uma análise, é mais compensador executar um bom estudo, isto é, zelar para que a aproximação aos objetivos do "plant-layout" seja a maior possível.

Um bom planejamento de "layout" será conseguido se, através de técnicas convenientes, forem observados alguns princípios gerais que Muther (63) enuncia, considerando os fatores básicos que influem no "layout", e de uma forma que sugere alguns critérios primários de comparação entre dois planos.

. Princípio da integração global.

Será melhor o "layout" que integrar homens, máquinas, materiais, atividades de suporte e quaisquer outras considerações de forma a resultar na melhor composição.

Uma imagem interessante é mencionada por Olivério (71): a resistência de uma corrente é aquela do seu elo mais fraco. Rompido este, a corrente deixa de funcionar como uma unidade. Assim também no caso do "plant-layout" todos os fatores devem ser integrados e dotados de absoluta unidade de propósitos, visando a eficiência da produção, cada um deles sendo relacionado aos outros e ao todo, para o particular conjunto de condições. Uma inadequação em qualquer um deles contribuirá para a ineficiência global, através da fragilidade que se apresentará quanto à manutenção do caráter de unidade.

. Princípio da mínima distância.

Outros fatores influenciando igualmente, o melhor "lay out" será aquele que permitir a movimentação do material através de distâncias mínimas entre operações.

A movimentação de transporte nada acrescenta ao valor intrínseco de um produto. Ao contrário, se dois produtos idênticos sofrem transportes desiguais, provavelmente o que se movimentou mais terá custo maior, porém, permanecerão iguais os valores de ambos.

. Princípio do fluxo de materiais.

Outros fatores influenciando igualmente, o melhor "lay out" será aquele que determinar um arranjo das áreas de trabalho para cada operação ou processo na mesma ordem ou sequência da fabricação, acabamento ou montagem dos materiais.

A idéia de fluxo é a de uma progressão constante, com um mínimo de interrupções, interferências ou congestionamentos, não necessariamente a de uma direção. Muitas vezes, um bom "layout" terá movimentações circulares, em U ou em "zig-zag". O importante é que as pessoas, materiais e equipamentos se disponham e se movimentem através de um fluxo tão contínuo quanto possível, evitando-se retornos e cruzamentos.

. Princípio da utilização das três dimensões.

Outros fatores influenciando igualmente, o "layout" mais econômico será aquele que utilizar efetivamente todo o espaço disponível, seja no sentido horizontal, seja no sentido vertical.

Fundamentalmente o "layout" é o arranjo dos vários espaços ocupados por homens, máquinas, materiais e atividades de apoio. Todos estes itens possuem três dimensões, ocupando, portanto, um determinado volume e não apenas uma área. Além disto, a movimentação pode dar-se em qualquer uma das três direções, o que permite a utilização de sub-solos e porões, bem como considerações sobre transporte aéreo através de monovias ou pontes rolantes.

- Princípio da satisfação e segurança.

Outros fatores influenciando igualmente, o melhor "lay out" será aquele que proporcionar maior satisfação e segurança aos seus usuários.

A satisfação e segurança no trabalho são acompanhadas de outros benefícios como redução de custos operacionais e elevado moral dos trabalhadores. Estes aspectos são fundamentais em alguns "layouts" e vitais em outros. Para muitos especialistas este princípio tem sido o objetivo principal de suas análises de "plant-layout".

- Princípio da flexibilidade.

Outros fatores influenciando igualmente, o melhor "lay out" será aquele que puder ser rearranjado ou ajustado com inconvenientes e custos mínimos.

Notadamente nas atuais condições de avanço tecnológico, uma atenção toda especial deve ser dispensada à flexibilidade do "layout". Mudanças frequentes e rápidas no projeto de produto, equipamentos e processos de fabricação exigem uma resposta também rápida das condições de operação de uma empresa. Um "layout" que não permita estas alterações poderá levar uma fábrica ao obsoletismo.

1.4. - A NECESSIDADE DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES.

Kehl (39) coloca o problema da necessidade de um sistema de informações adequado servindo ao responsável pelos estudos de "layout" de maneira bastante conclusiva: aqueles que são responsáveis pela gestão de um empreendimento industrial revelam sua habilidade não apenas pela solução dos problemas de cada dia, como pela capacidade em perscrutar as variações do meio-mercado, em constante mutação. O estudo do "layout", tanto quanto todas as demais atividades de planejamento, não pode ser isolado no tempo; ao contrário, deve constituir-se em atividade de caráter permanente na empresa.

A garantia de um estudo de "layout" bem feito só será -

possível na medida em que se dispõe do tempo necessário a esse estudo. A falta de informações antecipadas provocará soluções de emergência, em geral pouco eficientes. O responsável pelo "layout" deve manter um registro atualizado não só da situação existente, mas também do comportamento dos fatores que influenciam ou determinam modificações no "layout", de forma que as mudanças sejam oportunas.

A evolução das técnicas de planejamento e o desenvolvimento dos sistemas de informação têm, na atualidade, tornado evidentes as vantagens de manter sob permanente vigilância os problemas de "layout".

Numa empresa dinâmica, toda vez que ocorrerem alterações na dimensão e na configuração do mercado, nos produtos e nos processos, nas condições de operação e até mesmo na política governamental, facilitando o deslocamento das empresas para regiões suburbanas ou rurais, como recentemente tem ocorrido no Brasil, surgirão excelentes oportunidades para redução de custos e para uma aproximação mais efetiva aos objetivos do "plant-layout", através de adaptações convenientes no arranjo das instalações industriais.

1.5. - A NATUREZA DOS PROBLEMAS DE "LAYOUT"

Os problemas de "layout" podem ser divididos em quatro classes diferentes, muito embora, qualquer que seja a classe associada a um particular problema, o analista o abordará, basicamente, da mesma forma, perseguindo os mesmos objetivos ainda que ponderando diferentemente as considerações envolvidas.

• Pequenas alterações em um "layout" existente.

É o problema mais frequente. Consiste em adequar um arranjo existente, envolvendo uma ou poucas atividades, às novas necessidades, com um mínimo custo de interrupções ou ajustes de instalação. Surge, por exemplo, como decorrência de mudanças em partes do produto, de adição de produtos similares, de desenvolvimento de processos ou equipamentos, de melhorias nas condições de trabalho ou de alterações no controle de qualidade.

9

- Remanejamento do "plant-layout".

Consiste em determinar um novo arranjo como um todo integrado, procurando usar ao máximo as instalações existentes, porém de forma compatível com as novas necessidades, neste caso muito mais abrangentes. O problema surge, por exemplo, como decorrência de mudanças grandes no projeto do produto, no processo produtivo ou de reduções sensíveis no transporte do material, e o analista terá que enfrentar as limitações impostas pela construção e instalações existentes.

- Expansão ou mudança para outros edifícios.

Consiste em adaptar o produto, as instalações e o pessoal de uma organização para as condições de uma fábrica nova, porém existente. O problema surge, por exemplo, como decorrência da inadequação das atuais condições de trabalho relativamente ao atendimento da demanda ou à possibilidade de alocação de novos equipamentos. Também neste caso são consideráveis as limitações impostas pela construção existente ao analista de "layout".

- Planejamento de uma nova fábrica.

É, provavelmente, o problema que ocorre com menor frequência. Consiste na determinação do "layout" de todas as instalações como um todo integrado a partir da determinação dos volumes a serem fabricados, da escolha dos processos de manufatura, dos equipamentos e da localização. Surge como decorrência do início de fabricação de um novo produto, de expansão considerável nos volumes fabricados de produtos atuais ou de mudança para novas áreas em função de incentivos fiscais, poluição ambiental ou de dificuldades de transporte.

No caso de projeto de uma nova fábrica para produtos totalmente novos, poderão aparecer aspectos imponderáveis, pelo desconhecimento desses mesmos produtos. A flexibilidade deverá ser, então, o fator mais relevante para o analista de "layout".

A TABELA 1.1, a seguir, apresentada por Olivério (71) resume as causas mais comuns do aparecimento dos quatro tipos de problemas de "layout".

Embora existam certas relações de causa e efeito que ocorrem com maior frequência, qualquer das causas indicadas na TABELA 1.1 poderá gerar qualquer dos efeitos (diferentes tipos de problemas de "layout") quando um caso específico é analisado.

CAUSAS	EFEITOS			
	PEQUENAS ALTERAÇÕES EM "LAYOUTS" EXISTENTES	REMANEJAMENTO DO "PLANT - LAYOUT"	EXPANSÃO OU MUDANÇA PARA OUTROS EDIFÍCIOS	PLANEJAMENTO DE UMA NOVA FÁBRICA
MODIFICAÇÕES NO PROJETO DE PRODUTO	OC	MF	OC	RR
PRODUTO NOVO	RR	FR	FR	FR
ADEQUAÇÃO DE CONDIÇÕES AMBIENTES	MF	FR	RR	RR
VARIAÇÕES NA DEMANDA	OC	FR	FR	FR
SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTO	FR	FR	RR	RR
MUDANÇAS NO PROCESSO PRODUTIVO	FR	FR	FR	OC
MUDANÇAS NO MERCADO DE CONSUMO	OC	OC	FR	FR
NOVOS MÉTODOS DE ORGANIZAÇÃO E CONTROLE	MF	MF	RR	RR
REDUÇÃO DE CUSTO	MF	FR	OC	RR
MF- MUITO FREQUENTE FR- FREQUENTE		OC- OCASIONAL RR- RARO		

TABELA 1.1 - CAUSAS DOS DIFERENTES PROBLEMAS DE "LAYOUT"

1.6. - TIPOS CLÁSSICOS DE "LAYOUT"

Tradicionalmente o "plant-layout" tem sido classificado em três tipos: posicional ou por posição fixada, funcional ou por processo e linear ou por produto.

• "Layout" posicional.

O produto permanece numa posição fixa e os operado -

res e equipamentos se movimentam. As partes componentes são levadas até o componente principal e aí adicionadas ou trabalhadas. Aplicações deste tipo de "layout" são encontradas em montagens pesadas de grandes alternadores, navios e na construção civil.

• "Layout" funcional.

As máquinas são agrupadas de acordo com a natureza do processo e o produto é transportado, dentro da fábrica, seguindo itinerários diferentes conforme a sequência de operações de cada particular produto. Este tipo de "layout" é muito comum em operações de fabricação (seções de estamperia, tornearia, fresagem, etc.).

• "Layout" linear.

A disposição dos locais de trabalho obedece à sequência do processo de manufatura para um único produto ou componente. Os equipamentos são alocados adjacientemente e o material se movimenta de um a outro local de trabalho. Exemplo bem conhecido deste tipo de "layout" são as linhas de montagem.

Segundo Kehl (39) pode-se introduzir algum refinamento ao "layout" linear se forem consideradas as linhas automatizadas e as linhas autômatas.

- Linha automatizada.

É aquela em que a produção é organizada através de dispositivos mecânicos ou eletro-mecânicos, de tal forma que a mesma operação seja repetida igualmente em ciclos sucessivos e o material é movimentado automaticamente ao longo da linha. Aplicações de linhas automatizadas são encontradas em fábricas automáticas de produtos domésticos de vidro e nas linhas "transfer" para usinagem de blocos de motor.

- Linha autômata.

É aquela que possui auto-contrôle das operações pelas próprias máquinas que as executam, através de um processo de "feed-back", usando - se

circuitos seletivos, servo-mecanismos e computadores. Estas linhas possuem extraordinária flexibilidade, pois as máquinas podem ser programadas em função das operações a serem realizadas. Um exemplo de linha autômata é encontrado nas linhas de montagem e usinagem de algumas indústrias automobilísticas.

Os autores parecem ser unânimes quanto às vantagens e desvantagens de cada tipo de "layout". As vantagens relativas de cada um deles, podem ser assim resumidas:

. "Layout" posicional.

- Permite à fábrica elevar a habilidade de seus operários através de um conhecimento completo do trabalho.
- O operário se identifica com o produto tendo seu orgulho profissional aumentado pela maior participação e responsabilidade no produto final.
- Possui grande flexibilidade, pois permite frequentes e fáceis mudanças em função de alterações no tipo de produto, no projeto de produto e no volume de produção.
- Exige um investimento mínimo no estudo e planejamento.

. "Layout" funcional.

- Permite uma redução no investimento global, uma vez que exige pouca duplicação de equipamentos.
- Atende a uma grande variedade de produtos dando flexibilidade à produção.
- Torna a supervisão mais eficiente e mais técnica.
- Facilita o desenvolvimento de programas de qualidade sofisticados.
- Possibilita a utilização de programas de incentivo através de prêmios de produção individuais.
- Facilita os programas de manutenção e permite transferir o trabalho de uma estação para outra, no caso de quebra de equipamentos.

. "Layout" linear.

- Possibilita redução nos custos de manuseio e transporte, bem como no tempo total de produção.

- Exige menor estoque em processo e menor área por unidade de produção.
- Possibilita a utilização de programas de incentivo através de prêmios de produção grupais.
- Facilita o controle de produção exigindo menor número de registros.

Um tipo puro de "layout" dificilmente será encontrado ao se considerar uma fábrica como um todo. Em geral, dentro de um complexo industrial, tem-se uma combinação dos três tipos. Comumente ocorrem casos de fabricação de componentes em "layout" funcional combinado com uma montagem em "layout" linear.

Os três tipos clássicos de "layout" mais os refinamentos do tipo linear parecem representar uma consequência natural da evolução industrial. O "layout" posicional era o mais frequente quando o artesanato predominava nas atividades industriais. O produto era iniciado e acabado no local de trabalho do artífice que o fabricava integralmente. Na medida em que o volume de produção vai aumentando e os processos de manufatura se desenvolvendo, o "plant-layout" sofre uma evolução concomitante. Agrupam-se as máquinas similares e tem-se o "layout" funcional. Com o aumento sucessivo da demanda ocorre que as diversas máquinas acabarão por ter sua capacidade total absorvida por uma única espécie de produto, não mais se justificando grandes transportes internos de uma seção para outra. As máquinas que executam o mesmo produto são agrupadas de acordo com o processo e passa-se ao "layout" linear. Organizam-se dispositivos para que as máquinas executem automaticamente os ciclos de operações e transferência, e alcança-se a linha automatizada. Entretanto, passarão a existir grandes dificuldades em combinar os tempos das diversas operações e em manter níveis adequados de qualidade. Se for possível a introdução de sistemas de auto-contrôle nessas máquinas de forma a garantir a continuidade e a qualidade ao longo dos ciclos ter-se-á chegado ao estágio mais recente, a linha autômata.

1.7. - A ESCOLHA DE UM DETERMINADO TIPO DE "LAYOUT"

Cada um dos tipos de "layout", conforme a classificação anteriormente apresentada, é recomendado para determinadas circunstâncias, estando a escolha, ao menos numa etapa inicial, condicionada a alguns fatores qualitativos. Uma relação desses fatores por tipo de "layout" é apresentada a seguir e reúne as indicações de diversos autores (39,58,63,71)

. "Layout" posicional.

- Material de movimentação difícil, impossível ou anti-econômica.
- Operações requerendo ferramentas manuais, máquinas simples, dispositivos e equipamentos de fácil transporte.
- Fabricação de um único item ou de poucos componentes de um item.
- Produção pequena e não repetitiva.
- Desejável a fixação de responsabilidades pela qualidade.

. "Layout" funcional:

- Demanda pequena ou intermitente (fabricação sob encomenda), ou grande variedade nos estilos de produto.
- Equipamento pesado e de difícil movimentação.
- Dificuldade na realização de estudos de tempos e movimentos.
- Dificuldade no balanceamento dos tempos de operação.
- Necessidade frequente de utilização da mesma máquina ou estação de trabalho para mais de uma operação.
- Grande quantidade de equipamentos que necessitam de instalações especiais ou supervisão muito técnica.

. "Layout" linear.

- Fabricação de um ou poucos produtos padronizados.
- Grande volume de produção de cada item durante consideráveis períodos de tempo.
- Possibilidade de realização de estudos de tempos e movimentos bem como de balanceamento adequado dos tempos de operação.
- Materiais e produtos que permitem manuseio fácil e

- Poucas inspeções requeridas entre as operações.
- Pouca ou nenhuma necessidade de utilização de uma mesma máquina ou estação de trabalho para mais de uma operação (necessidade mínima de "set-up", quando em regime).
- Pouca quantidade de equipamentos que necessitam de instalações especiais ou supervisão muito técnica.

Embora sejam claramente identificáveis os fatores qualitativos que condicionam a escolha, os tipos de "layout" não são mutuamente exclusivos para determinados produtos. Assim, um rádio, por exemplo, que via de regra é montado em "layout" linear, também pode ser montado em "layout" funcional e até mesmo posicional. Da mesma forma, um navio poderia ser fabricado em linha ("layout" linear), desde que a demanda o justificasse economicamente.

Isto sugere que uma análise econômica seja realizada a fim de ajudar a determinar, em cada caso, qual o tipo de "layout" mais conveniente. O gráfico da FIGURA 1.1 mostra uma composição dos custos fixos e totais para os três tipos de "layout" e permite, considerada a receita, a determinação dos níveis de produção compatíveis com cada um deles.

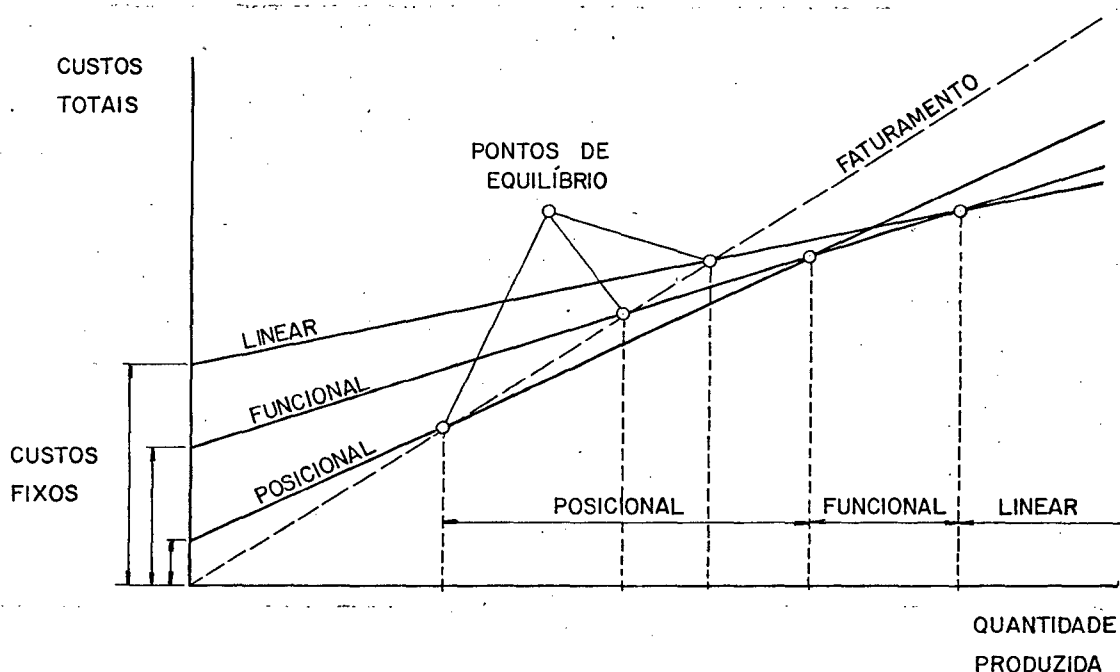


FIGURA 1.1- COMPARAÇÃO DOS CUSTOS PARA OS TRES TIPOS DE "LAYOUT"

Normalmente, o "layout" posicional apresenta o menor custo fixo inicial de instalação, porém terá um custo variável acentuado com a produção. Um "layout" funcional terá um custo fixo inicial maior que aquele do posicional, porém menor que o do linear.

Os custos fixos associados ao "layout" linear são os maiores, relativamente aos outros dois tipos de "layout". De fato, uma linha exige investimento alto em maquinário, como decorrência da necessidade e dificuldade de balanceamento das operações individuais. Além disto, a manutenção preventiva será maior para garantir continuidade de produção e, sempre que um novo "set-up" for requerido, seus custos serão elevados.

No caso do "layout" linear, todo o equipamento e todo o esforço de engenharia para o projeto e instalação dos recursos, são concentrados em um único produto ou componente, procurando-se o máximo de eficiência na produção daquele bem. Desta forma, os custos de planejamento, instalação, e depreciação também são elevados. A questão importante é: haverá demanda suficiente que justifique uma linha de produção? A FIGURA 1.2, a seguir, mostra este problema.

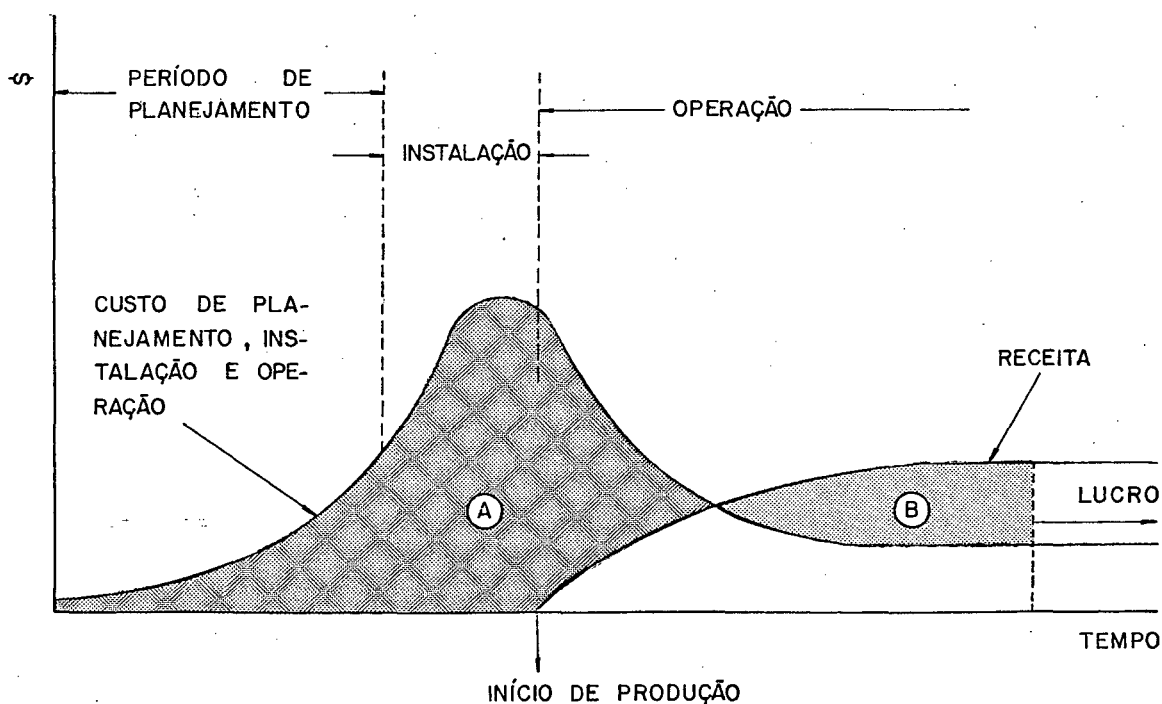


FIGURA 1.2-CUSTOS E RECEITAS DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO

Quando as áreas B e A indicadas se tornarem iguais, começará a haver lucro. Em muitos casos, alguns anos serão requeridos para permitir o retorno do investimento inicial. Como resultado, segundo Muther (63), um certo grau de coragem é necessário às empresas que pretendem instalar um "layout" linear.

Estas análises ajudam a determinar que nível de produção será requerido em cada circunstância, para tornar praticável e conveniente um determinado tipo de "layout".

Ao lado de uma análise criteriosa dos fatores qualitativos anteriormente mencionados, a análise econômica deve a acompanhar todas as decisões sobre o tipo de "layout" a ser adotado, embora se reconheça que nem sempre isto será uma tarefa muito simples.

Em uma grande quantidade de casos, a escolha de um determinado tipo constitui o primeiro nível de decisão a respeito do problema de "layout".

1.8. - A ESCOLHA DE UMA ALTERNATIVA DE "LAYOUT"

O planejamento de diversas possibilidades diferentes de "layout" é não apenas lógico, mas principalmente necessário, uma vez que o melhor "layout" será aquele que representar a melhor combinação de todos os fatores que o influenciam. O problema consiste então, em decidir qual a alternativa de "layout" que representa a melhor combinação.

Existindo o primeiro nível (escolha de um determinado tipo de "layout"), a seleção de uma particular alternativa seria o segundo nível de decisão. Aquele, em alguns casos poderá não ocorrer; este, entretanto, sempre existirá, e é, sem dúvida, uma das partes mais difíceis no estudo do "plant-layout".

Para que uma análise comparativa de duas ou mais alternativas de "layout" possa ser efetuada, torna-se necessário definir um critério ou uma medida de eficiência do "plant-layout", associada a cada um dos seus objetivos. A com-

plexidade dos problemas reais torna-se evidente em função da coexistência de vários objetivos, obrigando a uma análise global e integrada. Além disto, existem objetivos - qualitativos, de natureza psico-social que, ou são impossíveis de medir ou são apenas parcialmente quantificáveis.

Algumas técnicas de avaliação foram desenvolvidas com a finalidade de auxiliar a análise e fornecer elementos que facilitem a decisão. Muitos desses meios para julgamento do mérito relativo de diversas alternativas de "layout" podem tornar-se bastante valiosos, dependendo da substancialidade dos fatos e da habilidade na análise. Considerações sobre os objetivos de um bom "layout" e sobre a eficiência global de cada alternativa serão sempre imprescindíveis.

As técnicas para avaliação de alternativas podem ser sistemáticas ou otimizantes. As sistemáticas consistem numa abordagem organizada para selecionar uma alternativa de "layout", isto é, na utilização de um método que oriente a escolha, sem que se tenha, entretanto, a garantia de obter a solução ótima. Uma avaliação sistemática poderá, eventualmente, por tentativa e erro, levar à solução ótima.

As técnicas otimizantes garantem que a solução obtida é a melhor, isto é, que para um determinado conjunto de condições e, em função de uma particular medida de eficiência adotada, a solução obtida não pode ser melhorada.

São exemplos de técnicas sistemáticas: fábrica piloto, comparação de custos, análise dos fatores, avaliação de espaço, avaliação de produtividade, sequência da demanda direcional, sequência da demanda não direcional. Entre as técnicas otimizantes, podem ser citadas como exemplo: otimização em diagrama homem-máquina, curvas de nível de custo, teoria das filas, balanceamento de linha, programação dinâmica e programação linear.

Embora certas técnicas de avaliação classificadas como otimizantes conduzam, segundo alguns autores (58), a soluções apenas sub-ótimas, sem-dúvida elas têm valor considerável como instrumento de análise a serviço do engenheiro

de "layout".

Usualmente, nos casos reais, são apresentadas ao administrador duas ou três alternativas de "layout", que representam pequenas variações sobre o que seria estabelecido em função do fluxo de um pequeno número de itens de alta produção. Assim, até certo ponto, poderá ser óbvio qual a melhor solução. Entretanto, parece muito conveniente a colocação das seguintes perguntas, conforme Buffa (09)

- . quantas (e são milhares) e quais as alternativas que não foram apresentadas?
- . o administrador pode assumir que os responsáveis pelo projeto de "plant-layout" dispuseram dessas alternativas durante sua análise, mas, realmente o fizeram?

No passado, além das dificuldades intrínsecas à determinação de um grande número de "layouts" alternativos, uma tentativa de avaliá-los acabaria tornando-se altamente dispendiosa e exigindo um tempo muito grande, sendo portanto, a resposta dos engenheiros de "layout" muito lenta em relação às necessidades de mudança.

Além disto, possuindo-se um grande número de alternativas, é provável que diversas delas sejam igualmente boas. Pode facilmente ocorrer que uma delas atenda a todos os requisitos de relações humanas e ainda assim seja uma excelente solução sob o ponto de vista dos custos de transporte.

O que se tornava necessário, então, era uma técnica que permitisse gerar e avaliar um número relativamente grande de alternativas de "plant-layout" sem que para isso fossem consumidas grandes somas de dinheiro e tempo. Fazer isto, entretanto, não é uma tarefa muito simples.

A utilização de computadores na solução de problemas de "layout" possibilitou o desenvolvimento de modelos heurísticos computacionais que, em termos gerais, criam e testam, progressivamente, diferentes alternativas de solução, em contraposição às técnicas otimizantes, no sentido matemático, projetadas para desenvolver uma solução ótima que possa ser provada.

Estas técnicas mais recentes poderiam ser agrupadas, em termos de classificação, numa categoria de modelos heurísticos computacionais, entre as quais, podem ser citados, como exemplo, o CRAFT, ALDEP, CORELAP, PLOPCO, RMA Comp I. A própria simulação por computador se enquadraria nesta classificação.

Uma análise crítica e comparativa dos principais modelos computacionais constitui, como foi anteriormente colocado, o objetivo central deste trabalho, e é apresentada no item 4. Torna-se particularmente conveniente a indicação de uma síntese histórica do desenvolvimento do estudo de "plant-layout", conforme é feito a seguir (item 2), seja para que se possa obter uma visão cronológica de conjunto, seja para facilitar a análise dos modelos computacionais - que, em parte, se utilizam de técnicas sistemáticas ou otimizantes, como ponto de referência.

2.- DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO

O estudo de "plant-layout", integrante da engenharia Industrial, teve seu desenvolvimento acelerado somente a partir da Segunda Guerra mundial. Desta época em diante, assumindo características de um ramo autônomo de estudos, adquiriu corpo e foi sendo aperfeiçoado.

Dentro do processo evolutivo, houve diversas etapas, partindo de técnicas empíricas, passando à montagem de modelos matemáticos, e, chegando hoje a sofisticados métodos que utilizam computadores, incluindo a simulação.

Nesta parte do trabalho, serão reunidas, cronologicamente, citações sobre a literatura disponível, procurando registrar a evolução dos estudos neste ramo de conhecimento. Toda vez que alguma nova técnica for introduzida na cronologia, arrola-se o seu desenvolvimento e utilização para, em seguida, retornar-se à época imediatamente posterior à sua origem, iniciando-se então o estágio seguinte.

Historicamente, o trabalho de arranjar as áreas de trabalho é tão antigo quanto o próprio homem. Os "layouts" iniciais foram o produto ou do homem que realizava o trabalho ou do arquiteto que planejava a construção. Segundo Muther (63), há muitos exemplos nos arquivos ilustrando o arranjo dos postos de trabalho e mostrando os planos da construção. Eles, em geral, indicam as áreas de trabalho para um serviço específico, mas poucos, se algum, insinuam ter sido projetados.

O advento da Revolução Industrial, tornou necessária a intensificação dos estudos sobre a organização do trabalho, com o objetivo de aumentar a produção. Até então, as indústrias trabalhavam de acordo com processos primitivos e atrasados; os industriais eram principalmente capitalistas. Este estado de coisas, que havia persistido durante muitas décadas foi completamente transformado pelo fato de, em menos de cem anos, os homens terem feito tantas descobertas e terem realizado tantas invenções, de modo que os processos de produção industrial tiveram que ser profundamente modificados.

Em decorrência das muitas idéias apresentadas nas áreas econômica (Adam Smith) e sociológica (Marx, Comte), voltadas para

problemas oriundos das transformações provocadas pelo progresso a celerado, vários engenheiros, ligados diretamente às indústrias, trataram de estudar o problema. O mais conhecido dos pioneiros, foi Taylor, que em 1911, escreveu seu famoso "Principles of Scientific Management", marco importante no processo de desenvolvimento. E, já em 1924, técnicos de mais de dez países diferentes, se congregaram para combinar a permuta de conhecimentos e de experiências.

A filosofia que então passou a ser difundida, gerou o início do estudo e da sistematização de técnicas que constituem, atualmente, especializações muito distintas no campo da Organização Científica. Uma destas especializações, é o "plant-layout", que, a seguir, é enfocado mais detalhadamente.

2.1. -ABORDAGENS SISTEMÁTICAS

2.1.1. - O INÍCIO

A partir de Taylor, e das idéias que então predominavam, passaram a surgir algumas abordagens sistemáticas no estudo de "plant-layout". Inicialmente tais abordagens valeram-se de instrumentos não especificamente destinados ao estudo de "layout" mas que, segundo diversos autores, foram utilizados para auxiliar a análise e solução de problemas de "layout". Estes instrumentos iniciais são a Carta de Fluxo, a Carta de Processo Operacional e o Diagrama de Fluxo e, na verdade, não se tem idéia precisa da época em que, pela primeira vez, foram aplicados ao "plant-layout".

. Carta de Fluxo

A Carta de Fluxo do Processo, segundo definição do Manual de Engenharia Industrial (55), é uma representação gráfica da sequência de todas as operações, transportes, inspeções, demoras e armazenagens ocorridas durante um processo ou procedimento. Inclui informações consideradas desejáveis para análise, tais como tempo necessário e distância percorrida. A Carta de Fluxo

do Processo pode acompanhar as atividades relativas a um produto ou a um homem. Foi desenvolvida objetivando sintetizar os dados e apresentá-los de forma clara para a análise e decisão, e serve ao engenheiro de "layout".

. Carta de Processo Operacional

A Carta de Processo Operacional é definida como uma representação gráfica dos pontos nos quais os materiais são introduzidos no processo, da sequência de inspeções e de todas as operações, excetuadas aquelas envolvidas no manuseio de materiais. Inclui informações consideradas desejáveis para análise, tais como tempo necessário para execução do trabalho e localização dos materiais (02). — A Carta de Processo é útil no trabalho de "layout" por apresentar uma visão sistemática do processo de fabricação. Entretanto, se o processo é bastante complexo, uma visão geral pode ser bastante difícil sem o auxílio de uma técnica adequada. Moore (58) recomenda o uso dos símbolos incluídos no Padrão de Cartas de Processo publicado pela ASME. Embora, em geral, a Carta de Processo Operacional simplesmente dê uma visão de conjunto do processo, algumas vezes pode sugerir uma solução de "layout". No planejamento de uma nova fábrica pode ser bastante interessante, ainda que menos completa do que a Carta de Fluxo.

. Diagrama de Fluxo

É outra técnica de representação, desenvolvida com o objetivo de mostrar o fluxo em um corte da construção industrial. O Manual de Engenharia Industrial define Diagrama de Fluxo como um corte do "layout" dos andares do edifício, mostrando a localização de todas as atividades que aparecem na Carta de Fluxo do Processo. Segundo explica Moore (58) o trajeto percorrido na movimentação do material, ou do homem que constam da Carta de Processo, é traçado no Diagrama

de Fluxo por linhas ou pontilhados. Cada atividade é localizada e identificada por símbolos e números correspondentes aos que aparecem na carta de fluxo do processo.

O diagrama geralmente, é utilizado para acompanhar um trabalhador, ou um equipamento de transporte, (como uma empilhadeira ou uma ponte rolante), ou o fluxo de materiais.

2.1.2. - CARTA DE-PARA

No planejamento do "layout" para casos onde há um grande número de produtos, departamentos, peças, etc., torna-se difícil a tarefa de visualizar o conjunto para facilitar a análise.

Nesse sentido, ao longo dos anos, diversos estudos de "plant-layout" dedicaram-se a encontrar algumas técnicas que permitissem tornar mais objetivo o raciocínio na busca das soluções.

Dentro desta linha de pensamento, Cameron (11) em 1952, apresentou a técnica da Carta de-Para, especificamente voltada para a análise do "layout" tipo funcional em que a visualização do fluxo de materiais é difícil, senão impossível.

Trata-se de uma matriz de n elementos x_{ij} , na forma indicada na FIGURA 2.1, a seguir, onde

n : número de centros de trabalho envolvidos no problema

x_{ij} : medida da intensidade de fluxo de transporte entre os centros i e j , no sentido de i para j , admitindo-se que as linhas i representam as origens. Se não houver transporte no sentido $i \rightarrow j$, então $x_{ij} = 0$

PARA DE	1	j	...	n
1						
⋮						
i				x_{ij}		
⋮						
⋮						
n						

FIGURA 2.1 - CARTA DE-PARA

Nesta matriz, se uma peça é transportada de um departamento para outro e depois retorna para o departamento anterior, então o elemento x_{ij} , representativo deste transporte será registrado abaixo da diagonal principal. Portanto, aqueles elementos que constarem abaixo desta diagonal, representarão retrocessos.

Se uma peça for diretamente de um departamento para o departamento adjacente, o elemento correspondente estará na célula imediatamente acima da diagonal principal. Um elemento duas células acima ou abaixo desta linha, indica que a peça saltou uma fase ao longo do processo.

Se todos os elementos não nulos da matriz estiverem imediatamente acima da diagonal, não haverá nem retrocessos nem saltos e o "layout" resultante será o ideal do ponto de vista de transporte mínimo.

As vantagens que tal técnica introduziu despertaram a atenção dos engenheiros industriais - que cuidaram logo de desenvolvê-la.

Assim é que, em 1955, nada menos do que três artigos foram apresentados respectivamente, por Smith (79), Buffa (08) e Lundy (50), reportando-se a ela.

O artigo de Smith, praticamente foi o que serviu para introduzir a maioria dos engenheiros industriais na nova técnica, e, o de Lundy (inclusive, intitulou-se "Uma Reprise do Artigo de Smith") foi apresentado com apenas dois meses de defasagem. Ambos ampliaram o uso da técnica, apresentando exemplos práticos resolvidos.

O artigo de Buffa, apresenta uma metodologia de análise, utilizando a técnica, que em resumo obedece aos seguintes passos:

- coletar os dados básicos na forma de roteiro para as partes, necessidades de produção, unidades de transporte, e área estimada necessária por departamento.
- desenvolver a "Sequência Sumária" que resume, para cada parte, a que departamento ela se destina.
- desenvolver o "Sumário dos Transportes" da "Sequência Sumária".
- desenvolver o "Diagrama Esquemático Ideal", que mostra a melhor localização relativa dos departamentos.
- desenvolver o "Diagrama de Blocos", que mostrará o resultado físico das relações dos departamentos e pode servir de base para a departamentalização prática.

Esta metodologia denominada Análise da Sequência das Operações, além de utilizar a Carta De-Para, chamada pelo autor de "Sumário dos Transportes", serviu-se também de uma tabela registrando a "Sequência Sumária", semelhante a uma

carta apresentada por Ireson(36), em 1952. Llewellyn (49), em 1958, publicou um artigo, onde apresentou um tipo de Carta De-Para que entendia o trabalho de Smith e Lundy, e, ainda, incorporava alguns conceitos apresentados por Buffa. Apresentou-o, utilizando-se, como os demais autores, de um exemplo, e, basicamente, melhorava o processo de escolha do "layout", nos seguintes aspectos:

- . as distâncias são realistas, refletindo as atuais áreas ocupadas pelos departamentos e incluem o transporte dentro dos departamentos.
- . eficiências são obtidas para cada departamento, em adição à eficiência global. Estas são um benefício na obtenção do melhor "layout" em um número mínimo de passos.
- . os cálculos são efetuados numa forma tal que o pessoal de linha pode entender mais facilmente e não contém nenhuma suposição contrária aos conceitos da situação.
- . o método pode ser estendido para qualquer número de produtos, qualquer número de departamentos e qualquer tamanho de construção. Alguma habilidade pode ser necessária na determinação dos critérios nos quais basear as eficiências departamentais quando operando com algumas construções de forma irregular, mas um critério de movimento será sempre possível.
- . o método não é limitado ao trabalho com uma dada lista de produtos. Quando o "mix" de produtos é constantemente alterado, um processo de amostragem pode ser usado para estimar o número de movimentos, por alguma unidade de tempo, entre departamentos. Estes seriam então colocados diretamente na Carta de Movimentos. Então, trabalhando com uma Car

ta de Distâncias da planta existente, a primeira Carta De-Para pode ser preparada e a análise iniciada.

A citação seguinte do uso da técnica constitui um artigo importante dentro do estudo de "layout", e, será mencionada outras vezes durante o trabalho. Trata-se do método apresentado por Wimmert para a localização de equipamentos em indústria com produção intermitente. Wimmert defendeu o método, como sua tese doutoral, no ano de 1957. Entretanto, o mesmo só veio a público no final do ano seguinte, através de um artigo (91).

O modelo de Wimmert requer como dado de entrada uma Carta De-Para para cada classe de produto. A partir dela, é, montada a matriz especial desenvolvida pelo autor, e que será detalhada adiante na descrição do modelo.

Em 1959 Moore (58) desenvolveu dois bons exemplos de uso da Carta De-Para, utilizando o método exposto pelos seus precursores, e inserindo um resumo de suas possíveis utilizações dentro da solução de problemas de "layout", a saber:

- . facilitar a venda de um "layout"
- . analisar problemas de manuseio de materiais
- . desenvolver diagrama de blocos departamental
- . desenvolver "layout" detalhado
- . avaliar alternativas de "layout"
- . demonstrar a dependência de uma área sobre a outra

- . reduzir ciclos de produção
- . reduzir estoque em processo
- . mostrar o uso dos componentes
- . mostrar interrelações de linhas de produtos
- . selecionar equipamento adequado de manuseio

O uso da Carta De-Para continuou aumentando na medida em que mais pessoas tornavam-se familiarizadas com as suas vantagens na abordagem dos problemas de "layout". Contudo, desde a mais antiga apresentação da técnica, feita por Cameron e Smith, a questão do realismo tem sido uma preocupação dos especialistas. A necessidade da demasiada simplificação das suposições tem sido uma constante fonte de dificuldade. Llewellyn (49) no desenvolvimento do seu método utilizou critérios de distância mais realistas, dando um passo considerável. Restavam, contudo, algumas barreiras a serem superadas, antes que a técnica se tornasse um método realmente prático para a solução de problemas de "layout". Wimmert e outros tentaram-no com problemas numa base matemática, mas os métodos tem sido bastante complexos e não utilizam a mesma espécie de técnica.

Reis e Andersen (74) em meados de 1960, publicaram um artigo citando esta problemática, e propondo-se a apresentar sua contribuição, no sentido de incluir a análise de outros fatores de relativa importância que juntamente com o momento de transporte, permitiriam comparação e medida do valor global de um "layout".

Os fatores usuais de volume do produto e

distância são raramente adequados para satisfazer o projeto do "layout". Outros fatores como a prioridade de um produto sobre outros, movimentos perigosos que deveriam ser tão curtos quanto possível, materiais valiosos ou frágeis, e a indesejável congestão, cruzamentos ou retrocessos, podem ser importantes para a análise. O método apresentado pelos autores possibilitava a inclusão de informações concernentes à importância relativa dos vários movimentos de materiais. Os passos sequenciais eram:

- . estabelecer os dados primários
- . estabelecer e ponderar os fatores importantes
- . estabelecer cargas ajustadas e valor das distâncias
- . analisar, melhorar e avaliar "layouts"
- . repetir os quatro passos anteriores - quando necessário

As mais relevantes diferenças com relação às abordagens anteriores são o reconhecimento do fator de importância relativa dos movimentos, e a eliminação da necessidade de construção de vários tipos de Carta De-Para.

Em 1969, Moraes Rego (60) utilizando o exemplo citado por Reis e Andersen, e ainda um outro apresentado por Moore, comenta o uso da técnica.

Finalmente, esta ferramenta também foi utilizada como elemento básico (dado de entrada) em modelos computacionais.

nativos desenvolvidos pelo engenheiro de "plant-layout".

Sua validade tem sido reconhecida, e, inclusive é utilizada em alguns modelos computacionais, como dado de entrada.

2.1.4. - CARTÕES PERFURADOS

Muther (63), ainda em 1955, apresentou - uma forma de utilização de cartões perfurados na tabulação de dados para a análise do fluxo, quando envolvendo milhares de combinações de movimentos.

Esta parte da tarefa, que era a mais demorada e trabalhosa, com o recurso da mecanização podia ser bastante simplificada.

No caso de a empresa possuir cartões perfurados para controle de produção, eles - seriam utilizados agregando-se, via perfuração adicional, dados que possibilitassem a tabulação necessária do fluxo interdepartamental. Se a empresa não possuisse cartões perfurados para controle de produção eles teriam que ser gerados através de perfuração total dos dados.

Outra vantagem oferecida pela mecanização, facilitando o trabalho do analista era a possibilidade de reprodução de cartões, a partir de "mestres" que seriam convenientemente completados.

2.1.5. - MODELO DE WIMMERT

Wimmert (91), apresentou um modelo de posicionamento em áreas ocupando posições - quaisquer, não existindo sentido pré-fixado de fluxo.

O modelo foi inicialmente apresentado como sua tese doutoral no ano de 1957, e , só veio a público no ano seguinte.

O objetivo do autor era o de minimizar o fator de julgamento das alternativas de "layout" desenvolvidas a partir de modelos esquemáticos requerendo um profissional experiente. Reconhecia, contudo, ser altamente questionável a eliminação completa da percepção do Engenheiro Industrial, que necessitaria consistir as hipóteses elaboradas, através dos critérios selecionáveis pelo seu método.

Em resumo o modelo constitui-se do seguinte:

- . entradas requeridas
 - distâncias entre as áreas disponíveis
 - intensidades de fluxo entre os equipamentos concorrentes
- . processamento
 - utiliza matriz especial desenvolvida pelo autor, na qual estabelece as correspondências entre as áreas e os centros de produção. Os centros de produção são colocados nas linhas, e as áreas candidatas nas colunas da matriz
 - nas linhas, as combinações dos centros são registradas em sequência decrescente de intensidade de fluxo.
 - nas colunas, aparecem as combinações de áreas candidatas em sequência crescente de distância

- as células são o produto da distância pela intensidade de fluxo correspondente
- se a diagonal principal for viável, é a solução ótima, pois representa a mínima soma dos momentos de transporte, e, em caso contrário, deve ser pesquisada a solução em torno da mesma.

Um exemplo da matriz é indicado na FIGURA 2.3, a seguir, onde são considerados quatro centros de produção (A,B,C e D) candidatos ao posicionamento em quatro áreas (1, 2, 3 e 4)



		 CRESCENTE						
 DECRESCENTE	COMB. ÁREAS	1-2	1-3	2-3	3-4	2-4	1-4	
	COMB. CEN-TROS	d						
	v	44	54	62	88	140	142	
	A-B	380	16 720	20 520	23 560	33 440	53 200	53 960
	C-B	305	13 420	16 470	18 910	26 840	42 700	43 310
	A-C	240	10 560	12 960	14 880	21 120	33 600	34 080
	A-D	165	7 260	8 910	10 230	14 520	23 100	23 430
	C-D	95	4 180	5 130	5 890	8 630	13 300	13 490
	B-D	75	3 300	4 050	4 650	6 600	10 500	10 650

FIGURA 2.3- MATRIZ DE WIMMERT

- restrições
- não é útil para a decisão de posicionamento de muitos centros de produção , pois se baseia na análise de todas as

combinações possíveis, de áreas e centros, tomados 2 a 2. O número de linhas e colunas num problema relativamente pequeno (50 x 50) significaria uma matriz de 1225 x 1225.

Este modelo representava uma técnica objetiva para a solução do problema de minimização do manuseio de materiais pela adequada localização dos equipamentos na indústria intermitente.

Willoughby apresentou uma simplificação ao método, introduzindo na matriz de Wimmert uma coluna para possibilitar o "check" das posições disponíveis. A FIGURA 2.4, a seguir, mostra a matriz de Willoughby em que a coluna "check" introduzida deverá ser preenchida, de cima para baixo, com um número igual ao número de posições menos o número de vezes que o equipamento já foi anteriormente analisado, menos um.

POSICÕES PARES DE LIGAÇÕES		1	2	3	4	"CHECK"
A B	A					3
	B					3
B C	B					2
	C					3
A C	A					2
	C					2
A D	A					1
	D					3
C D	C					1
	D					2
B D	B					1
	D					1

FIGURA 2.4- MATRIZ DE WILLOUGHBY

Em cada célula da matriz, é anotada uma barra para cada vez que o equipamento é analizado. Quando o número de barras totalizar o valor constante da coluna "check", o equipamento da linha não poderá ocupar a posição da coluna.

Oliverio (71) apresenta o exemplo utilizado por Wimmert, resolvido com a simplificação proposta por Willoughby.

Moore (58) também reproduz o exemplo apresentado por Wimmert e comenta a necessidade de métodos computacionais para a solução de problemas onde o número de equipamentos envolvido é muito grande.

Oliverio (72) utiliza a técnica como entrada básica para o seu modelo computacional.

2.1.6. - MODELO DE NOY

Já no ano de 1957, Peter C. Noy (67), apresentou uma técnica de avaliação de "layout" que considera a sequência de operações de uma variedade de partes sendo processadas em "layout" funcional. Basicamente, consiste no seguinte:

- . entradas requeridas
 - sequência sumária das operações
 - volume e capacidade de carga de cada parte
 - áreas disponíveis
- . processamento
 - utiliza os momentos de transporte, ob

tidos através do produto dos volumes transportados pelas necessidades de viagens (com base na capacidade de carga por viagem)

- monta a Tabela de Vontades, onde produto por produto são determinadas as vontades* de se posicionar os centros de produção nas áreas disponíveis.
- por uma analogia da mecânica, é obtida a posição média ponderada que cada centro de produção deve ocupar.

. restrições

- se há grande variação na quantidade de operações a serem executadas nas várias partes, a solução é complicada. Contudo, esta complicação pode ser diminuída pela expansão das operações - nas partes com menores quantidades de operações e pela condensação, em segmentos comuns, das operações das partes que tem maior número de operações. Naturalmente, se isto é feito em escala grande, considerável erro será introduzido na solução.

Detalhes do uso do modelo são fornecidos, através de um exemplo, por Oliverio (71).

2.1.7. -OUTRAS TÉCNICAS

No desenvolvimento de "layouts" onde há imposição de restrições relativas à construção existente, algumas técnicas tem sido empregadas e Moore (58), em 1959, cita, em especial as seguintes:

- * soma das intensidades de fluxo de cada parte, para um equipamento envolvido, numa particular posição, no sentido do fluxo considerado.

- "plot plan": definido no Manual de Produção (12) como uma representação diagramática do contorno da construção, mostrando sua localização no terreno, e, a localização das facilidades externas de transporte. Pode mostrar itens tais como pátios, estradas, vias férreas, rios, tanques, áreas de armazenagem, hidrantes, áreas de recreação, e jardins.

Se um projeto de "plant-layout" envolver facilidades existentes, um "plot-plan" deverá ser considerado desde o início do projeto, embora durante a fase de planejamento este já esteja sujeito a alterações. O "plot-plan" apresenta, de forma compacta, os planos de transportes, paisagem e localização das áreas de entrada e saída, condições favoráveis do sol, arejamento e condições climáticas.

- "block-plan": segundo Moore (58), é uma representação diagramática, usualmente numa escala menor que 1/4 in:1 ft, da construção apresentando divisões internas e áreas disponíveis sem apresentar, entre tanto, maquinário e equipamentos.

Se um novo "layout" está sendo projetado, o "block-plan" deverá registrar informações sobre todas as partes fixas. Elevadores e escadas devem ser apresentados, assim como colunas, janelas e portas. Esta técnica serve de suporte na determinação do arranjo dos vários departamentos.

Carta De-Para e certas técnicas de programação linear tornam-se mais úteis quando se analisa o arranjo dos departamentos - num "block-plan", pois o fluxo geral de um produto pode nele ser superposto.

- "template": é uma representação bi-dimensional, em escala, de um objeto físico -

num "layout", segundo define Moore (58) . Este objeto pode ser um equipamento, um trabalhador, um veículo transportador, ou ainda materiais. Os "templates" são usados no desenvolvimento de alternativas de arranjo dos equipamentos e instalações. As vantagens de sua utilização são:- a facilidade de mudar "layouts" alternativos, a facilidade de visualização do "layout" e a possibilidade de considerar grande número de alternativas face à flexibilidade de mudanças.

- . modelos: os modelos tri-dimensionais são bastante úteis na apresentação de uma alternativa de "layout" para pessoal não especializado e esta é sua grande aplicação. O custo destes modelos, entretanto, é alto. Eventualmente o "template" bi-dimensional é usado em conjunto com os modelos. No Brasil, muitas vezes o termo "template" é utilizado também para designar modelos tri-dimensionais.

2.1.8. - GRAFOS

Os métodos de planejamento de redes foram estabelecidos, independentemente, por dois grupos diferentes. Como um projeto interno da Companhia Du Pont para planejar e controlar a manutenção de usinas químicas, e pela Marinha Americana para estabelecer e controlar o projeto dos mísseis Polaris.

Os primeiros trabalhos, na literatura, utilizando o método em problemas de "plant-layout" foram desenvolvidos por Hakimi (26), em 1964 quando preparou seu estudo sobre uma versão do problema geral de Fermat no qual todas as instalações devem figurar num grafo que represente a rede de fluxo.

Em 1965, Robinson (76) e outros apresentavam

um estudo sobre o uso de grafo na análise do fluxo.

Ainda no mesmo ano, Hakimi (25) elaborou outro estudo sobre uma versão do problema relacionada com a otimização da solução.

Em seguida, no ano de 1966, Levy (47), extendeu o trabalho de Hakimi, desenvolvendo nova prova do seu teorema e ampliando-o para consideração de algumas restrições.

Donath e colaboradores, e Hanan, citados por Cabot (10) também estudaram problemas de localização com o auxílio da teoria dos grafos.

Goldman (24), em 1969 apresentou seu trabalho contendo uma formulação do problema de localização de depósitos. Cabot (10) e colaboradores, em 1970, reuniram toda a literatura disponível até a época e apresentaram uma resenha da evolução dos estudos. Além disso, propunham várias abordagens alternativas para a solução de problemas equivalentes de programação linear.

No ano seguinte, Hakimi apresentou a generalização dos resultados dos seus próprios trabalhos (25,26) e mais o de Goldman (24) na localização ótima de depósitos numa rede. Além deste trabalho, Hakimi citava o trabalho paralelo desenvolvido por Wendell (86), que também apresentava tese semelhante à sua para ser publicada.

Oliverio (71), ainda no mesmo ano, apresentou exemplos de aplicação do grafo no estudo do fluxo, segundo a orientação de Robinson (76).

2.2. - ABORDAGENS OTIMIZANTES

Moore (58) em 1959, registrava que pouco havia na literatura sobre "plant-layout" a respeito das técnicas de avaliação que garantam soluções ótimas. E explicava o fenômeno, pelo fato de que, apenas naquela época tais técnicas começavam a ser desenvolvidas. Por outro lado, estas técnicas ainda estavam num estágio prematuro para utilização, sendo incapazes de manipular muitas variáveis. Contudo, mesmo resultando em soluções sub-ótimas, tais ferramentas eram e ainda são de grande utilidade para o engenheiro de "layout".

Algumas destas promissoras ferramentas analíticas - são programação linear, programação dinâmica, teoria das filas, curvas de nível de custo, programação quadrática, etc.

2.2.1. - BALANCEAMENTO DE LINHA

O problema do balanceamento de linha tem recebido considerável atenção e muitos casos práticos têm sido analisados sistematicamente. Muther (27), em 1944, apresentou uma abordagem sistemática para situações gerais. Moore (58), considera-a a melhor abordagem entre os muitos procedimentos sistemáticos-disponíveis, ressaltando, entretanto, o aspecto da dependência completa em relação à análise do homem de "layout". Apesar do tratamento sistemático inicial, o balanceamento de linha pode ser considerado uma técnica otimizante.

Salveson (77), em 1955 apresentou um trabalho original sobre otimização das estações em "layout" de produção fixa.

Conrad (14), no mesmo ano, desenvolveu uma série de experiências tratando do ritmo de trabalho regulado por um transportador ou uma máquina, comparando as produções resul-

tantes para a mesma tarefa, quando o operário era obrigado a uma cadência rígida de trabalho e peças podiam passar por ele sem serem processadas, e quando se permitia que filas de peças se organizassem antes dele. O resultado importante dessas experiências, foi que o determinante crítico da produção era o tempo em que a peça ficava à disposição do operário. Dessa forma, quando o operário era obrigado a uma cadência rígida de trabalho, o tempo disponível era minimizado.

Hunt (34), no ano seguinte examinou o mesmo tipo de situação de um ponto de vista teórico, usando um modelo de linha de espera. Admitiu ritmos de chegada e de serviço segundo uma distribuição de Poisson e calculou o máximo possível de utilização da linha e os represamentos médios para diferentes casos de limitações dos mesmos e números diferentes de estágios ou estações. Se a linha já se achava abaixo do máximo de utilização possível, segundo sua análise, diminuindo-se a velocidade da linha poder-se-ia realmente aumentar a produção, pelo aumento das filas efetivas entre as operações, um resultado verdadeiramente paradoxal.

Em 1959, Moore (58) reunia o que havia até então sido desenvolvido, e, agregava sua contribuição, incluindo alguns exemplos e análises.

Bowman (05), em 1960, apresentou uma formulação do problema de balanceamento de linha para solução com programação linear.

No mesmo ano, Tonge (82), resumia os recentes avanços no problema, para a época.

Buffa (06), em 1961 editava seu livro e incluía as técnicas de balanceamento desenvolvidas até então, dentro do capítulo referente ao planejamento da instalação do equipa-

to.

Alguns modelos heurísticos foram desenvolvidos por Kilbridge e Wester (40,41) e Helgeson (29), nos anos de 1961 e 1962, voltados para problemas de larga escala.

Os modelos de Wester e Kilbridge (40) foram aplicados a problemas de linhas de montagem de aparelhos de televisão com 45 e 133 tarefas e obtiveram resultados excelentes.

Um método de programação dinâmica foi apresentado por Held (28) e colaboradores em 1963.

0

2.2.2. - TEORIA DAS FILAS

O trabalho original sobre a teoria da fila de espera foi realizado por A.K.Erlang, um engenheiro de comunicações dinamarquês. Erlang começou seu trabalho em 1905, — numa tentativa de determinar o efeito da flutuação da demanda de serviço sobre a utilização do equipamento de discagem automática. Foi somente após a segunda guerra Mundial — que o trabalho com modelos de filas de espera foi estendido a outros tipos de problemas.

Brockmeyer e colaboradores, no ano de 1948, reuniram, os estudos de Erlang e os publicaram. Em geral os objetivos da utilização dos modelos de filas são pesquisar

- . os tempos de espera do consumidor
- . o número de consumidores na fila
- . o número ótimo de atendentes
- . o período ocupado, isto é, o intervalo

de tempo durante o qual o atendimento es
tá operando continuamente.

Em 1954, Edie (17) utilizou-se da técnica para analisar as demoras no tráfego às balsas nos túneis e pontes sob autoridade portuária.

No mesmo ano Jackson (38) realizou estudo - sobre serviço de atendimento em série, particularmente interessante pela analogia com a linha de produção.

Em 1955, Malcolm (52) publicou um trabalho, sobre a aplicação da teoria das filas na organização do "design".

Hunt (34), em 1956, aplicou a técnica ao problema de balanceamento de linha, conforme sintetizado na parte específica.

Outro modelo usado em trabalho de "layout" considera os usuários chegando em intervalos constantes, de certa duração e atendimento exponencial. Um exemplo de aplicabilidade, descrito por Moore (58) seria uma parte, chegando por transportador, de uma máquina automática de parafusos a uma operação controlada manualmente. Wishart (92) desenvolveu o modelo correspondente no ano de 1956.

Além de Jackson (38), Feller (19), no ano - de 1957, apresentou estudo sobre serviço de atendimento em série, equacionando diversas situações.

No ano seguinte, Morse (61) apresentava seu trabalho sobre estruturas mais complexas onde considerava casos multifásicos, situações de distribuição de chegada e disciplina de atendimento diferentes.

Moore (58), em 1959, reuniu o que até então

havia sido desenvolvido com relação a aplicações específicas a problemas de "layout", e, inseriu alguns exemplos práticos.

No mesmo ano Nelson (66), executou um estudo da distribuição de chegada e de tempos de processamento aplicado a um "job shop" de Los Angeles.

Em 1968, Buffa (06) a exemplo de Moore reuniu os modelos desenvolvidos até a época.

2.2.3. - PROGRAMAÇÃO QUADRÁTICA

Em 1957, Koopmans e Beckmann (42) formularam o problema de designação de instalações indivisíveis (chamado na literatura de AL - TIF), como um problema de programação quadrática.

Steinberg (81), em 1961 propôs um algoritmo sub-ótimo e McHose (56), no mesmo ano, reformulou o problema da alocação. Em 1962, Gilmore (23) desenvolveu um algoritmo ótimo e outro sub-ótimo para a solução do problema de "plant-layout", formulado em termos de programação quadrática. A seguir, em 1963, Lawler (45), apresentou um novo algoritmo ótimo, bastante similar ao proposto por Gilmore. Ambos não são exequíveis, mesmo por computador, para um número relativamente grande de atividades.

Ainda em 1966, Hillier e Connors (32), apresentaram duas modificações dos algoritmos sub-ótimos existentes até então. Um desses algoritmos modificados destinava-se ao tratamento do problema generalizado de designação e o outro, ao caso particular em que o custo de transporte é proporcional à distância (retangular) entre as atividades.

White (89), em 1971, tratou do problema da localização de mais de uma atividade em relação a diversas atividades existentes, propondo uma solução ótima, demonstrada através de um exemplo, com base no custo de transporte.

2.2.4. - CURVAS DE NIVEL DE CUSTO

A determinação da localização ótima para um novo equipamento num "layout" estabelecido pode ser acompanhada, graficamente, usando-se curvas de nível. Para cada ponto de um "layout" bi-dimensional é atribuído um valor numérico que indica o custo total da movimentação dos materiais de todo o fluxo e da nova máquina se ela for alocada num ponto particular.

A distância física entre dois pontos do "layout" pode ser medida de diferentes formas, dependendo das condições impostas pelo sistema de movimentação dos materiais. Dois particulares modelos tem sido estudados: movimento em linha reta e o movimento retangular.

Para movimento em linha reta são consideradas as hipóteses de localização de mínimo custo total e de mínimo custo de transporte. O transporte entre o novo equipamento e os demais se faz em linha reta e o custo unitário do transporte é idêntico entre dois pontos quaisquer, e diretamente proporcional à distância percorrida.

Para movimento retangular é assumido que a localização de mínimo custo total é a de mínimo custo de transporte. O transporte entre o novo equipamento e os demais existentes obedece sempre a trajetórias paralelas a eixos ortogonais, isto é, movimento retan

gular e o custo do transporte, por unidade de deslocamento, é o mesmo entre dois pontos quaisquer, e diretamente proporcional à distância.

O uso desta técnica na avaliação de "lay - outs" foi inicialmente conduzido por Moore (58), em 1959, e a partir daí, incrementado por diversos autores. Em 1961, Moore e Bindschedler (59) apresentaram um modelo - para localização de novas máquinas em "lay outs" existentes. Discutiram o caso do modelo bi-dimensional considerando movimento retangular. Ainda no mesmo ano Moore (57) voltava ao tema, utilizando a técnica geralmente conhecida em pesquisa operacional como o "Assignment Problem", e, extendendo os seus trabalhos iniciais (58, 59).

A seguir, Kuenne e Kuhn (43) evoluíram no estudo e, em 1962, publicaram um trabalho no qual desenvolviam um algoritmo para a - solução do problema, quando o espaço é fa- tor restritivo.

No ano seguinte, Francis (20) desenvolveu, alguns aspectos matemáticos do modelo, ex- tendendo o estudo de Moore e Bindschedler (59). Apresentou uma técnica para obter a - localização ótima de uma nova máquina em - uma, duas ou três dimensões sem recorrer à análise gráfica, e uma técnica simples pa- ra o cálculo dos declives dos segmentos de curvas de nível quando a análise gráfica é necessária.

Cooper (15), Francis (21), voltaram ao assun- to agregando novas contribuições, e, em 1969, Wesolovsky e Love (88), apresentaram um método para localização ótima de um nú- mero maior de equipamentos em "layouts" e- xistentes, objetivando minimizar o custo -

total de movimentação do sistema, e, assumindo movimento retangular.

Moore (58) aborda o aspecto do volume envolvido, quando a quantidade de equipamentos existentes é grande, indicando o programa de computador que elaborou para o IBM 650, permitindo analisar de 1 a 100 equipamentos.

Em 1971, Oliverio (69) apresentou ao IV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional um trabalho intitulado "A Localização Orientada pelo Transporte Aplicada a Movimentação Retangular" contendo um exemplo de aplicação.

2.2.5. - PROGRAMAÇÃO LINEAR

A programação linear surgiu durante a última Guerra Mundial. Desenvolvida inicialmente para solução de problemas militares, tem hoje ampla aplicação industrial. Visa otimizar a utilização de recursos limitados. Sempre que existem alternativas de uso desses recursos, a técnica permite encontrar a melhor delas, a partir do objetivo definido por uma função que deverá ser maximizada ou minimizada.

Moore (58) cita alguns problemas relacionados com o "plant-layout":

- . a comparação de custos de transporte entre locais alternativos para a localização industrial
- . a comparação de custos de movimentação de materiais entre departamentos.
- . a comparação de alternativas de localização de produtos num armazem

- a determinação de rotas para equipamentos de movimentação de materiais
- a determinação da quantidade de veículos para o transporte dos materiais
- a distribuição da produção de várias fábricas a vários depósitos, em função do custo de transporte

A esses problemas, cuja solução é possível por programação linear, Oliverio (71) acrescenta

- a designação de equipamentos a posições pré-fixadas.

Hitchcock (33) originalmente formulou um interessante caso especial de transporte de produtos originários de diversas fontes e destinados a diversas localizações.

Em 1951, Dantzig (16) apresentava a formulação do algoritmo simplex para o problema dos transportes.

Henderson e Schlaifer (30), e, Charnes e Cooper (13) no ano de 1954, desenvolveram novos estudos sobre o método dos transportes, sendo que os primeiros se preocuparam com a análise dos problemas degenerados.

Em 1958, Carson (12) definia o problema da programação linear em termos da especificação de como certos recursos ou capacidades devem ser usados, sujeitos a restrições, objetivando maximizar ou minimizar os resultados esperados.

Moore (58) em 1959, analisou o uso desta nova ferramenta, em problemas de "layout" e, concluiu que, embora o simplex fosse o modelo clássico e o mais geral, o método dos

transportes tinha maior aplicação a problemas de "plant-layout" e movimentação de materiais. Conclui também que a particular característica da programação linear é garantir que uma solução ótima será encontrada numa série infinita de soluções possíveis

Buffa (06), em 1961, arrola uma série de aplicações da técnica a problemas industriais, incluindo os de "plant-layout".

Oliverio (71), em 1971, apresenta alguns exemplos de aplicação da técnica a problemas de "plant-Layout".

2.2.6. - PROGRAMAÇÃO DINÂMICA

O desenvolvimento de uma nova técnica, programação dinâmica, tem possibilitado uma abordagem interessante para os problemas onde as variáveis sobre as quais o administrador tem controle podem ser escolhidas sequencialmente, ou para os problemas com n , variáveis sobre as quais se deve decidir que podem ser decompostos em n problemas, cada um dos quais com uma única variável de decisão.

Bellman (04), em 1954 descreveu as características dos problemas solúveis por este método, isto é:

- a situação envolve processos em múltiplos estágios contendo um grande número de variáveis
- o relacionamento entre os estágios não é complexo
- em cada estágio, a situação do processo, é descrita por um pequeno número de parâ

metros.

- o efeito da decisão em qualquer estágio é transformar este conjunto de parâmetros num conjunto similar.

O princípio de otimalidade de Bellmann, como é conhecido na literatura, reduz drasticamente o número de alternativas que devem ser examinadas para alcançar o ótimo. Held e colaboradores (28), apresentaram, em 1963 um modelo de programação dinâmica, desenvolvido especificamente para o problema do balanceamento de linha.

Oliverio (71), apresenta dois exemplos de aplicação da técnica, um deles envolvendo a movimentação de materiais em um grande complexo industrial interligado por vias férreas, e o outro sobre o posicionamento dos almoxarifados em departamentos de uma fábrica.

2.2.7. - "BRANCH AND BOUND"

A técnica do "branch and bound" foi desenvolvida por Little e colaboradores (48), em 1963, com o objetivo de encontrar a solução ótima para o problema da movimentação de vendedores. Já nesta época foi reconhecida como um método de aplicação geral a uma grande variedade de problemas combinatórios.

Em 1966, Gavett e Plyter (22) aplicaram o modelo de Little, com modificações, ao problema de "layout", considerado em termos da designação de uma e somente uma atividade a uma particular localização fixada.

A solução ótima é aquela em que a soma dos produtos da distância pela intensidade de

fluxo, para todos os pares de posições é mínima.

Gavett considerava então, um custo unitário de transporte independente do meio de movimentação. Apesar da grande utilização potencial do método, preconizada pelo autor no ordenamento inicial de um conjunto de departamentos ou, na avaliação de um dado "layout", ele não se aplica aos casos em que outros fatores assumem importância.

2.2.8. - OTIMIZAÇÃO EM DIAGRAMA HOMEM-MÁQUINA

Segundo Oliverio (71), diagrama homem-máquina é a situação de trabalho que existe quando um operário atende 1,2 ... n máquinas, numa sequência pré-determinada e existindo - tempo padrão para o atendimento de cada uma das operações.

O problema surge quando é desenvolvido um estudo de dimensionamento de mão de obra ou de equipamento, para um caso em que existem operações com tempo parcial de funcionamento automático, possíveis, portanto, de serem executadas por um único operário.

Em 1970, Oliverio (70), apresentou ao II Simpósio da Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional um modelo com o objetivo de otimizar o diagrama homem-máquina; isto é, de estabelecer qual a disposição das operações que permanecerão sob a responsabilidade de um operário, e, no conjunto, como se distribuirão as operações pelos operários, de tal forma que seja dispendido o mínimo tempo total para o seu desempenho.

2.3. - MÉTODOS COMPUTACIONAIS

No atual estágio de expansão tecnológica e metodológica, a utilização de computadores na solução de problemas industriais promete constituir-se em significativo avanço na tomada programada de decisões, e a crescente aplicação do processamento eletrônico de dados permitiu que fossem desenvolvidos programas específicos para análise de "plant-layout". Assim, em 1956, Jackson (37) desenvolveu um procedimento computacional para o problema do balanceamento de linha.

Em 1961 Steinberg (81) apresentou um algoritmo sub-ótimo para solução do chamado "blackboard wiring problem" aplicando-o a um caso de trinta e quatro unidades e testando-o em um UNIVAC I. Em 1962, Gilmore (23), desenvolveu dois algoritmos sub-ótimos e testou-os na solução do problema de Steinberg usando um IBM 7090.

Em 1963, Hillier (31) apresentou um procedimento sub-ótimo para o problema de "layout" que o autor testou manualmente, em um caso envolvendo doze departamentos. Ainda em 1963, Buffa e colaboradores (09) apresentaram o CRAFT, publicado em 1964, e que se constitui, basicamente, em um programa capaz de gerar e avaliar um grande número de alternativas de "layout", permitindo ao administrador examinar e comparar as vantagens econômicas de qualquer proposta de alocação de departamentos, com base no custo total de transporte.

Em 1966, Hillier e Connors (32) apresentaram um modelo - que, na verdade, é uma modificação dos dois algoritmos de Gilmore, acrescida de uma melhora computacional obtida através de modificações no procedimento proposto por Hillier em 1963.

Ainda em 1966, preocupado com o problema de escala, Arcus (03) desenvolveu um método de computação para colocar em sequência as operações de linhas de montagem. Este programa, denominado COMSOAL (Computer Method for Sequencing Operations for Assembly Lines), já foi utilizado, praticamente, na Chrysler Corporation. A metodologia COMSOAL é baseada no rápido estabelecimento de

soluções consideradas exequíveis. Arcus empregou-o numa linha hipotética de 200 estações com 1000 tarefas, estabelecendo a conhecida solução ótima de tempo ocioso igual a zero.

No mesmo ano, Mastor (54) avaliou um grande número de modelos de balanceamento de linha num grupo de experiências, envolvendo uma espécie de problemas (número de tarefas a serem atribuídas), comprimento da linha (número de estações na linha) e ordem de importância (grau de restrição da sequência imposto nas relações de precedência). Ele verificou que o modelo de programação dinâmica proposta por Held (28) e que conduz a um ótimo matemático, era consistentemente o melhor meio de trabalho, COMSOAL vindo logo após; contudo, o tempo de computador requerido por este último era muito menor. Para grandes problemas (70,92 e 111 tarefas) as duas técnicas funcionavam quase que identicamente, quando se fez o programa COMSOAL trabalhar em 999 sequências. Mesmo para o grande tamanho da amostra no problema de 111 tarefas, COMSOAL necessitava só de 56 segundos de tempo de computador, comparados com os 94,3 exigidos pelo modelo de programação dinâmica.

Em 1967, Moore e Lee (46) publicaram o CORELAP, um programa desenvolvido para uma análise lógica do plano de "layout" que constroi sistematicamente, pela adição de um departamento após o outro até que um "layout" final seja obtido.

Evans (18), em 1968, apresentou o ALDEP, um programa desenvolvido em "Fortran" e "Basic Assembly Language", para criar "layouts" de uma nova construção a partir das necessidades de área e das ligações interdepartamentais.

Em 1969, Willoughby e colaboradores (90), descreveram, como parte de sua tese de graduação uma aplicação "on-line" para o estágio inicial de planejamento e projeto arquitetônico de um complexo de construções. O modelo procura otimizar o arranjo das unidades (prédios, por exemplo) em uma dada área (um "campus" universitário, por exemplo), com base nas condições da área e nas relações funcionais entre as atividades relativas a cada unidade e

entre as unidades.

Muther e McPherson (65), em 1970 apresentaram o RMA-CompI, que gera um diagrama de relações entre às áreas, com base nas ligações preferenciais estabelecidas como dado de entrada.

Em 1971, Oliverio e Baião (72) apresentaram ao IV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional o PLOPCO, um modelo computacional em três versões para aplicações aos casos de constituição de uma linha, designação de atividades a locais pré-fixados e localização relativa de departamentos.

Em 1972, Zoller e Adendorff (93), publicaram, como parte de sua tese de doutoramento, um modelo de simulação por computador, o LSP, com o objetivo de gerar e avaliar alternativas de "layout", no entorno da solução ótima.

No item 4 serão discutidos os modelos CRAFT, ALDEP, CORE-LAP, RMA Comp I, PLOPCO e LSP. No item 3, a seguir, procura-se justificar a importância e demonstrar a necessidade dos métodos heurísticos na análise de problemas de "layout".

3.- A IMPORTÂNCIA DOS MÉTODOS HEURÍSTICOS

Uma colocação particularmente interessante do problema de "plant-layout" sob o ponto de vista matemático, com a finalidade de enfatizar o valor dos métodos heurísticos, é indicada por Buffa(09) e aqui apresentada segundo uma estruturação proposta por Olivério e Baião (72).

3.1. - EQUACIONAMENTO DO PROBLEMA

Matematicamente podemos considerar o problema da alocação relativa de departamentos em um edifício industrial de modo a expressá-lo na forma de uma função objetivo a ser minimizada.

Seja n : número de atividades a serem posicionadas.

v_{ij} : intensidade do fluxo de transporte, representativo da movimentação entre as atividades i e j . Esta intensidade de fluxo deve ser medida através de uma unidade significativa, isto é, que traduza a realidade da movimentação existente. Assim, kg/h, carrinhos/mes ou l/dia são exemplos de unidades de medida para o fluxo interdepartamental - por unidade de tempo ou intensidade do fluxo de transporte.

u_{ij} : custo unitário do deslocamento, isto é, custo de movimentação da unidade de carga por unidade de distância entre as atividades i e j . As unidades para a medida deste custo devem ser compatíveis com aquelas usadas na medida da intensidade do fluxo de transporte. Alguns exemplos: Cr\$/kg x m, Cr\$ / /l x m, Cr\$/carrinho x ft

d_{ij} : distância entre as atividades i e j

Considerando que v_{ij} e u_{ij} independem das particulares localizações dos centros i e j , ou seja, todos os elementos das matrizes U e V não variam com mudanças nas alocações, podemos combiná-los de maneira a obter:

$$y_{ij} = u_{ij} \times v_{ij} \quad \text{onde}$$

y_{ij} : custo de deslocamento por unidade de tempo, isto é, o custo para movimentar de uma unidade de distância por unidade de tempo, a carga total associada ao fluxo de produção entre as atividades i e j .

O custo de deslocamento y_{ij} também independe das particulares localizações das atividades i e j e pode ser colocado sob a forma matricial, a seguir indicada:

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nn} \end{bmatrix}$$

As distâncias entre as atividades variam em função da variação entre as suas posições. Adicionalmente, se forem consideradas as áreas dos departamentos, a distância entre eles será dada pela distância entre os seus centros, isto é, as distâncias entre as atividades poderão variar também com alterações na configuração (forma geométrica) dos departamentos.

As distâncias entre os centros dos departamentos podem ser expressas por uma matriz de linhas e colunas correspondentes àquelas da matriz Y :

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix}$$

Pode-se concluir que, no caso mais geral, o custo de uma alternativa de "plant-layout" é dado por

$$CT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_{ij} d_{ij} \quad \text{onde}$$

CT : custo total relativo à movimentação ou, mais simplesmente, custo total de transporte.

No caso particular em que

$$y_{ij} = y_{ji} \quad \text{e}$$

$$d_{ij} = d_{ji} \quad (\text{sempre})$$

isto é, quando não existe interesse em se fixar um sentido para o fluxo de transporte, então

$$CT_0 = \frac{CT}{2}$$

Saliente-se que, quando $i = j$ (sempre), então

$$d_{ij} = 0 \quad \text{e} \quad y_{ij} = 0$$

devido às próprias características do problema de "layout" que não estuda, ao mesmo tempo, o fluxo interno às atividades e o fluxo entre as atividades. Isto equivale a dizer que todos os elementos da diagonal principal das matrizes simétricas D e Y são nulos.

Chamando-se de K uma particular solução de "layout" entre as possíveis soluções, a expressão do custo total de transporte poderá ser escrita como

$$CT_K = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_{ij} d_{ij} (K) \quad \text{onde}$$

$d_{ij}(K)$: distância entre as atividades i e j no "plant-layout" K

A solução ótima será o "plant-layout" K de mínimo CT.

A literatura não indica nenhuma solução matemática aplicável à expressão de CT, que determine a "plant-layout" ótimo.

3.2. - A SOLUÇÃO ÓTIMA POR PROCESSOS MATEMÁTICOS COM RESTRIÇÕES

Mesmo com a introdução de restrições simplificadoras, que inclusive modificam o problema inicial de "plant-layout", não existem soluções matemáticas otimizantes.

Assim, assumindo-se que todos os departamentos x são pun-tiformes e todas as localizações são conhecidas, e fazendo

$$(I) \left\{ \begin{array}{l} x_{ik} = 1 \text{ ou } 0, \text{ conforme o centro } i \text{ esteja ou não} \\ \text{na posição } k \\ \sum_i x_{ik} = 1, \text{ isto é, todos os centros designados} \\ \text{a posições} \\ \sum_k x_{ik} = 1, \text{ isto é, todas as posições ocupadas.} \end{array} \right.$$

Então:

$v_{i_1 i_2} \geq 0$: intensidade de fluxo entre os cen-tros i_1 e i_2

$d_{k_1 k_2} \geq 0$: distância entre as posições k_1 e k_2 ,

e a expressão a ser minimizada será

$$CT = \sum_{k_2} \sum_{k_1} \sum_{i_2} \sum_{i_1} x_{i_1 k_1} x_{i_2 k_2} v_{i_1 i_2} d_{k_1 k_2}$$

sujeita às restrições (I).

Como salienta Buffa (obra citada), embora isto forneça um mecanismo de conceituação do problema, não leva a qual-quer solução. Não se conhece nenhum algoritmo que possa ser usado praticamente na solução desta programação qua-drática inteira, para o problema modificado de "plant-lay-out".

3.3. - A SOLUÇÃO ÓTIMA PELA ANÁLISE DE TODAS AS ALTERNATIVAS

Um caminho possível, à primeira vista, seria a utilização

de um computador para o cálculo do custo total de todas as alternativas e a escolha daquela de mínimo custo como solução ótima.

Todavia, mesmo com o auxílio do computador, a solução ótima não poderá ser determinada, em virtude do elevado número de alternativas possíveis para o problema do "plant-lay out".

Admitindo-se n departamentos puntiformes, candidatos a n posições, o número de alternativas possíveis de "plant-lay out" será

$$N_1 = n!$$

Considerando-se que existem soluções simétricas equivalentes, pois a posição relativa dos departamentos não se altera imaginando-se um arranjo que seja imagem especular de um outro, ou imaginando-se que todo um arranjo seja girado de 180° (assumindo-se movimentação retangular), pode-se escrever:

$$N_2 = \frac{n!}{M}, \quad \text{onde}$$

M : índice de simetria da figura considerada

$M = 4$ para retângulos

$M = 8$ para quadrados

Entretanto, a introdução do índice de simetria não simplifica apreciavelmente o problema. Assim, por exemplo, se

$n = 20$ atividades,

$$N_1 = 20! = 2\,432\,902\,008\,176\,640\,000$$

e admitindo-se

$$M = 4$$

$$N_2 = 608\,225\,502\,004\,160\,000$$

o que ainda representa um número muito grande de alternativas para serem calculadas, mesmo por computador.

Considerando-se, adicionalmente, que os departamentos não são puntiformes e sim, que ocupam determinadas áreas, o problema do "plant-layout" amplia-se ainda mais, pois, pode-se conseguir a mesma área com infinitas formas geométricas e assim, existirão infinitas distâncias entre os centros dos departamentos.

Estes aspectos tornam a análise de todas as alternativas ainda mais impraticável e a abordagem heurística mais essencial e valorizada.

Seria, logicamente, mais desejável, obter-se um algoritmo formal matemático para otimizar a função objetivo. CT diretamente. Entretanto, como a determinação de tal algoritmo não parece exequível, uma rotina para alocação de atividades que, heurística e sucessivamente, se aproxime do ótimo, torna-se um instrumento muito útil na solução dos problemas do "plant-layout".

Diversos autores têm se preocupado com a obtenção destes modelos heurísticos e diversas são as soluções propostas. No item seguinte serão analisados os modelos mais importantes quer pela sua própria estruturação, quer pela sua aplicabilidade. Outros modelos existem e não serão analisados pois, ou são apenas referidos na literatura, ou não são disponíveis para utilização.

4.- ANÁLISE DOS MODELOS COMPUTACIONAIS

Neste item é elaborada uma análise crítica e comparativa de seis modelos computacionais utilizados na solução de problemas de "plant-layout", entre os quais um deles, de autores brasileiros, é desenvolvido em três versões.

Para cada um dos modelos são apresentadas as entradas que o programa exige, o fluxo do processo, a descrição das saídas fornecidas e o seu formato. Espera-se, com isto, possibilitar uma visão geral do modelo. — A seguir é feita uma descrição detalhada do processamento e, em alguns casos, das sub-rotinas, procurando-se enfatizar os aspectos conceituais envolvidos.

Finalmente, uma comparação das características dos diversos modelos mostrando as restrições de cada um deles, é apresentada.

4.1. - CRAFT - COMPUTERIZED RELATIVE ALLOCATION FACILITIES TECHNIQUE

O modelo CRAFT foi desenvolvido por Elwood S. Buffa, Gordon C. Armour e Thomas E. Vollmann, e pode ser obtido através da IBM, Share Library ~~≠~~ SDA 3391

4.1.1. - ENTRADAS

Os dados de entradas que o programa exige são os seguintes:

- intensidades de fluxo interdepartamental, dispostos de forma matricial. Esta matriz de fluxos é referida na literatura como CARTA DE-PARRA (FIGURA 2.1)
- matriz dos custos unitários de transporte, isto é, os custos de movimentação por unidade de carga (peso, volume, etc.) por unidade de deslocamento, dispostos de forma matricial.
- necessidades de área dos departamentos que serão alocados.
- uma solução inicial do "layout", reduzida a uma apresentação modular, em escala, onde cada letra, que indica o código do departamento, representa um módulo de área. O formato deste dado de entrada é indicado na FIGURA 4.1, a seguir, para um caso em que o edifício tem, por exemplo, 150m de comprimento por 100m de largura e o módulo de área considerado é 10 x 10 m².

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	E	E	E	E	E	E	B	B	B	B	A	A	A	A	A
2	E					E	B			B	A		A	A	A
3	E					E	B			B	A	A	S	S	S
4	E					E	B			B	S	S			S
5	E	E	E	E	E	E	B			B	S				S
6	C	C	C	C	C	D	B			B	S				S
7	C					C	D	B		B	S	S	S	S	S
8	C					C	D	B	B	B	F	F	F	F	F
9	C				C	D		D	D	D	F				F
10	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	F	F	F	F	F

FIGURA 4.1 - PLANTA MODULAR

4.1.2 - CRAFT - FLUXO DO PROCESSO

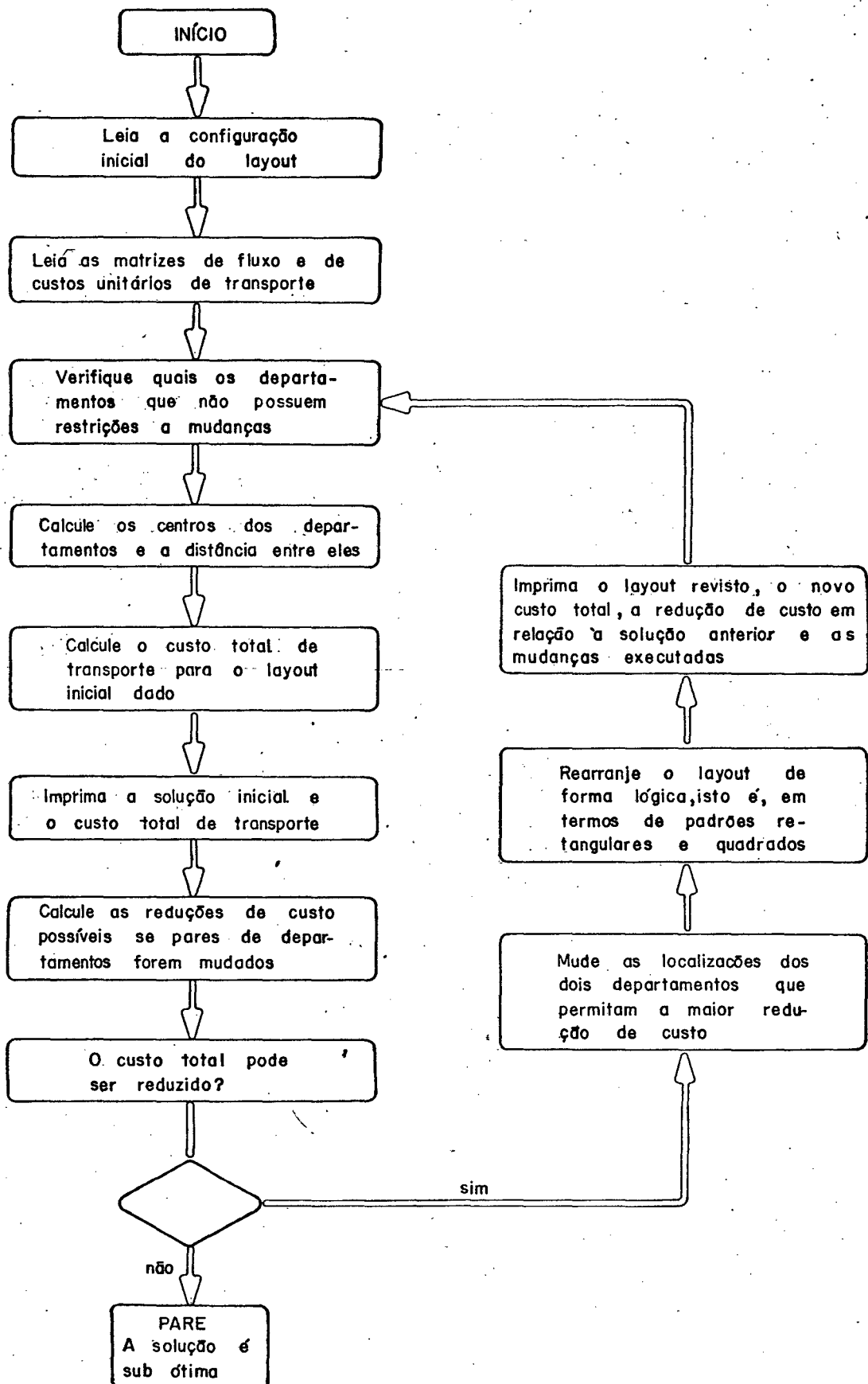


FIGURA 4.2

4.1.3. - SAÍDAS

As saídas fornecidas pelo processamento do modelo CRAFT são as seguintes:

- . a solução inicial contendo a planta modular e o custo total.
- . as soluções geradas e avaliadas, contendo:
 - número da iteração
 - planta modular
 - custo total
 - redução de custo, comparada com a solução imediatamente anterior
 - a diferença entre a solução considerada e a anterior, em termos das mudanças departamentais efetuadas.

A FIGURA 4.3, a seguir, indica o formato destas - saídas para uma situação em que o módulo de área é 10 x 10 sqft, a área do edifício 150 x 280 sqft e o problema envolve 22 departamentos codificados de A a V.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	T	T	T	T	T	T	S	S	S	R	R	Q	Q	Q	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
2	T					T	S		S	R	R	Q	Q	Q	O													O
3	T					T	S		S	R	R	P	P	P	O													O
4	T					T	S		S	P	P		P	P	O		O	O	O									O
5	T	T	T	T	T	T	S		P	P	P	P	P	P	O	O	U	U	U	O								O
6	V	V	V	V	V	N	N	N	M	L	L	L	L	K	K	K	U			U	O	O	O	O	O	O	O	O
7	V				V	N		N	L			L	K		K	U				U	E	E	I	I	I	H	G	G
8	V				V	N		N	L			L	K		K	U				U	E	E	I		I	H	G	G
9	V				V	N		N	L			L	K		K	U				U	E	E	I		I	H	G	G
10	V				V	N	N	N	N	L	L	L	K	K	K	K	U	U	U	U	E	E	I		I	H	G	G
11	V				V	B	B	B	B	B	B	D	D	D	D	D	D	D	D	D	E	E	I	I	I	F	F	F
12	V				V	B				B	D									D	E	E	J	J	F			F
13	V				V	B	B	B	B	B	B	D	D	D						D	E	E	J	J	F			F
14	V				V	A	A	A	A	A	A	C	C	C	D					D	E		E	J	F			F
15	V	V	V	V	V	A	A	A	A	A	A	C	C	D	D	D	D	D	D	D	E	E	E	J	F	F	F	F

CUSTO TOTAL 3294,98

REDUCAO DE CUSTO 0,

MOVE

MOVE

MOVE

* L A Y O U T A T U A L *

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	T	T	T	T	T	T	P	P	P	R	R	Q	Q	Q	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
2	T					T	P		P	R	R	Q	Q	Q	O	O												O
3	T					T	P		P	R	R	S	S	S	O													O
4	T					T	P		P	S	S			S	O		O	O	O	O								O
5	T	T	T	T	T	T	P	P	S	S	S	S	S	S	O	O	U	U	U	U								O
6	V	V	V	V	V	N	N	N	M	L	L	L	L	K	K	K	U			U	O	O	O	O	O	O	O	O
7	V				V	N		N	L				L	K		K	U			U	E	E	I	I	I	H	G	G
8	V				V	N		N	L				L	K		K	U			U	E	E	I		I	H	G	G
9	V				V	N			N	L		L	K			K	U			U	E	E	I		I	H	G	G
10	V				V	N	N	N	N	L	L	L	K	K	K	K	U	U	U	U	E	E	I		I	H	G	G
11	V				V	B	B	B	B	B	B	D	D	D	D	D	D	D	D	U	E	E	I	I	I	F	F	F
12	V				V	B					B	D								D	E	E	J	J	F			F
13	V				V	B	B	B	B	B	B	D	D	D						D	E	E	J	J	F			F
14	V				V	A	A	A	A	A	A	C	C	C	D					D	E		E	J	F			F
15	V	V	V	V	V	A	A	A	A	A	A	C	C	D	D	D	D	D	D	D	E	E	E	J	F	F	F	F

CUSTO TOTAL 3126,24

REDUCAO DE CUSTO 168,74

MOVE P MOVE S MOVE

* 1A I T E R A C A O D O L A Y O U T *

FIGURA 4.3

4.1.5. - DESCRIÇÃO DO PROCESSAMENTO

A idéia central na qual o programa é baseado é semelhante, sob o ponto de vista conceitual, ao método pelo qual o algoritmo da programação linear converge para uma solução ótima. Entretanto, no caso do CRAFT, as respostas geradas não são as melhores como as respostas da programação linear, mas representam soluções que não podem ser facilmente melhoradas.

Como entradas o CRAFT considera os dados de fluxo interdepartamental e os dados de custo de transporte, juntamente com a representação de uma configuração inicial arbitrária. À exceção do "layout" inicial, esses dados são análogos àqueles usados na análise de ligações, carta de transporte (carta DE-PARA) e análise da sequência de operações.

Os dados de fluxo interdepartamental são multiplicados pelos dados de custo de transporte e o resultado é uma matriz de intensidade de fluxo ponderada pelo custo. O programa calcula o centro dos departamentos e determina as distâncias entre eles - em coordenadas retangulares. É então obtida uma matriz de distâncias que é multiplicada pela matriz de fluxo ponderada pelo custo, para determinar o custo total de transporte para aquele particular "layout".

O algoritmo supervisor verifica quais os departamentos que, tomados dois a dois, podem ter suas localizações alteradas. Estas alterações são executadas e os custos de transporte são recalculados. A diferença poderá ser um acréscimo ou um decréscimo no custo e, em qualquer dos casos, ficará registrada na memória. O programa prossegue, da mesma maneira, registrando as diferenças de custo, através de todas as combinações de mudanças. Quando as diferenças de custo de todas as mudanças foram calculadas, o programa seleciona a alteração que resultaria na maior redução de custo, executa-a e imprime a nova situação de "layout", ou seja, a nova

planta modular, o novo custo total de transporte, a redução de custos conseguida e os departamentos envolvidos na mudança.

A seguir, o procedimento básico é repetido e um segundo "layout" desenvolvido, depois um terceiro e assim sucessivamente. Quando o processo indica que não mais existem alterações capazes de gerar qualquer redução no custo total de transporte, o "layout" final é impresso. Esta configuração final será a base para o desenvolvimento de um "layout" detalhado da fábrica, usando-se, por exemplo, "templates".

O programa tem capacidade para suportar até quarenta departamentos e seus dados de fluxo como entrada, aceitando a imposição de localizações departamentais pré-fixadas, pela especificação de que elas não são candidatas a mudanças, bem como a imposição de áreas previamente ocupadas, em que não poderá haver alocações.

O programa considera a possibilidade de mudanças dos departamentos tomados dois a dois, mas pode considerar as alterações de localização dos departamentos três a três. Segundo os autores, um ligeiro aumento no tempo de computador é requerido neste caso, porém, a rotina que considera as alterações três a três é algo mais eficiente que a rotina que as considera duas a duas, enquanto que o uso de ambas as rotinas, em conjunto, é ainda mais eficiente.

4.1.6. - FUNÇÕES DAS SUB-ROTINAS

Uma breve descrição da finalidade das sub-rotinas ajudará à interpretação do fluxo de processo e mostrará que o programa supervisor é, essencialmente, um dispositivo para chamá-las na ordem adequada.

INISP - - lê as áreas e as configurações iniciais de cada sub-unidade da unidade origem

Também lê o número de departamentos e desenvolve diversas verificações sobre a correção desses dados iniciais.

- VALID - testa a validade da configuração de cada departamento, relativamente aos padrões de localização iniciais e modificados.
- AJA - determina quais os departamentos que podem ou não ser movidos nas mudanças.
- INPAR - lê o volume dos fluxos entre todos os departamentos, os custos unitários de transporte por unidade de distância para este fluxo e multiplica ambas as matrizes.
- CENTER - determina o centro de cada sub - unidade ou departamento.
- CDIST - calcula a matriz de distâncias entre todos os centros encontrados pela sub-rotina CENTER.
- ANAM - avalia as vantagens de custo a serem obtidas com a mudança de localização de cada departamento com a de todos os outros departamentos candidatos a mudanças. A mesma sub-rotina comanda, então, aquela mudança que produzirá a maior vantagem. O restante do programa é, basicamente, dependente desta sub-rotina.
- COST - é usada pela sub-rotina ANAM para calcular os custos departamentais e totais das alocações alternativas.
- EXCH - altera a localização de departamentos de áreas iguais. Monta uma matriz temporária para mudanças de localização de departamentos de áreas desiguais. Chama MESSR e/ou MESSQ para efetuar as alterações dos departamentos de áreas desiguais. Compara as mudanças feitas por MESSR e MESSQ e seleciona a melhor. Chama

PICKUP para colocar os departamentos de volta na matriz permanente.

MESSR - altera a localização de departamentos de áreas diferentes. Chama PERIM e PICKUP.

MESSQ - tem a mesma finalidade que MESSR, porém, realiza as alterações diferentemente.

PICKUP - retira os departamentos que tiveram sua localização alterada da matriz temporária e os coloca na matriz permanente. Chama VALID.

PERIM - é um mecanismo para medir e limitar a dispersão espacial dos departamentos.

IALPHA - é o único FAP (Fortran Assembly Program) em todo o programa. Converte dados numéricos em alfabéticos para impressão das configurações modulares.

OUTISP - é o mecanismo para impressão dos resultados do trabalho executado pelo resto do programa.

4.2. - ALDEP - AUTOMATED LAYOUT DESIGN PROGRAM

O modelo ALDEP foi desenvolvido por Wayne O. Evans e pode ser obtido através da IBM, Contributed Program Library , 360D- 15.0.004.

4.2.1. - ENTRADAS

Os dados de entrada que o programa exige são os seguintes:

- . número de alternativas a serem calculadas.
- . um "score" ou número mínimo de avaliação, abaixo do qual os "layouts" avaliados não são considerados viáveis.
- . os códigos dos departamentos e as necessidades de área de cada um deles, apresentados através de uma tabela onde os códigos dos departamentos (numéricos) são ordenados de forma crescente.
- . o módulo de área considerado.
- . as dimensões do edifício.
- . a carta de ligações preferenciais dos departamentos, em forma matricial, onde os códigos de ligação mostram a preferência para localização dos departamentos das linhas em posições próximas àqueles das colunas (FIGURA 4.4).
- . a ligação mínima a ser considerada para o posicionamento do próximo departamento.
- . uma tabela de pré-designações onde um código "A" indica que o departamento a que se refere está pré-designado para uma determinada posição em um pavimento específico e um código "F" indica uma pré-designação para um piso específico, somente.

COD DEPTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	S											
2	A	S										
3	A		S									
4				S								
5	I			A	S							
6			E			S						
7	E	I			E		S					
8		I			I			S				
9	E			I					S			
10										S		
11	X									I	S	
12												S

FIGURA 4.4 - ALDEP- CARTA DE LIGAÇÕES PREFERENCIAIS

Relativamente à carta de ligações preferenciais, o programa prevê as ligações indicadas na TABELA 4.1, a seguir, com seus respectivos valores. Note-se que os valores ali colocados para as preferências de ligação constituem parâmetros de entrada que podem ser facilmente alterados.

LIGAÇÃO	VALOR	SIGNIFICADO
A	64	ABSOLUTAMENTE ESSENCIAL
E	16	ESSENCIAL
I	4	IMPORTANTE
O	1	OPCIONAL
U OU Ø	0	NÃO IMPORTANTE
X	-1024	INDESEJÁVEL
S	-	SEM PREFERÊNCIA, OU O PRÓPRIO DEPARTAMENTO

TABELA 4.1- ALDEP-CÓDIGO E VALOR DAS LIGAÇÕES PREFERENCIAIS

4.2.2 - ALDEP- FLUXO DO PROCESSO

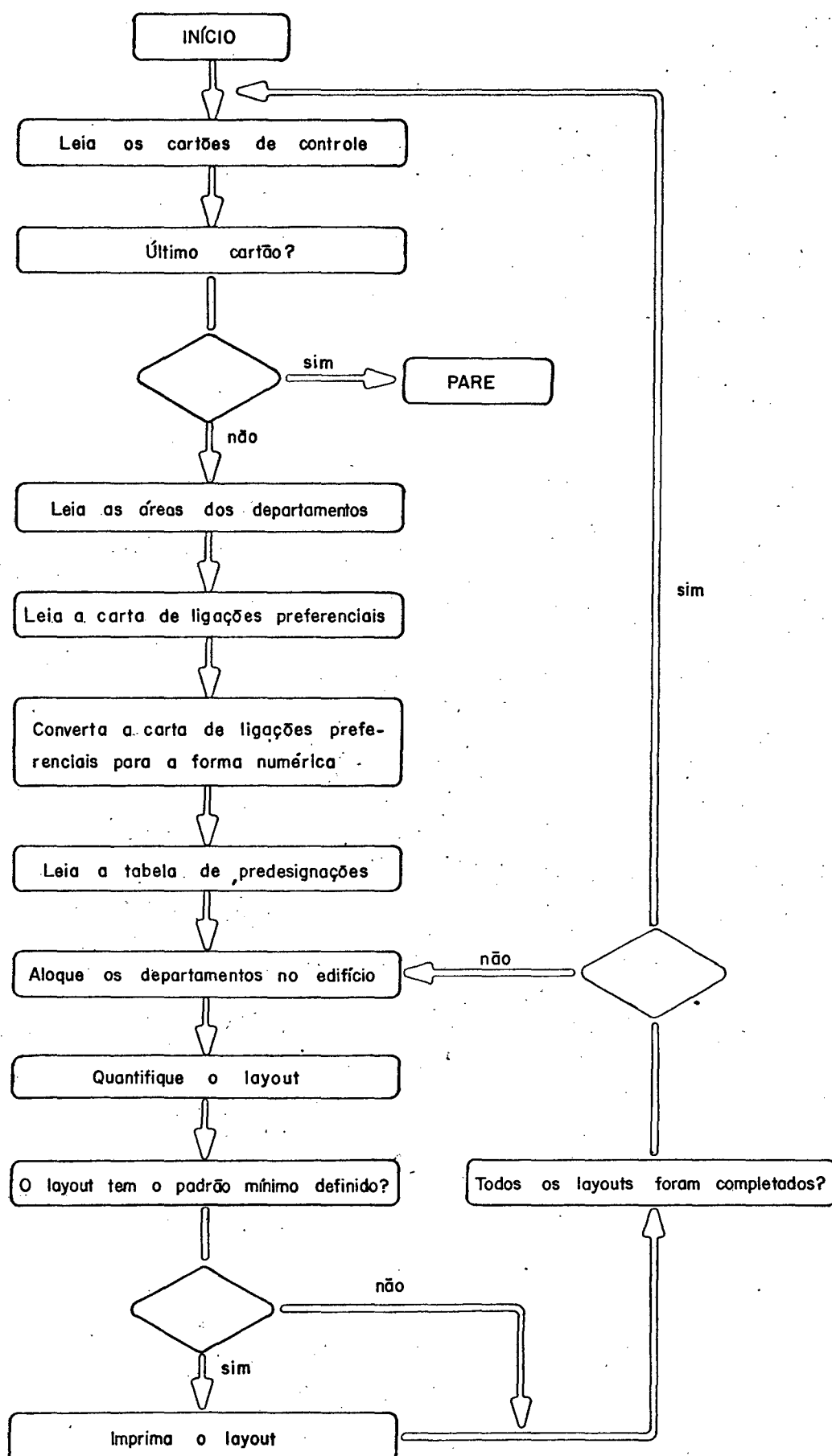


FIGURA 4.5

4.2.3. - SAIDAS

As saídas são as alternativas de "layout" cujo número de avaliação é maior que o número mínimo estabelecido (dado de entrada) e o seu respectivo número de avaliação.

O formato da saída indicado na FIGURA 4.6, a seguir, mostra uma alternativa de "layout" para onze departamentos numerados de 1 a 11 e que deverão ser alocados em dois pisos. Nela o código 99 indica os corredores. Outros códigos que aparecem são abaixo relacionados e constituem os "departamentos fantasmas" mencionados na descrição do processamento (item 4.2.5]

- 81 - galpão de carga
- 82 - elevador
- 83 - escada
- 84 - recepção

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	8	8	8	81	81	81	6	6	6	6	2	2	2	2	0	0	0
0	8	8	8	81	82	82	6	6	6	6	2	2	3	2	3	0	0
0	8	8	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	3	3	0
0	8	8	99	83	8	8	6	6	6	6	2	2	3	99	3	3	0
0	8	8	99	83	8	8	6	6	6	6	2	2	3	99	3	3	0
0	8	8	99	8	6	6	6	6	6	6	2	2	3	99	3	3	0
0	8	8	99	8	6	6	6	6	6	6	2	2	83	83	99	3	3
0	8	8	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	3	3	0
0	8	8	8	8	6	6	6	84	84	1	1	1	3	3	3	3	0
0	8	8	8	8	6	6	6	84	84	1	1	1	3	3	3	3	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* PAVIMENTO INFERIOR *

DE ACORDO COM AS REGRAS DE AVALIACAO, ESTE LAYOUT
SATISFAZ A TODAS AS RELACOES NECESSARIAS

FIGURA 4.6

2A ALTERNATIVA DE LAYOUT * AVALIAÇÃO 416

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	11	11	4	4	4	4	5	5	5	5	10	10	10	10	10	10	0
0	11	11	4	4	82	82	5	5	7	5	10	10	10	10	10	10	0
0	11	11	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	10	10	0
0	11	11	99	83	83	4	5	5	7	7	10	10	10	99	10	10	0
0	11	11	99	4	4	4	5	5	7	7	10	10	10	99	10	9	0
0	11	11	99	4	4	4	5	5	7	7	9	9	9	99	9	9	0
0	11	11	99	4	4	4	5	5	7	7	9	83	83	99	9	9	0
0	11	11	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	9	9	0
0	11	11	4	4	4	4	5	5	7	7	9	7	9	9	9	9	0
0	11	11	11	11	4	4	4	4	7	7	7	7	9	9	9	9	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* PAVIMENTO SUPERIOR *

4.2.5. - DESCRIÇÃO DO PROCESSAMENTO

O programa principal lê os cartões de controle que especificam o edifício e os demais parâmetros. A seguir, as necessidades de área para cada departamento são lidas e transformadas em números que as representam em função do módulo de área estabelecido.

O programa lê, então, as preferências de ligações entre os departamentos e, através de uma sub-rotina (DECODE) a carta de ligações preferenciais é colocada em bases numéricas. A sub-rotina ASSIGN lê e processa todos os departamentos pré-designados.

Ao fim deste processamento preliminar, o número especificado de alternativas de "layout" é gerado. A sub-rotina LAYOUT projeta os "layouts" e a sub-rotina EVALU os quantifica a partir da tabela de preferências. Se um "layout" qualquer possui a avaliação mínima estabelecida é aceito.

O programa projeta o "layout" para edifícios de até três pavimentos, executando um processo de duas etapas para cada pavimento:

- as áreas dos departamentos disponíveis são designadas a um determinado pavimento. Um departamento disponível é qualquer departamento não pré-designado ou ainda não processado.

- aos departamentos designados para cada pavimento são dadas localizações específicas no respectivo pavimento.

Inicialmente um departamento disponível é escolhido ao acaso. A seguir o programa verifica se existe - algum outro departamento com ligações A, E, I ... , nessa ordem, até o nível de ligação mínima considerado, que é parâmetro variável de entrada. Em caso afirmativo, o departamento é posicionado junto ao primeiro. Em caso negativo, o próximo departamento a ser posicionado também é selecionado aleatoriamente. Este procedimento é repetido até que todos os departamentos tenham sido processados.

Quando todos os departamentos foram posicionados no edifício o "layout" resultante é avaliado numericamente a partir das preferências de ligação. Sendo o número de avaliação da alternativa maior que o número de avaliação mínima, esta é uma das respostas do problema.

Após ser projetada e avaliada a quantidade de alternativas estabelecida como dado de entrada, o processamento é encerrado. Pela seleção das alternativas com maiores números de avaliação são obtidos os melhores "layouts" que poderão, adicionalmente, ser analisados pelo especialista.

O edifício não deverá estar completamente ocupado pelos departamentos. Um "buffer" de cinco ou seis áreas não ocupadas, em cada pavimento, é desejável. Este "buffer" confere ao programa maior flexibilidade e reduz o tempo de processamento para cada "layout".

Se o número de alternativas a serem calculadas for igual a 1, o edifício não terá um "layout", mas será apenas quantificado. Este artifício foi incluído para possibilitar a quantificação de um projeto que já tenha sido completado. O programa assume que o edifício tenha sido totalmente pré-designado.

Melhores "layouts" podem ser conseguidos usando-se o programa em estágios. O especialista analisa o primeiro "layout" e com as informações obtidas destina atividades particulares a pisos específicos. Com estas pré-designações adicionais, o computador projetará novos "layouts" aleatórios.

Uma rotina especial foi incluída para quantificar departamentos ao lado de corredores. Posições adjacentes são escolhidas para simplificar a programação. Isto, segundo o autor, não representa uma considerável limitação, desde que os departamentos funcionalmente dependentes tendem a ser agrupados, dados os valores combinados de preferência inter-relacional.

O programa pode analisar até 63 departamentos em edifícios de até 3 níveis. Os departamentos poderão ser candidatos a posicionamento em qualquer nível, ou especificamente destinados a um dos níveis. O programa aceita a imposição de áreas previamente ocupadas que não poderão ser preenchidas por departamentos, bem como a imposição de departamentos fixos em determinadas posições.

4.2.6. - FUNÇÕES DAS SUB-ROTINAS

As finalidades das sub-rotinas incluídas no programa são as seguintes:

- DECODE - Converte a carta de ligações preferenciais da forma de entrada para a forma numérica. Esta sub-rotina pode ser facilmente alterada para variar a importância relativa dos códigos da preferência de ligações.
- ASSIGN - Lê e processa os dois tipos de pré-designação dos departamentos, ou seja: pré-designação de um pavimento e pré-designação de uma área em um pavimento.
- LAYOUT - Designa departamentos não previamente designados para um pavimento, e a seguir elabora o "layout" de cada pavimento.
- EVALU - Quantifica o layout por adições sucessivas e a seguir "zera" os valores de preferência para cada bloco do edifício.
- CHARF - Converte dados numéricos inteiros (I FORMAT) para caracteres alfa numéricos (A FORMAT).

4.3. - RMA-COMP I - RICHARD MUTHER AND ASSOCIATES COMPUTER PROGRAM NUMBER I

O modelo RMA-Comp I foi desenvolvido pelo "staff" da Richard Muther and Associates, Inc. - Kansas City-Missouri, e é propriedade dessa empresa.

4.3.1. - ENTRADAS

Os dados de entrada que o programa exige são os seguintes:

- . área de cada departamento.
- . módulo de área considerado.
- . carta de ligações preferenciais, na forma matricial (FIGURA 2.2), onde, além das relações departamentais codificadas, são indicadas, também através de um código, as razões das ligações. A TABELA 4.2 e TABELA 4.3, a seguir, mostram, respectivamente os códigos de motivo e ligações que o programa considera.

COD	MOTIVO
1	FLUXO DE MATERIAL
2	FLUXO DE SERVIÇO
3	FLUXO DE PAPEIS
4	DESIGNAÇÃO DE PESSOAL
5	SUPERVISÃO
6	CONTATOS PESSOAIS
7	RUIDO
8	

TABELA 4.2- CÓDIGOS DE MOTIVO

LIGAÇÃO	SIGNIFICADO
A	ABSOLUTAMENTE NECESSÁRIO
E	ESPECIALMENTE IMPORTANTE
I	IMPORTANTE
O	OPCIONAL
U	NÃO IMPORTANTE
X	INDESEJÁVEL

TABELA 4.3- CÓDIGOS DE LIGAÇÃO

- . código numérico que descreve o tipo de atividade. Este código, ao ser combinado com os números que identificam os departamentos, facilitam a interpretação da saída. Um exemplo dessa codificação numérica do tipo de atividade é indicado na TABELA 4.4, a seguir

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
01	MOLDAGEM, USINAGEM
02	MONTAGEM, SUB-MONTAGEM E DESMONTAGEM
03	ÁREAS RELATIVAS A TRANSPORTE
04	ARMAZENAGEM
07	ÁREAS DE SERVIÇO E SUPORTE
08	ESCRITÓRIOS

TABELA 4.4- CÓDIGOS DE ATIVIDADE

NOTA - Por simplicidade, foi adotado no fluxo do processo (item 4.3.2) a simbologia proposta por Muther(62), cujo significado é indicado na TABELA 4.5, a seguir.

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
TCR	TOTAL CLOSENESS RATING ÍNDICE DE PROXIMIDADE TOTAL
CFH	CURRENT FAMILY HEAD CABEÇA DA FAMÍLIA ATUAL
FSFH	FUTURE SEQUENTIAL FAMILY HEAD CABEÇA DA FAMÍLIA SEQUENCIAL FUTURA
NCFH	NEW CURRENT FAMILY HEAD NOVO CABEÇA DA FAMÍLIA ATUAL
RY	Y RELATIONSHIP (Y= A,E,I,O,U,X) LIGAÇÃO Y

TABELA 4.5- SIMBOLOGIA DO RMA -Comp I

4.3.2 - RMA - Comp I - FLUXO DO PROCESSO

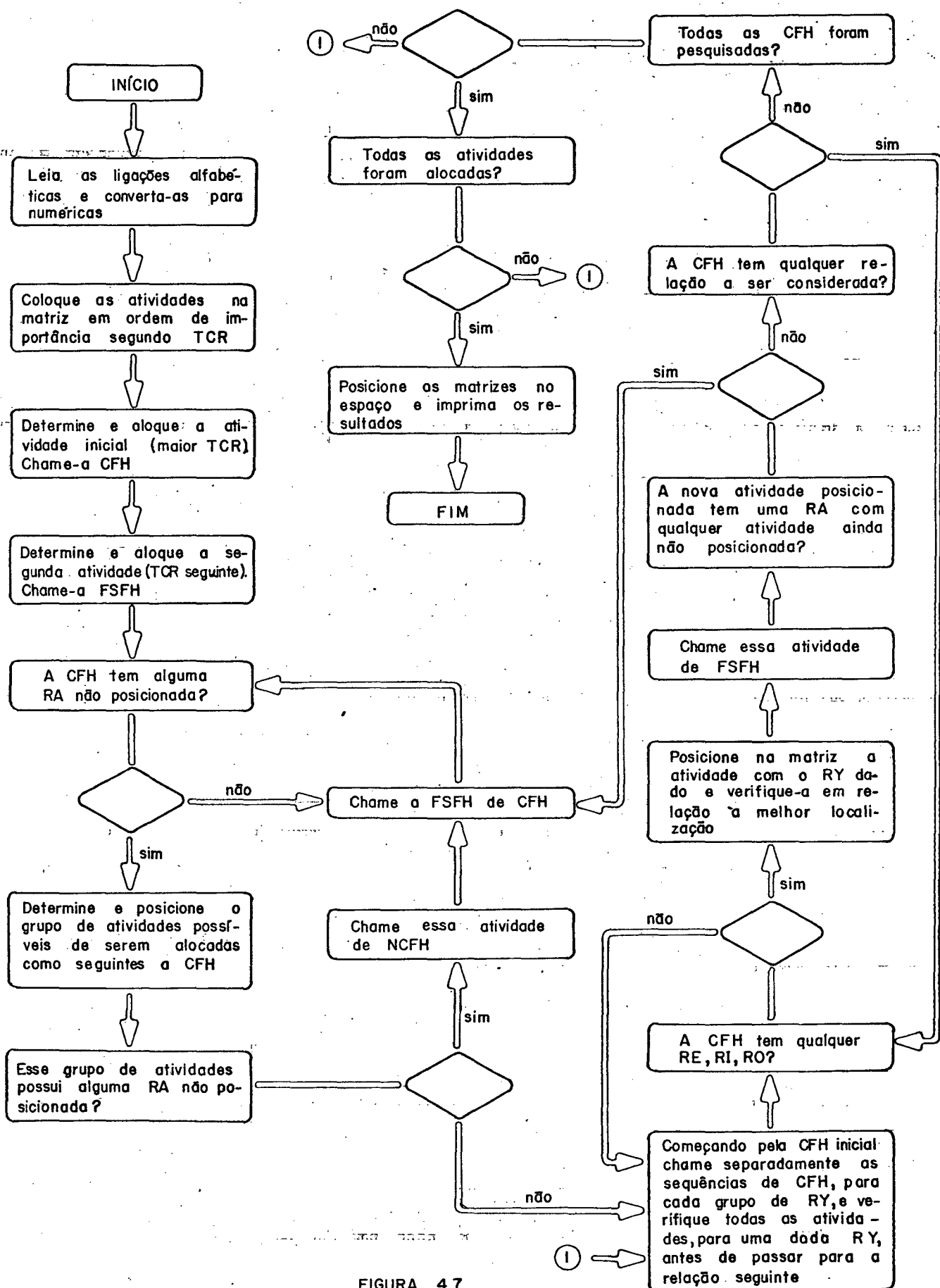


FIGURA 4.7

4.3.3. - SALDAS

A única saída do programa é um diagrama de relações das atividades, ou seja, áreas alocadas através do adequado ajustamento de todas as relações de proximidade desejáveis. Esse diagrama, denominado "space relationship diagram" não mostra os departamentos adjacentes uns aos outros e deve ser manualmente ajustado, levando-se em conta considerações de modificações e limitações práticas.

Cada atividade é considerada de forma retangular, e a saída é impressa em escala aproximada. As necessidades exatas de área são indicadas através da repetição da quantidade que a representa. Assim, para uma atividade que requeira 900 sqft o nº 900 é repetido diversas vezes, formando o "bloco de área" no centro do qual é indicado o código do departamento e o do tipo de atividade.

O formato da saída FIGURA 4.8, a seguir, mostra o "space relationship diagram" para treze departamentos numerados de 1 a 13, cujos tipos de atividade (dois últimos dígitos) são os indicados no item 4.3.1. - ENTRADAS.

1100	1100	1100	1100	1100	250	250	250	200	200	200
1100	1100	1100	1100	1100	250	807	250	200	907	200
1100	1100	201	1100	1100	250	250	250	200	200	200
1100	1100	1100	1100	1100						
1100	1100	1100	1100	1100						

2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	1700	1700	1700	1700	1700	1700
2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	1700	1700	1700	1700	1700	1700
2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	1700	1700	1700	1700	1700	1700
2300	2300	2300	402	2300	2300	2300	1700	1700	1008	1700	1700	1700
2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	1700	1700	1700	1700	1700	1700
2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	1700	1700	1700	1700	1700	1700
2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300						

850	850	850	850	850			
850	850	850	850	850	300	300	300
850	850	1307	850	850	300	1107	300
850	850	850	850	850	300	300	300

RELATIONSHIP DIAGRAM *

FIGURA 4.8

4.3.4 - RMA - Comp I - FORMATO DAS SAÍDAS

1200	1200	1200	1200	1200		900	900	900	900	900
1200	1200	1200	1200	1200		900	900	900	900	900
1200	1200	704	1200	1200		900	900	101	900	900
1200	1200	1200	1200	1200		900	900	900	900	900
1200	1200	1200	1200	1200		900	900	900	900	900
1200	1200	1200	1200	1200						

1500	1500	1500	1500	1500	1500					
1500	1500	1500	1500	1500	1500	300	300	300		
1500	1500	1500	603	1500	1500	300	302	300		
1500	1500	1500	1500	1500	1500	300	300	300		
1500	1500	1500	1500	1500	1500					
1500	1500	1500	1500	1500	1500					

	200	200	200		400	400	400	400		
	200	1207	200		400	400	502	400		
	200	200	200		400	400	400	400		

* S P A C E

4.3.5. - DESCRIÇÃO DO PROCESSAMENTO

O elemento mais importante no RMA-Comp I é o índice de proximidade total, TCR ("total closeness rating"), definido como a soma, para cada departamento, de suas relações de proximidade com os demais departamentos.

O programa inicialmente calcula os índices de proximidade total (TCR) para cada departamento e os ordena de maneira decrescente. Seleciona, então, o departamento com maior TCR alocando-o no centro da matriz de "layout", sem se preocupar, neste estágio, com a grandeza da área requerida para este departamento.

Cada departamento subsequente é alocado de forma que todas as ligações sejam consideradas, antes da alocação. Em outras palavras, antes que um departamento seja posicionado, suas ligações com departamentos ainda não alocados, bem como com departamentos já alocados, são verificadas.

Quando um departamento é posicionado, são previstos espaços vazios para outros departamentos, com ele relacionados, e que serão posteriormente alocados. Ao mesmo tempo é feita uma verificação com o objetivo de assegurar que as ligações "X", isto é, não desejáveis, sejam satisfeitas. Desta maneira, departamentos com ligações "A" são selecionados e alocados, seguidos daqueles com ligações "E", "I" e "O". Um diagrama de relações ou ligações é então formado, ainda sem considerar as necessidades de área.

Este diagrama é, a seguir, explodido e as necessidades de área, bem como os tipos de atividade são designados para cada departamento, constituindo um segundo diagrama, que é a saída do programa, com a forma de um diagrama de relações de área ou "space relationship diagram" como o chamam seus autores.

4.4 - CORELAP - COMPUTERIZED RELATIONSHIP LAYOUT PLANNING

O modelo CORELAP foi desenvolvido por James M. Moore e Robert C. Lee e é propriedade da Engineering Management Associates - Consultants to Industry - Boston - Massachusetts.

4.4.1. - ENTRADAS

Os dados de entrada que o programa exige são os seguintes:

- . número de departamentos a serem posicionados
- . módulo de área considerado
- . necessidades de área de cada departamento
- . a máxima relação comprimento/largura para o edifício, considerada razoável para o particular projeto
- . a carta de ligações preferenciais, de forma matricial, idêntica à que é utilizada por Muther no RMA Comp I (item 4.3.1.)

NOTA - O desenvolvimento do CORELAP baseia-se numa terminologia própria e não muito comum na literatura de "plant-layout". Para facilitar a descrição e o entendimento do processo, definem-se os seguintes termos:

CANDIDATO - qualquer departamento elegível para alocação ou re-arranjo no "layout".

VENCEDOR - um candidato que tenha sido vitorioso sobre outros candidatos e, portanto, que tenha adquirido o privilégio de ser o departamento seguinte a ser posicionado no "layout".

CAMPEÃO - um vencedor que tenha sido anteriormente alocado no "layout"

INDICE DE PROXIMIDADE TOTAL (TCR) - analogamente ao que considera o RMA Comp I, é a soma, para cada departamento, de suas relações de proximidade com os demais departamentos.

4.4.2 - CORELAP-FLUXO DO PROCESSO

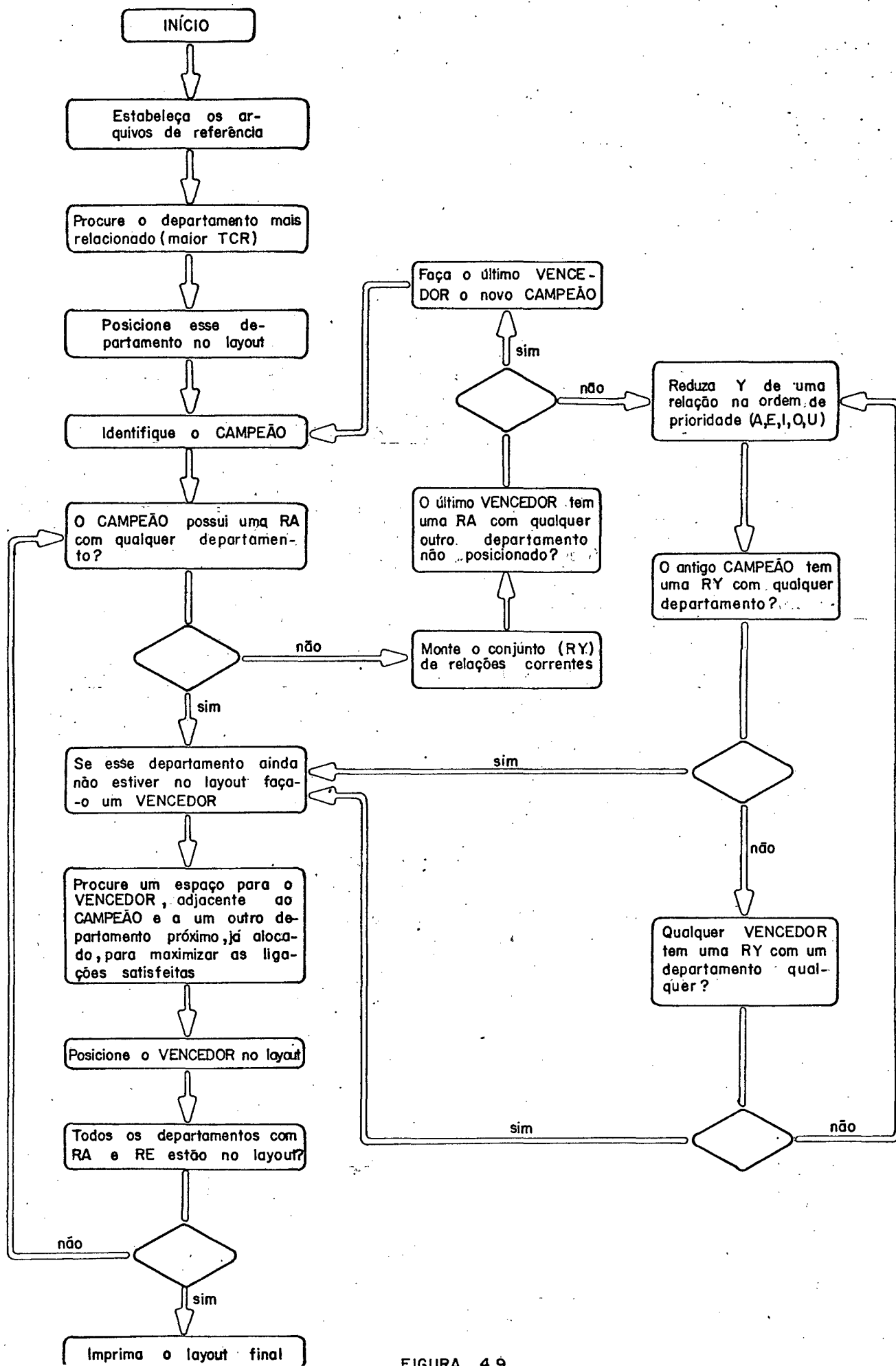


FIGURA 4.9

4.4.3. - SAÍDAS

A saída final é uma proposta de "layout" que indica a localização relativa dos departamentos.

"Layouts" intermediários também podem ser obtidos.

Como cada departamento é adicionado ao "layout" pela lógica do algoritmo supervisor, um "layout" intermediário poderá ser impresso antes da saída final, permitindo a intervenção do analista nos casos em que forem necessários ajustes relativos a fatores não incluídos no programa.

A FIGURA 4.10, a seguir, indica o "layout" final obtido pela aplicação do programa a um problema envolvendo vinte e sete departamentos, numerados de 11 a 37. O módulo de área considerado no exemplo, é de 10 x 10 sqft e a máxima relação comprimento/largura do edifício é igual a 4.

4.4.4 - CORELAP- FORMATO DAS SAÍDAS

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	25	25	25	26	0	0	0	0	0	0
0	0	0	25	25	25	26	26	26	26	26	26	0
0	0	0	25	25	19	19	19	26	26	14	14	14
0	0	0	25	25	19	19	27	27	26	26	14	14
0	0	21	21	0	32	32	33	27	27	24	24	14
0	0	21	21	0	32	32	33	27	27	24	24	24
0	37	37	29	29	29	29	34	34	34	34	34	30
0	37	37	29	29	29	29	34	34	34	34	34	30
0	37	37	37	29	29	29	34	34	34	34	36	36
0	37	37	37	37	31	31	34	34	34	34	36	36
0	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	36	36
0	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	36	36
0	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	36	36
0	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	11	11
0	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	11	11
0	37	37	37	37	37	37	37	37	37	11	0	35
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

PLANT-LAYOUT

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	14	14	14	14	14	14	0	0	0	0
4	14	14	14	14	14	14	0	0	0	0
4	14	14	14	14	14	14	0	0	0	0
4	14	14	14	14	14	14	0	0	0	0
0	14	14	14	14	14	14	0	0	0	0
0	14	14	14	14	14	14	0	0	0	0
0	14	14	14	14	14	14	0	0	0	0
3	13	13	14	14	14	14	0	0	0	0
3	13	12	14	14	14	14	0	0	0	0
3	13	14	14	14	14	14	0	0	0	0
3	35	35	14	14	14	14	0	0	0	0
3	35	14	14	14	14	14	23	22	22	0
3	35	14	14	18	23	23	23	22	22	0
3	35	15	15	18	17	17	22	22	0	0
3	35	35	15	18	18	17	22	22	0	0
3	28	15	15	15	16	17	17	22	22	0
3	0	0	0	16	16	16	20	0	0	0
0	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NAL

4.4.5. - DESCRIÇÃO DO PROCESSAMENTO

Através da utilização de uma lógica heurística o programa monta um "layout" final da fábrica, executando o processamento em duas etapas. Na primeira fase são executados os cálculos que permitem, a partir dos dados de entrada, estabelecer os arquivos de referência. Estes arquivos conterão as seguintes informações:

- . área total da fábrica.
- . as dimensões do módulo de área.
- . as quantidades de módulos por departamento
- . o índice de proximidade total para cada departamento
- . a lista dos índices de proximidade total ordenados de forma decrescente
- . uma matriz de ligações preferenciais, reordenada, estabelecendo uma hierarquia auxiliar na seleção do departamento seguinte a entrar no "layout". Esta informação é particularmente interessante quando dois CANDIDATOS têm a mesma prioridade para se tornarem o próximo VENCEDOR.

A seguir, o algoritmo supervisor dirige o processamento da segunda fase, onde duas questões básicas são sistematicamente respondidas dentro das partes principais do programa:

- . qual o departamento que tem o privilégio de ser colocado a seguir no "layout"? e
- . quais as características do VENCEDOR que entrou no "layout"?

O departamento com o maior índice de proximidade total (TCR) é selecionado, colocado no centro da matriz do "layout", e denominado CAMPEÃO. Inicia-se então uma pesquisa da matriz de ligações preferen-

ciais para verificar se existem quaisquer departamentos não alocados com uma ligação "A" com o CAMPEÃO. Existindo um departamento nestas condições é chamado VENCEDOR e colocado no "layout", junto ao CAMPEÃO e próximo a um outro departamento, já alocado, com o qual tenha um índice de proximidade relativamente alto.

A seguir o programa pesquisa um novo VENCEDOR. Se uma análise das ligações do CAMPEÃO existente levar a uma ligação "A", então a rotina anterior, é repetida. Caso contrário, o programa verifica, na ordem cronológica, se existe um VENCEDOR possuindo relação "A" com qualquer outro departamento. Em caso positivo o VENCEDOR existente passa a ser o novo CAMPEÃO e o departamento com o qual está relacionado torna-se o novo VENCEDOR, sendo então alocado no "layout".

Se, nem o CAMPEÃO, nem qualquer VENCEDOR possuir uma relação "A" com outro departamento, o CAMPEÃO imediatamente anterior é analisado para a ligação-seguinte mais importante, ou seja "E". Se não houver tal departamento, cada um dos VENCEDORES é analisado para uma ligação "E", e, a seguir, indexado para as ligações seguintes, "I", "O", "U", até que seja encontrada uma ligação válida. Nesta altura, o VENCEDOR envolvido é feito o novo CAMPEÃO e o departamento com o qual está relacionado será o VENCEDOR seguinte e, portanto, será alocado no "layout".

Um aspecto interessante, conforme mencionam os autores, é que, independentemente de quão baixa seja a ligação entre o novo CAMPEÃO e o novo VENCEDOR, o programa retorna sempre ao mesmo ponto, analisando novamente ligações "A". Isto resulta no crescimento de diversas células cujo centro é ocupado por um CAMPEÃO, tendo ao seu redor os seus VENCEDORES. Como diversos CAMPEÕES podem ter em comum um único VENCEDOR, estabelece-se um vínculo lógico entre as células crescentes, na medida em que se desenvolve o "layout".

Da maneira como foi elaborado, o programa tem capacidade para aceitar até quarenta e cinco departamentos.

4.4.6. - FUNÇÕES DAS SUB-ROTINAS

A sub-rotina mais importante é a "General Sweep Routine" (GSR), que verifica como um VENCEDOR será alocado no "layout". Ela inicia a pesquisa com a hipótese de que o contorno do departamento - deveria ser tão próximo de um quadrado quanto possível. A GSR examina a matriz do "layout" pesquisando as áreas, nestas condições, disponíveis e adjacentes ao CAMPEÃO. Existindo este espaço disponível o VENCEDOR é nele alocado. Caso contrário a sub-rotina procura uma área disponível, de contorno quadrado, mais distante do CAMPEÃO e repete o processo.

4.5. - PLOPCO - PLANT-LAYOUT ÓTIMO POR PROCESSO COMPUTACIONAL

O modelo PLOPCO foi desenvolvido por José Luiz Olivério e Reginaldo Viana Baião. Informações podem ser solicitadas à Faculdade de Engenharia Industrial - Departamento de Produção - São Bernardo do Campo - São Paulo.

4.5.1. - AS TRÊS VERSÕES DO MODELO

O modelo é apresentado em três versões que procuram obter soluções para três tipos diferentes de problemas de "layout".

VERSÃO PLOPCOL - destinada à constituição de uma linha.

VERSÃO PLOPCOD - destinada à localização relativa de departamentos.

VERSÃO PLOPCOF - destinada à designação de atividades a posições pré-fixadas.

O fluxo geral do processo, indicado na FIGURA - 4.11, a seguir, necessita de pequenas alterações - conforme sua aplicação se faça a cada um dos problemas anteriormente mencionados. Estas modificações serão comentadas quando da descrição das particularidades do processamento de cada uma das versões.

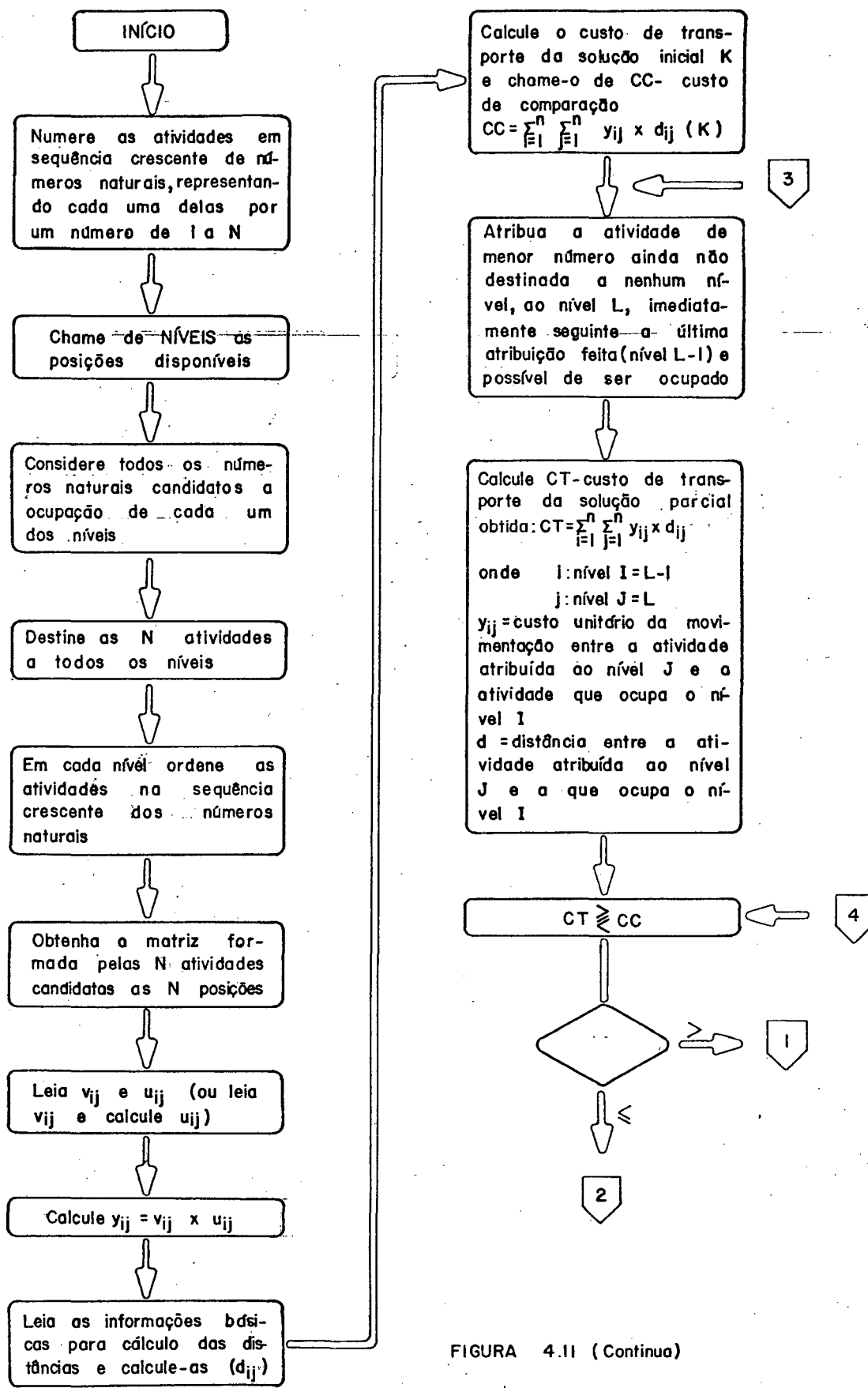


FIGURA 4.11 (Continua)

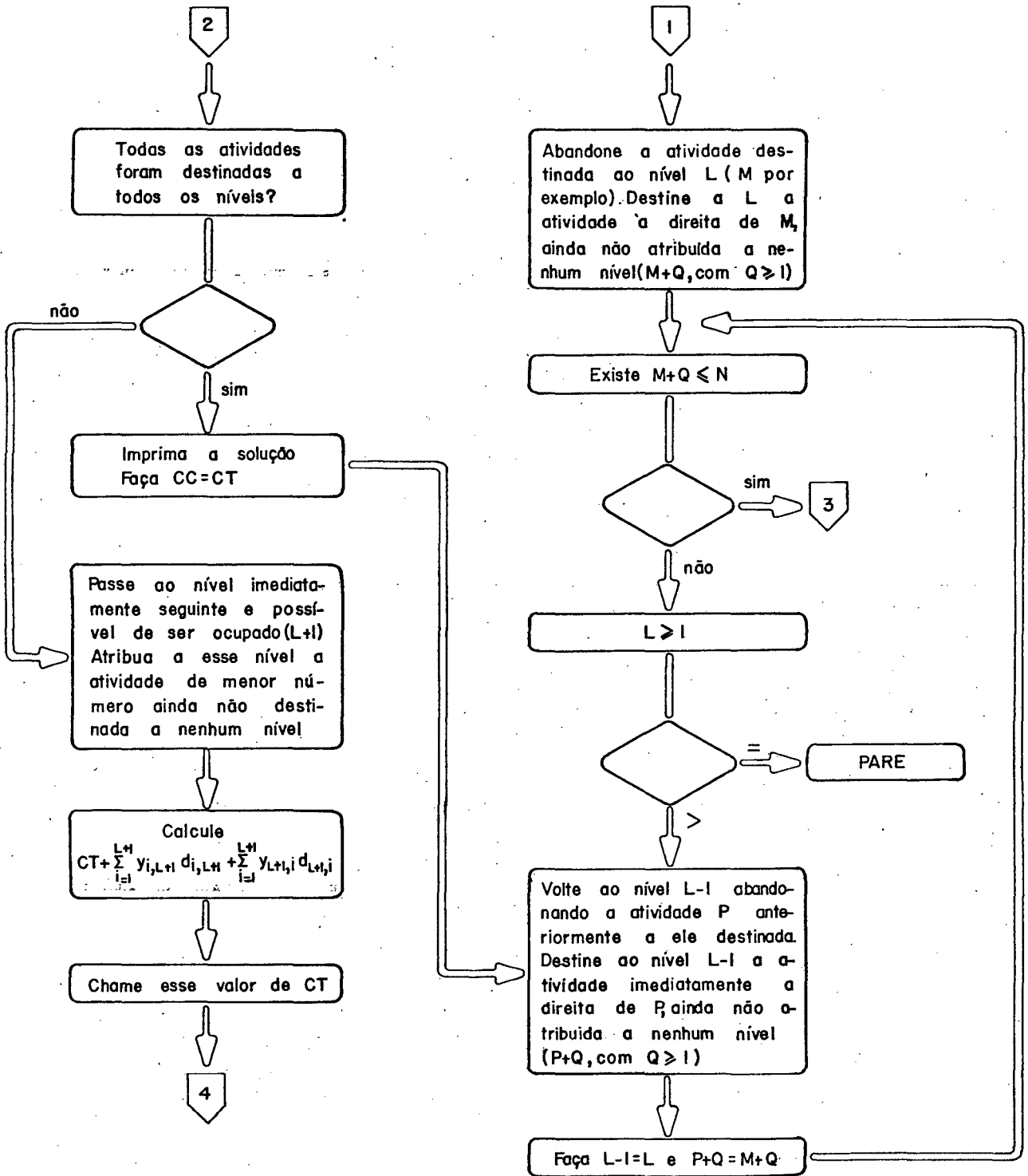


FIGURA 4.11 (Continuação)

4.5.3. - DESCRIÇÃO GERAL DO PROCESSAMENTO

Partindo de uma solução inicial que pode ser calculada pelo próprio programa (versão PLOPCOL) ou fornecida pelo analista (nas outras duas versões) o modelo calcula seu custo total de transporte que é chamado custo de comparação.

A seguir o programa analisa todas as alternativas viáveis, ou seja, aquelas cujos custos de transporte são menores que o custo de comparação. Essa análise é feita pela designação das atividades, uma a uma, às posições disponíveis. A cada nova atividade incorporada à solução que está sendo formada, o programa calcula o novo custo de transporte parcial e o compara com o custo de comparação.

Se o custo de transporte parcial é maior do que o custo de comparação, o método abandona todas as soluções completas que seriam geradas daquela solução parcial, pois elas possuiriam um custo total de transporte maior que o custo de comparação.

Se, por outro lado, o custo parcial de transporte é menor que o custo de comparação, o método acrescenta outra atividade à solução que está sendo formada e calcula o novo custo parcial de transporte.

Este novo custo parcial de transporte é comparado com o custo de comparação, repetindo-se o processo.

Quando uma solução completa for obtida, isto é, quando todas as atividades tiverem sido designadas e sendo o seu custo total de transporte menor que o custo de comparação, este é substituído pelo custo total de transporte da nova solução que passa a ser o novo custo de comparação.

As soluções que se formarem, a partir deste estágio, terão o seu custo de transporte parcial e total comparado com o novo custo de comparação, repetindo-se as etapas anteriormente indicadas.

O PLOPCO considera os seguintes dados iniciais:

- n : número de atividades a serem posicionadas (equipamentos, estações de trabalho, departamentos, etc.)
- v_{ij} : intensidade do fluxo de transporte entre as atividades a serem posicionadas
- u_{ij} : custo da movimentação unitária entre as atividades a serem posicionadas
- d_{ij} : distâncias entre as atividades a serem posicionadas
- $y_{ij} = u_{ij} \times v_{ij}$: custo da unidade deslocada entre as atividades a serem posicionadas ou, simplifcadamente, custo unitário
- k : uma solução inicial, particular, do "lay out"

4.5.4. - VERSÃO PLOPCOL

a.- ENTRADAS

São dados de entrada para esta versão do PLOPCO:

- . a sequência de processamento das peças
- . as informações que possibilitam a obtenção do fluxo por peça
- . o comprimento de cada estação de trabalho
- . o número das estações de trabalho que participam da elaboração da peça.

. o castigo pelo retrocesso*

b.- PARTICULARIDADES DO PROCESSAMENTO

A partir dos dados de entrada o programa de - termina uma solução inicial cuja pesquisa é realizada através de uma adaptação feita pelos autores, ao método de Noy, a fim de pre - ver um número de estações de trabalho desi - gual na fabricação das diversas peças, bem co - mo o retrocesso ao mesmo equipamento na fabri - cação de uma determinada peça. Estas conside - rações não são originalmente previstas no mé - todo de Noy.

Tendo em vista que a convergência do método é tanto mais rápida quanto melhor for a solução inicial, o programa compara alternativas de "layout" para diferenças de posição média não maiores que 0,5, trocando de posição as esta - ções de trabalho duas a duas, calculando seu custo total de transporte, e definindo como solução inicial aquela de menor custo.

Se existirem mais de 10 estações de trabalho com diferenças não maiores que 0,5, este va - lor será substituído por 0,4 - 0,3 - 0,2 - 0,1 com o objetivo de diminuir o número de alter - nativas pela troca de posições de, no máximo, 10 estações de trabalho.

Para acelerar a convergência do processo, as posições dos níveis são trocadas, passando da sequência crescente dos números naturais para

* admite-se que a movimentação no sentido ge - ral do fluxo da linha custa menos do que aque - la no sentido contrário a esse fluxo. Estabe - lece-se, então, uma penalidade ou castigo pelo retrocesso que indica quantas vezes mais cara é uma movimentação no sentido contrário ao fluxo do que no seu sentido.

uma sequência do tipo 1, N, 2, N-1, 3, N-2... Assim na passagem do nível 1 ao nível N, primeira etapa do processo, pondera-se v_{1N} pela maior distância existente (d_{1N})

A etapa seguinte define a estação de trabalho do nível 2. Pondera-se então v_{2N} pela maior distância existente (d_{2N}), à exceção de d_{1N}

As estações de trabalho 1 e N são fictícias e chamadas de estações de entrada e saída respectivamente. Este artifício permite considerar os fluxos de entrada e saída.

O cálculo do custo tem sua sequência alterada, em correspondência com a modificação introduzida no processo iterativo.

A determinação das distâncias é feita introduzindo-se o comprimento total da linha (constante), posicionando-se as estações de trabalho nos níveis e calculando-se as distâncias.

O programa não prevê a pré-designação de estações de trabalho a determinadas posições, tendo em vista que esta restrição dificilmente é verificada, na prática, no estudo de linhas. Entretanto, a introdução de uma instrução específica no programa poderia ser facilmente efetuada, conforme mencionam os autores.

c.- SAIDAS

Além dos dados iniciais, isto é, o fluxo das peças processadas na linha, o comprimento das estações de trabalho no sentido do fluxo, o castigo pelo retrocesso e o custo da movimentação unitária, o programa imprime:

- a tabela de vontades

- a posição média dos equipamentos na linha.

a solução inicial com seu custo total de

transporte

- . a Carta DE-PARA
- . as soluções de custo total menor que o custo da solução inicial
- . os custos dessas soluções

O formato das saídas, FIGURA 4.12, a seguir, mostra esses elementos para um caso de quatorze estações de trabalho nas quais são processadas quinze peças diferentes, numeradas de 1 a 15. Todos os demais dados iniciais também são indicados.

BIBLIOTECA KARL A. BOEDECKER

BIBLIOTECA KARL A. BOEDECKER

D A D O S D E E N T R A D A

NUMERO DE PECAS = 15

NUMERO DE EQUIPAMENTOS = 14

CASTIGO PELO RETROCESSO = 2.

OD. PECAS	SEQUENCIA DE PROCESSAMENTO (EST. DE TRABALHO)														
1	1 0	2 0	3 0	4 0	5 0	6 0	7 0	8 0	9 0	10 0	11 0	12 0	14 0	0 0	0 0
2	1 0	3 0	2 0	3 5	7 0	10 0	11 0	12 0	13 0	14 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
3	1 0	2 0	4 0	5 0	4 3	5 7	10 0	11 0	12 0	14 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
4	1 0	3 0	4 0	6 0	8 0	10 0	9 0	12 0	11 0	14 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
5	1 0	2 0	5 0	9 0	8 0	7 0	10 0	11 0	12 0	13 0	14 0	0 0	0 0	0 0	0 0
6	1 0	3 0	2 0	3 5	2 10	9 0	8 0	11 0	13 0	12 0	14 0	0 0	0 0	0 0	0 0
7	1 0	4 0	2 0	3 0	4 5	4 6	8 0	9 0	10 0	14 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
8	1 0	2 0	4 0	3 0	6 0	5 0	3 9	8 0	11 0	12 0	14 0	0 0	0 0	0 0	0 0
9	1 0	3 0	4 0	2 0	3 7	5 0	8 0	11 0	12 0	14 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
10	1 0	6 0	7 0	8 0	9 0	10 0	11 0	12 0	14 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
11	1 0	2 0	4 0	3 0	7 0	9 0	10 0	11 0	13 0	14 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
12	1 0	3 0	2 0	3 4	7 0	2 5	8 0	10 0	12 10	14 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
13	1 0	3 0	4 0	5 0	7 0	2 0	8 0	11 0	12 0	9 0	10 0	14 0	0 0	0 0	0 0
14	1 0	3 0	5 0	7 0	8 0	2 0	9 0	10 0	13 10	14 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
15	1 0	3 0	5 0	9 0	4 0	2 0	7 0	5 4	9 10	14 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0

PRODUCAO	VOL. PESO	UNIT	CARGA POR VIAGEM
1000.	.100		10.000
2000.	.200		20.000
1000.	.400		10.000
3000.	.100		30.000
1000.	.300		10.000
5000.	.200		20.000
2000.	.500		20.000
1000.	1.000		30.000
1000.	.300		50.000
1500.	.300		10.000
2000.	.100		10.000
3000.	1.000		10.000
1000.	.500		30.000
2000.	.200		20.000
3000.	.300		100.000

CALCULO DA SOLUCAO INICIAL

TABELA DE VONTADES

EST. TRAB.	POSICAO													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	660.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
2	.00	133.33	420.00	6.00	50.00	345.67	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
3	.00	431.67	10.00	473.33	46.00	.00	33.33	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
4	.00	50.00	126.00	310.00	99.00	50.00	.00	9.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
5	.00	.00	59.00	126.67	60.00	379.33	.00	9.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
6	.00	45.00	.00	10.00	33.33	60.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
7	.00	.00	45.00	20.00	362.67	70.00	19.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
8	.00	.00	.00	45.00	60.00	.00	422.67	43.33	.00	.00	.00	.00	.00	.00
9	.00	.00	.00	39.00	45.00	70.00	63.33	50.00	19.00	16.67	.00	.00	.00	.00
10	.00	.00	.00	.00	50.00	75.00	90.00	320.00	379.00	10.00	16.67	.00	.00	.00
11	.00	.00	.00	.00	.00	.00	65.00	162.67	43.33	.00	10.00	.00	.00	.00
12	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	75.00	392.67	83.33	.00	10.00	.00	.00
13	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	110.00	30.00	.00	.00	.00	.00
14	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	45.00	475.00	113.33	16.67	10.00	.00

POSICOES MEDIAS DAS ESTACOES DE TRABALHO

EST. DE TRAB.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
POSICOES MEDIAS	1.000	4.057	3.269	4.014	5.255	4.427	4.996	6.629	6.541	8.063	8.030	9.068	9.214	10.199
MAXIMA DIFERENCA DE POSICAO MEDIA CONSIDERADA =	.5													

C A R T A D E - P A R A

	P A R A													
DE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	.	133.	432.	50.	.	45.	.	.	.	.	.	.	.	.
2	.	.	436.	93.	330.	.	9.	17.	20.	50.	.	.	.	.
3	.	370.	.	393.	139.	33.	26.	.	33.	.	.	.	.	.
4	.	65.	93.	.	117.	60.	300.	.	9.	.	.	.	.	.
5	.	50.	33.	99.	.	10.	97.	308.	39.	.	.	.	.	.
6	33.	.	55.	60.	.	.	.	.	.	.
7	.	317.	.	.	15.	.	.	75.	20.	90.	.	.	.	.
8	.	20.	.	.	.	.	30.	.	.	.	.	.	.	.
9	.	.	.	9.	.	.	.	113.	105.	310.	106.	.	.	.
10	60.	171.	.	10.	.	.
11	165.	300.	20.	396.
12	201.	70.	10.
13	17.	300.	10.	.	50.	184.
14	20.	.	50.	.	70.

DADO DE ENTRADA SUPLEMENTAR

COMPRIMENTO DAS ESTACOES DE TRABALHO NO SENTIDO DO FLUXO

EST. TRAB.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
COMPRIMENTO	.0	2.0	4.0	3.0	1.0	2.0	4.0	6.0	5.0	2.0	1.0	4.0	6.0

S O L U C A O I N I C I A L

POSICAO NA LINHA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ESTACAO DE TRABALHO	1	3	2	4	6	5	7	8	9	10	11	12	13	14
MOMENTO DE TRANSPORTE =	53760.99													

PROCESSO OTIMIZANTE

SOLUCOES OTIMAS E SUBOTIMAS

POSICAO NA LINHA	1	14	2	13	3	12	4	11	5	10	6	9	7	8
ESTACAO DE TRABALHO	1	14	3	13	2	12	4	11	6	10	5	7	9	8
MOMENTO DE TRANSPORTE =	52058.82													

POSICAO NA LINHA	1	14	2	13	3	12	4	11	5	10	6	9	7	8
ESTACAO DE TRABALHO	1	14	3	13	2	12	4	11	6	10	5	7	8	9
MOMENTO DE TRANSPORTE =	46625.65													

POSICAO NA LINHA	1	14	2	13	3	12	4	11	5	10	6	9	7	8
ESTACAO DE TRABALHO	1	14	3	13	2	12	4	11	10	6	5	7	8	9
MOMENTO DE TRANSPORTE =	45321.82													

POSICAO NA LINHA	1	14	2	13	3	12	4	11	5	10	6	9	7	8
ESTACAO DE TRABALHO	1	14	3	13	2	12	4	11	10	5	6	7	8	9
MOMENTO DE TRANSPORTE =	40461.32													

POSICAO NA LINHA	1	14	2	13	3	12	4	11	5	10	6	9	7	8
ESTACAO DE TRABALHO	1	14	3	13	2	12	4	11	10	5	9	7	8	6
MOMENTO DE TRANSPORTE =	29966.16													

4.5.5. - VERSÃO PLOPCOD

a.- ENTRADAS

Os dados de entrada que esta versão do programa exige são os seguintes:

- . fluxo das peças fabricadas nos diversos departamentos
- . matriz de custos de movimentação por unidade de intensidade de fluxo e distância : U
- . área dos departamentos a serem posicionados no "layout". Os departamentos 1 e N, fictícios, terão área-nula.—
- . uma solução inicial K, fornecida pelo analista, de maneira modular, análogamente ao que é feito para o CRAFT (item 4.1.1.)
- . as áreas previamente ocupadas e que não podem ser preenchidas por quaisquer departamentos
- . os departamentos fixados em determinadas posições

b.- PARTICULARIDADES DO PROCESSAMENTO

A versão PLOPCOD não se preocupa com o cálculo da solução inicial que será fornecida pelo analista ou obtida pelo CRAFT ou ALDEP no rearranjo de atividades em edifícios existentes e pelo CORELAP ou RMA Comp I quando o edifício não existe.

Também nesta versão os departamentos 1 e N (entrada e saída) são fictícios. A possibilidade de introduzir considerações sobre os fluxos de entrada e saída permite o estudo do relacionamento dos departamentos do edifício com o seu exterior.

A critério do analista, o programa pode trabalhar com duas alternativas relativamente aos custos de movimentação por unidade de intensidade de fluxo e distância:

- custos de movimentação unitária fixados, qualquer que seja o "layout" adotado. Neste caso o programa prevê a entrada de relações entre os custos, onde se admite que um desses custos é igual a 1
- em função da distância a ser percorrida pela intensidade de fluxo o programa procura o meio de movimentação mais adequado, de custo conhecido, isto é:

$$\left. \begin{array}{l} 0 < d_{ij} < d_1 \rightarrow u_{ij} = u_1 \\ d_1 < d_{ij} < d_2 \rightarrow u_{ij} = u_2 \\ \vdots \\ d_{n-1} < d_{ij} < d_n \rightarrow u_{ij} = u_n \end{array} \right\} n \leq 10$$

Para alguns problemas reais existentes, esta hipótese é um sensível aperfeiçoamento em relação à anterior, uma vez que a fixação preliminar dos custos de movimentação nem sempre é verificada na prática onde, normalmente, escolhem-se os equipamentos de transporte durante ou após a elaboração do "plant-layout".

O programa calcula o centro geométrico dos departamentos, na solução inicial e nas demais soluções geradas pelo método, aceitando até 30 departamentos diferentes. O cálculo das distâncias entre os centros geométricos dos departamentos pode, a critério do analista, ser realizado considerando-se movimentação em linha reta ou em trajetórias retangulares, isto é, paralelas a eixos cartesianos, pelos corredores da fábrica.

A determinação da distância entre o centro geométrico de um departamento qualquer e os departamentos 1 ou N (fictícios, entrada e saída do edifício) é feita através do cálculo

da mínima distância existente entre o centro geométrico desse departamento e a parede do edifício. Isto significa admitir-se que os centros geométricos de l e N se encontram em qualquer posição, nas paredes do edifício.

A partir da solução inicial K, o programa monta o esquema iterativo considerando como níveis as posições ocupadas pelos departamentos na solução K. Neste caso os níveis não podem ser posições fixadas no edifício, como no caso da linha, pois as áreas dos departamentos são desiguais. Logicamente os níveis l e N só poderão ser ocupados pelos departamentos l e N, entrada e saída do edifício respectivamente. O cálculo do custo de comparação inclui os custos de entrada e saída no edifício.

Na escolha da forma geométrica dos departamentos, o programa procura formar quadrados, sempre que possível.

c.- SAIDAS

As saídas que a versão PLOPCOD do programa fornece são as seguintes:

- . a solução inicial e seu custo total de transporte
- . todas as soluções viáveis com os respectivos custos totais de movimentação

O formato das saídas desta versão é idêntico ao da saída do CRAFT, anteriormente indicado (item 4.1.4.-FIGURA 4.3)

4.5.6. - VERSÃO PLOPCOF

Esta versão, na verdade, não foi programada pelos autores, mas apenas apresentada de maneira resumida e através de considerações puramente conceituais que, contudo, possibilitariam sua programação. Destina-se à designação de atividades a posições pré-fixadas.

Para a versão PLOPCOF seriam os seguintes os dados de entrada:

- . a Carta DE-PARA, das intensidades de fluxo, ou o fluxo das peças processadas pelas atividades estudadas. As atividades 1 e N representariam as posições pré-fixadas que fornecem as peças a serem processadas (atividade 1) e as que as recebem após o processamento (atividade N)
- . matriz de custo da movimentação (idem versão PLOPCOD)
- . a matriz das distâncias que separam as posições disponíveis pré-fixadas.

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix}$$

- . uma solução inicial determinada pelo analista. Tal solução poderia ser obtida, por exemplo, através do método de Wimmert ou através de sua extensão proposta por Willoughby.

Nesta versão, os detalhes específicos do esquema iterativo seriam os seguintes:

- . ordenamento dos pares de posições disponíveis, em sequência decrescente de distância

- . definição dos níveis procurando obter as maiores distâncias que separam os níveis de menor número, a fim de acelerar a convergência do processo.

Se as atividades l e N, como foram definidas, já se encontrarem posicionadas quando do estudo do problema, e não for objetivo do analista a mudança de posição destas atividades, o programa deveria aceitar esta imposição.

As saídas do programa deveriam ser as mesmas da versão PLOPCOL, com exceção da parte que se refere ao cálculo da solução inicial.

4.6. - LSP - LAYOUT SIMULATION PROGRAM

O modelo LSP foi desenvolvido por Klaus Zoller e Kristian Adendorff. Informações podem ser solicitadas à Universidade de Karlsruhe - Alemanha ou à Universidade de Pretoria - Departamento de Mecânica e Engenharia Industrial - África do Sul.

4.6.1. - ENTRADAS

Os dados de entrada que o programa exige são à exceção da solução inicial, semelhantes àqueles exigidos pelo CRAFT, ou seja:

- . módulo de área considerado
- . a planta modular do edifício, isto é, uma matriz de localização onde cada elemento representa um módulo de área
- . as necessidades de área de cada departamento
- . a matriz das intensidades de fluxo
- . a matriz dos custos unitários de transporte

4.6.2 - LSP - FLUXO DO PROCESSO

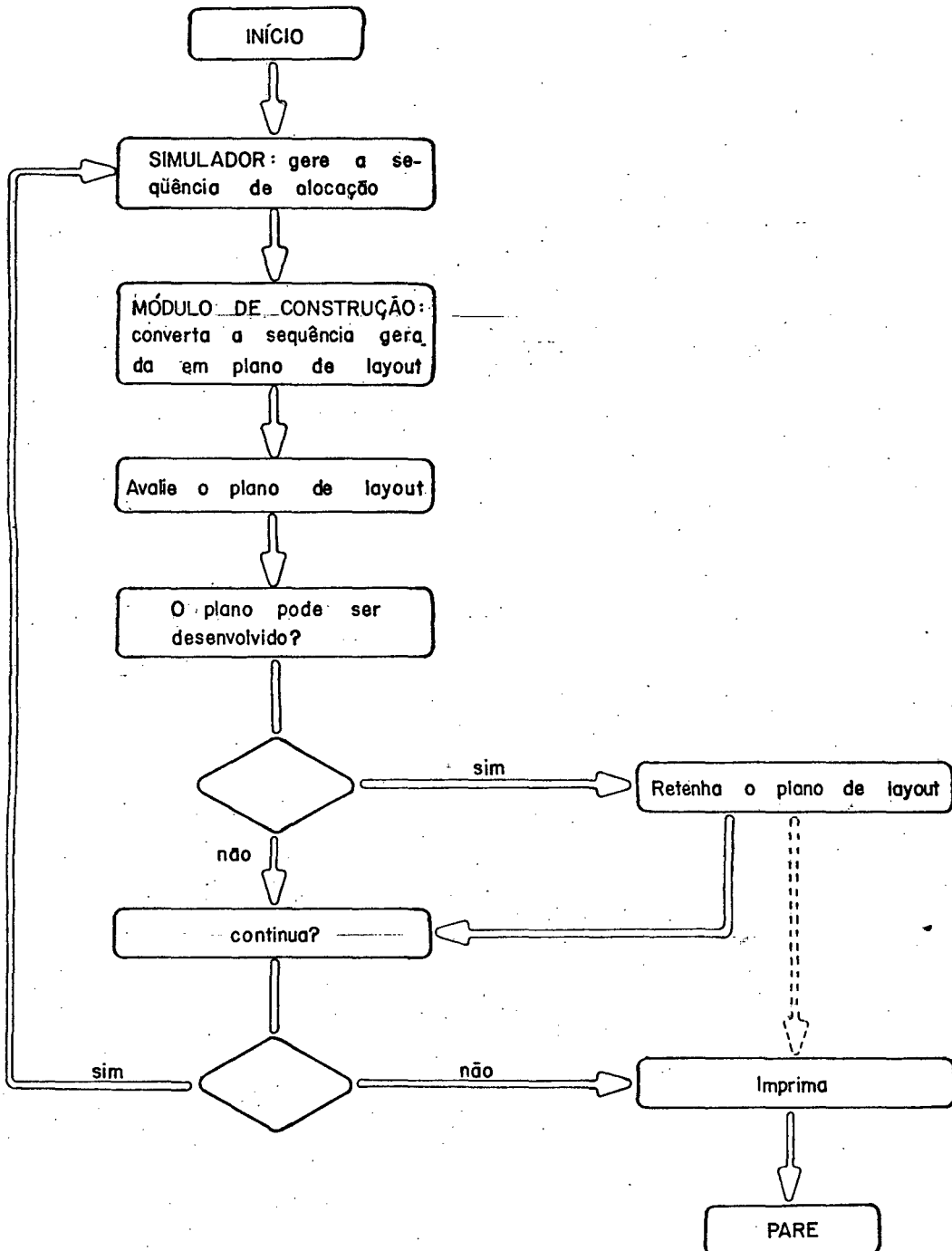


FIGURA 4.13

4.6.3. - SAÍDAS

A saída do programa é um "layout" final apresentado de forma modular, analogamente ao CRAFT (item 4.1.4. - FIGURA 4.3). O programa considera "a priori" que os contornos dos departamentos mais próximos de quadrados são preferíveis às configurações em "I", "L", "T" ou "U".

4.6.4. - DESCRIÇÃO DO PROCESSAMENTO

Conceitualmente o LSP considera que o universo dos possíveis arranjos de centros de trabalho pode ser visto como população estatisticamente finita e usa simulação por computador para gerar e avaliar amostras desta população com o objetivo de obter algumas observações na vizinhança da solução ótima.

Os componentes principais do modelo são: um método de construção do "layout" que ajusta os centros de trabalho de diferentes necessidades de área em uma planta de edifício dada e o simulador que gera a sequência em que tais centros de trabalho serão ajustados.

Cada "loop" indicado no fluxo do processo produz uma observação. O simulador gera uma sequência aleatória dos números i de identificação dos centros de trabalho. Um módulo de construção converte esta sequência em um plano de "layout" bi-dimensional.

A seguir, uma rotina de avaliação mede a eficiência deste plano e uma série de verificações subsequentes controlam os arquivos intermediários e o encerramento do processamento.

O programa calcula os centros de gravidade dos departamentos e a distância entre eles, através de coordenadas ortogonais. Opcionalmente as distân-

cias podem ser calculadas através de linhas retas. A rotina de avaliação calcula o custo total de transporte como função linear das intensidades de fluxo, do custo unitário de transporte e das distâncias.

O custo total de transporte é calculado apenas depois que o "layout" está completo e não com o objetivo de efetuar mudanças no plano. Este particular permite que o custo total de transporte seja calculado como função não linear dos custos unitários e das intensidades de fluxo, ou como função completamente não linear.

O programa aceita departamentos pré-designados e departamentos fictícios (ou fantasmas) que são utilizados apenas com a finalidade de limitar a planta do edifício na matriz modular. Os departamentos fantasmas não participam do processo de simulação e avaliação.

O programa aceita até cinquenta departamentos (excluídos os fantasmas) em uma matriz de alocação de 2500 células. De acordo com os autores, o tempo de processamento é, em termos de variação, muito mais sensível ao tamanho da matriz do que ao número de departamentos envolvidos no problema.

Embora uma solução inicial de "layout" não seja exigida como dado de entrada, uma ou mais soluções completas poderão ser lidas para efeito de avaliação das próprias soluções e do processamento.

4.7. - UMA COMPARAÇÃO DOS MODELOS APRESENTADOS

Os programas CRAFT, ALDEP e LSP exigem a definição do edifício antes do estudo do "plant-layout", o que representa uma inversão na sequência lógica do projeto. É possível contornar esta dificuldade usando-se várias vezes o programa, para diversas configurações do edifício.

O CORELAP tem por objetivo gerar o edifício em função do seu arranjo interno. Entretanto, a máxima relação comprimento/largura, que é dado de entrada, provoca uma grande perda de flexibilidade na análise. Esse programa tem o inconveniente de produzir edifícios demasiadamente irregulares, o que obriga a um posterior ajustamento manual.

O RMA Comp I não fornece o edifício, mas somente o relacionamento dos departamentos. O programa tem a finalidade de desenvolver, por computador, o que um analista efetuará manualmente, segundo a técnica exposta por Muther.

O PLOPCO parte de uma solução inicial, o que não representa uma restrição à generalidade das soluções nos casos das linhas e das posições pré-fixadas. Já no estudo do edifício industrial, a solução inicial é a forma e a área do edifício, severa restrição e inversão da sequência natural do projeto. Entretanto, como no caso do CRAFT, ALDEP e LSP, tal dificuldade pode ser atenuada analisando-se o mesmo problema para diversas configurações do edifício e/ou procurando-se obter a solução inicial através dos programas CORELAP ou RMA Comp I, que montam a solução a partir somente dos dados de fluxo das peças.

Tanto o CRAFT, quanto o PLOPCO (versão PLOPCOD) e o LSP, adaptam-se perfeitamente ao problema do rearranjo em edifícios já existentes.

O CRAFT e o PLOPCO consideram ligações numéricas de fluxo entre os departamentos envolvidos. Os demais programas levam em conta apenas ligações qualitativas. O ALDEP transforma ligações qualitativas em numéricas, para avaliar as alternativas.

O RMA Comp I e o CORELAP também efetuam essa transformação, mas, somente para facilitar o processamento, uma vez que não apresentam alternativas.

O LSP liga departamentos específicos desenvolvendo uma análise apropriada das relações enquanto gera as sequências de alocação.

O CRAFT, o PLOPCO e o LSP podem ser utilizados para o tratamento de casos onde só existam ligações qualitativas, como, por exemplo, "layouts" de escritório, laboratórios ou fábricas de produção sob encomenda. Para tanto, seria introduzida uma tabela de conversão das ligações qualitativas para valores numéricos no PLOPCO e uma adaptação adequada na medida das intensidades de fluxo no CRAFT e no LSP.

Os programas CRAFT, ALDEP, PLOPCO e LSP analisam várias alternativas de solução. O CRAFT e o PLOPCO convergem para uma solução "ótima", porém, não se sabe o número de iterações que irão desenvolver. No ALDEP uma solução qualquer é desvinculada das anteriores e o processo não é "path-oriented", sendo analisado um número de alternativas definido como dado de entrada.

O CORELAP e o RMA Comp I apresentam uma única solução como resposta, não analisando alternativas.

O LSP procura uma série de observações no entorno do "ótimo", usando uma sequência aleatória de alocação, similar à do ALDEP.

O ALDEP e o LSP são os únicos programas que possibilitam a análise de soluções para fábricas de mais de um nível. O ALDEP tem um máximo de 3 níveis como restrição, além de não considerar o fluxo entre os níveis.

O PLOPCO, embora não tenha sido previsto para análise de soluções deste tipo, de acordo com os autores, foi desenvolvido segundo uma técnica perfeitamente adaptável a problemas para edifícios com mais de um nível.

O LSP, conforme mencionam os autores, poderia considerar, feitas as adaptações convenientes, a alocação de n centros de trabalho variáveis em m pisos, tais que as necessidades de área e as disponibilidades de área sejam compatíveis em cada caso. O programa deveria aceitar duas condições essenciais, isto é, deveria garantir certa flexibilidade relativamente a quais centros seriam alocados em quais pisos e garantir a não fragmentação dos centros de trabalho.

Em qualquer hipótese, entretanto, é importante considerar a significativa perda de flexibilidade em edifícios com mais de um nível.

O PLOPCO é o único programa que considera os fluxos de entrada e saída das peças. Os demais programas, que não levam em conta estes fluxos, poderão chegar a soluções nem sempre convincentes no que diz respeito à localização do almoxarifado e da expedição, ou de departamentos típicos de início e fim de operação. Tais setores de uma fábrica poderão, inclusive, ser localizados no centro do edifício. A pré-fixação inicial destes departamentos que poderia ser uma forma de resolver o problema, provoca perda de flexibilidade na busca de soluções.

Os programas CRAFT, ALDEP, PLOPCO e LSP permitem a consideração de departamentos com posições pré-fixadas e a imposição de áreas previamente ocupadas. O ALDEP e o LSP admitem, adicionalmente, a designação de departamentos a níveis específicos.

O CORELAP e o RMA Comp I não consideram as restrições de áreas previamente ocupadas e de posições pré-fixadas.

Os autores do PLOPCO mencionam estar empenhados num aperfeiçoamento da versão PLOPCOD de forma a aceitar considerações sobre a localização de corredores e a imposição de determinados departamentos somente ocuparem posições específicas no edifício, tendo em vista problemas como a utilização de pontes rolantes de diferentes capacidades, cuidados especiais na construção do piso e necessidade de sistemas complexos de movimentação de materiais.

O CRAFT calcula a distância entre os centros geométricos dos departamentos, assumindo movimentação em linha reta. Normalmente, nas fábricas a movimentação se dá ao longo de corredores paralelos a eixos ortogonais, e a hipótese da linha reta nem sempre representa a realidade.

No PLOPCOD e no LSP as distâncias podem ser calculadas segundo trajetórias retangulares ou de linha reta. Nas versões PLOPCOF-PLOPCOL a distância é medida em linha reta, obedecendo, desta forma, à movimentação real existente nos tipos de problema que solucionam.

O ALDEP avalia numericamente as alternativas pela adjacência dos departamentos estudados, não calculando distâncias. Deste modo, a eficiência numérica de cada alternativa considera apenas uma parte do fluxo existente e não a sua totalidade.

O CRAFT considera uma matriz de custos unitários de movimentação entre os departamentos, como dado inicial. Tal fato dificilmente ocorre na prática, onde o meio de movimentação e, portanto, o custo unitário, são decorrentes da solução de "plant-layout" e, em consequência, somente definidos "a posteriori", em função da determinação do arranjo.

Na versão PLOPCOD os custos unitários de movimentação podem mais fielmente representar a realidade, pois o programa permite a escolha do custo unitário em função da distância percorrida. Em outra hipótese, o programa aceita custos definidos preliminarmente para cada par de atividades. Pode-se também adotar custos unitários iguais a 1, em todos os casos, e, após a solução, definir os equipamentos de movimentação. Grande parte dos problemas reais de "plant-layout" necessita que esta sequência seja obedecida.

O LSP também considera a matriz de custos unitários como dado de entrada. Entretanto, o custo total de transporte é calculado somente depois que o "layout" está completo e não tem o objetivo de analisar mudanças no plano, podendo, portanto, ser assumido como função não linear.

5.- CONCLUSÕES

Em sentido amplo pode-se dizer que o melhor "layout" será aquele que representar a melhor combinação de todos os fatores que o influenciam. Isto significa que várias possibilidades ou alternativas de "plant-layout" devem ser avaliadas, em cada caso, a fim de se determinar o melhor ajuste desses fatores.

Usualmente não é possível dispor de todas as considerações na forma de dados que possam ser analisados de maneira puramente objetiva. Existem aspectos intangíveis que não podem ser quantificados.

A medida da eficiência das soluções apresentadas aos problemas de "layout", tradicionalmente tem sido relacionada com o fluxo de materiais. Em função da necessidade de introdução de mudanças nos processos de fabricação, a determinação desse fluxo tende a adquirir um grau bastante elevado de complexidade. Novas técnicas têm sido desenvolvidas para exame mais adequado das situações de fluxo mais complexas. Os modelos quantitativos de "plant-layout" frequentemente adotam como critério básico a minimização do custo de transporte, assumido como uma função linear das distâncias entre os componentes do sistema em estudo.

Um conjunto adicional de critérios pode e deve ser montado, através dos fatores relacionados aos objetivos do "layout". Esse conjunto de critérios deveria, a seguir, sofrer um tratamento quantitativo, sendo cada um dos critérios avaliado de forma concreta.

Existem, entretanto, diversas implicações no desenvolvimento de critérios quantitativos para o julgamento de um projeto de "plant-layout", uma vez que tal quantificação, geralmente, ou será colocada em termos de benefícios do "layout", sem que se conheça, na verdade, o ótimo de cada critério, ou, dadas as dificuldades de análise, as abordagens utilizadas tenderão a preocupar-se com a otimização de um dos critérios, sem considerar a importância relativa desses mesmos critérios, procurando então a otimização do todo.

A própria fixação dos objetivos do "layout" não é tarefa muito fácil e, em muitas empresas, chega até a refletir um estilo de administração. Mesmo quando os objetivos de um determinado projeto são perfeitamente parametrados, as suas necessidades não poderão ser facilmente quantificadas. Qual será, por exemplo, o valor da vida humana para as considerações de segurança? Por outro lado,

os custos e os benefícios de um projeto de "layout", no decorrer de sua existência, podem ser muito difíceis, senão impossíveis de serem medidos. As incertezas do futuro podem ser incomensuráveis.

Poderá surpreender a alguns analistas de "layout" que a distância percorrida pelo material na sua movimentação não seja o único critério e, frequentemente não seja, nem mesmo, o fator primário a ser considerado na localização de uma atividade. Valores mais realísticos dos fatores que efetivamente influenciam o custo total em diferentes situações de planejamento do "plant-layout" são necessários.

A utilização de modelos computacionais na solução de problemas de "plant-layout" representa um progresso significativo no desenvolvimento de técnicas mais elaboradas e, talvez, mais sofisticadas para tratamento da questão. Entretanto, mesmo a aplicação dessas técnicas pode não conduzir às soluções mais adequadas. Na opinião de Robert Whitaker, consultor associado da Richard Muther & Associates, Inc., nenhum programa conhecido estabelece o melhor ou mais lógico "layout", nem fornece elementos suficientes para substituir as técnicas manuais.

Da análise dos métodos computacionais mais importantes e das considerações anteriores, infere-se que, em que pese o fato de os modelos computacionais se constituírem em instrumentos verdadeiramente úteis como auxílio na busca da solução ideal, sempre será possível questioná-los em função do critério de avaliação utilizado. Até que ponto o custo de transporte, para não falar de outros critérios, é realmente a melhor medida de eficiência de um "plant-layout"?

A proclamação da aplicação geral do fluxo de materiais ou outro fator qualquer, é uma contribuição negativa aos especialistas de "layout". Cada problema de "plant-layout" deve ser encarado como único por suas particulares hipóteses, restrições e limitações, bem como pela intrínseca atividade de seus componentes. Forçar problemas nos modelos não é uma técnica que passará pelo teste su-premo da significância empírica. Cada problema específico deve ser testado em termos de compatibilidade com o modelo, antes que possa ser resolvido. Problemas específicos podem ser tratados - desfavoravelmente através de uma metodologia generalizada. Soluções analíticas devem ser sintetizadas em um contexto mais amplo de operações e, principalmente, tal síntese deve considerar todas

as condições peculiares ao sistema e ao problema.

O tratamento de cada problema como único, possibilita um enfoque mais exato e, conseqüentemente, leva a uma solução mais adequada. Um reconhecimento das hipóteses necessárias a um modelo e o seu efeito no problema em estudo pode não resolvê-lo, mas, seguramente auxilia na seleção do método correto de análise, bem como na determinação dos tipos de problema aos quais determinadas técnicas são mais aplicáveis. Uma tentativa para isolar qualquer aspecto de um problema particular, evitando tratá-lo através de abordagens simplistas, frequentemente ajuda na identificação da técnica analítica adequada.

Segundo Vollmann (83), um resultado típico ao considerar um problema como único pode ser a descoberta de que os critérios inicialmente colocados são vagos, isto é, o administrador sabe que necessita de um "layout", porém não consegue especificar um critério de avaliação, ou possui diversos critérios que são, de alguma forma, conflitantes.

Nem sempre a sofisticação no tratamento de um problema de "layout" deve ser evitada. Grande parte dos problemas com objetivos conflitantes, talvez possa ser examinada pelos modelos de custo de transporte de materiais. Fatores subjetivos e mudanças nos critérios e hipóteses da função objetivo podem ser avaliados por simulação. Se, por outro lado, o problema parece ser inteiramente ditado por fatores qualitativos, talvez esta seja uma boa oportunidade para que os trabalhadores envolvidos participem da decisão. Os benefícios intangíveis assim obtidos poderão provar ser bem maiores que quaisquer outros benefícios obtidos por soluções rígidas.

O autor afirma que, em resumo, o problema do "plant-layout" deve ser considerado à luz do enfoque da unicidade, da concomitante singularidade dos critérios específicos do problema e da necessidade de refletir esta singularidade nas abordagens do mesmo. O projeto de "layout" é inerentemente composto de múltiplas variáveis e não será tratado apropriadamente por um modelo de critério simples. Problemas não podem ser forçados nos modelos. Os modelos devem ser adaptados aos problemas.

A FIGURA 5.1, a seguir, indica um guia operacional proposto por Vollmann (obra citada) para análise dos problemas de "layout",

numa tentativa de delinear claramente os aspectos singulares de um particular problema. O estudo do "layout" é sempre complexo. O guia procura apontar esta complexidade de forma a ajudar os especialistas na identificação do elemento ou elementos estratégicos em cada caso específico e a abordar o problema adequadamente.

O guia operacional de Vollmann permite ao analista selecionar uma técnica adequada para o estudo de um particular problema, de maneira que o tratamento é ditado pelo próprio problema, não pela viabilidade de um método que pode ou não ser adequado.

O mesmo instrumento pode ser útil aos administradores que terão o encargo de julgar um estudo de "layout". O guia operacional constituiu-se, neste caso, em um método sistemático para determinar se um dado problema foi ou não investigado adequadamente e se os critérios utilizados foram os mais apropriados.

Entretanto, acredita o autor que este tipo de avaliação "ex post facto" é, obviamente um desperdício. Benefícios primários poderão ser obtidos usando-se o guia antes que qualquer análise seja efetuada, aspecto com o qual concordamos entusiasticamente.

GUIA OPERACIONAL PARA ANÁLISE DE "LAYOUT"

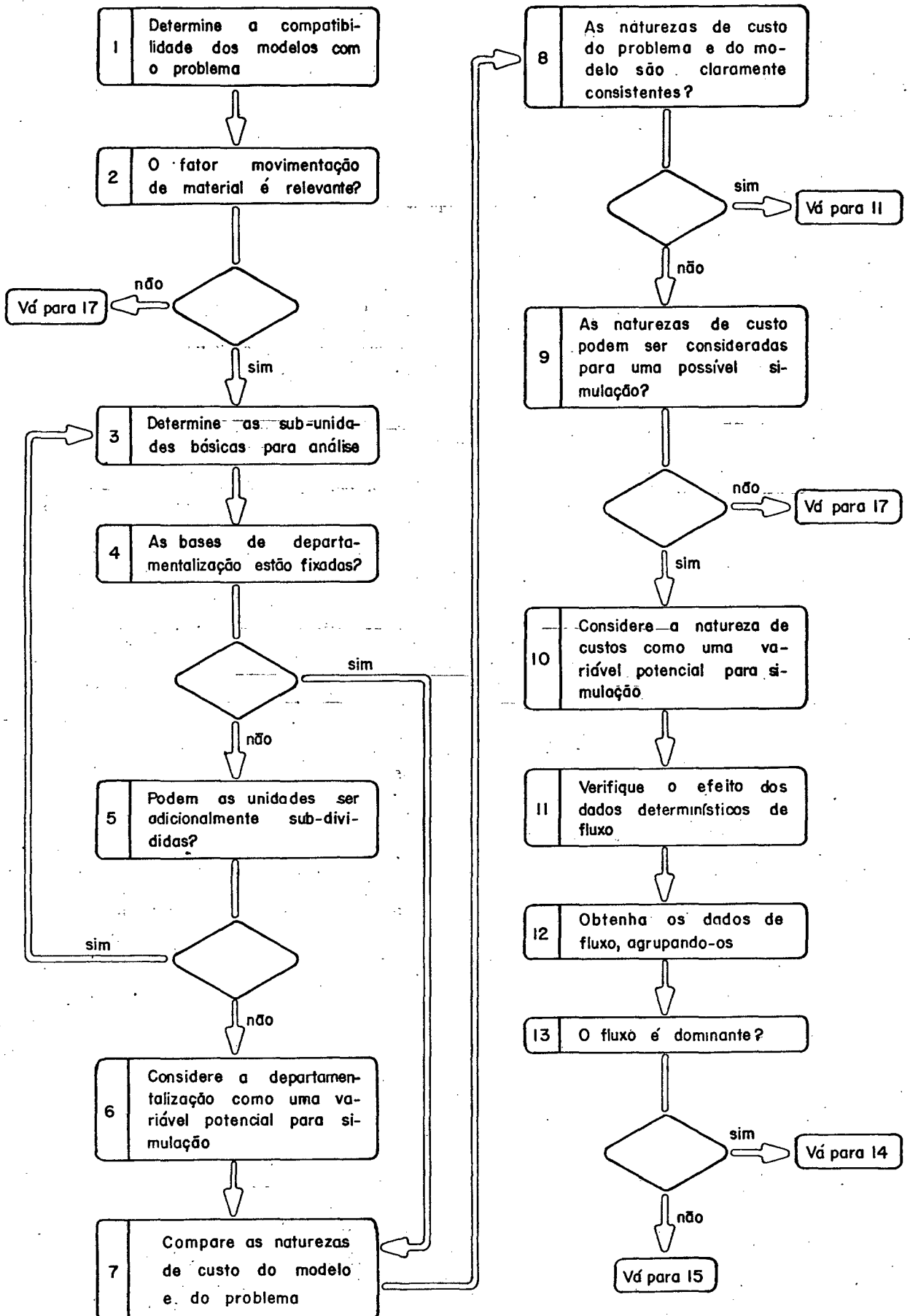


FIGURA 5.1 (Continua)

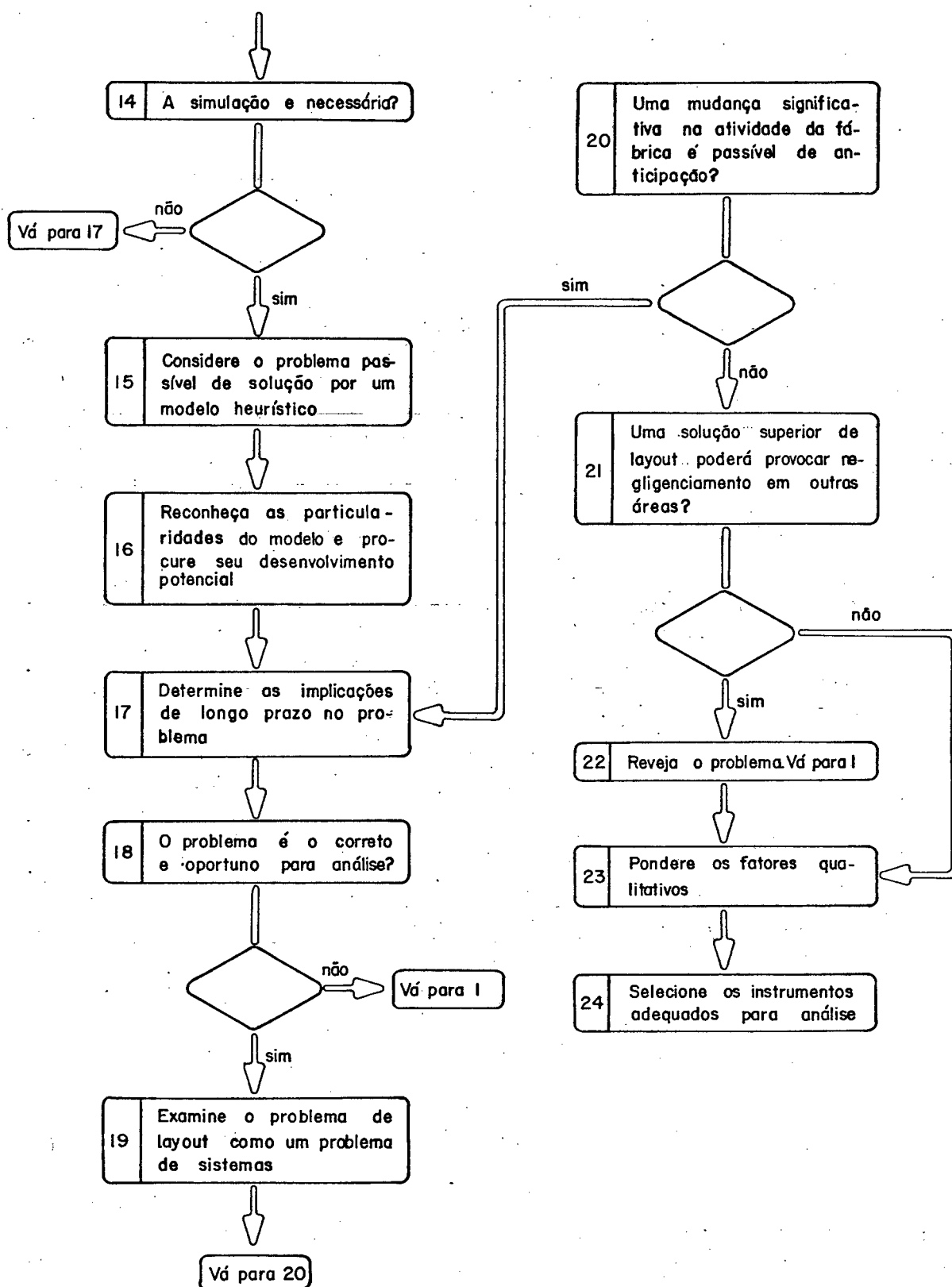


FIGURA 5.1 (Continuação)

BIBLIOGRAFIA

- (01) - ACKOFF, RUSSEL L. - SASIENI, MAURICE W.
Pesquisa Operacional - Livros Técnicos e Científicos Editora S/A - 1974
- (02) - AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS - ASME
Operation and Flow Process Charts- Standard nº101 in (58)
- (03) - ARCUS, A.L.
a Computer Method for Sequence Operations for Assembly Lines - COMSOAL - in (06)
- (04) - BELLMAN, RICHARD
Some Applications of the Theory of Dynamic Programming - Operations Research, August, 1954 in (58)
- (05) - BOWMAN, E. H.
Assembly - Line Balancing by Linear Programming-Operations Research - Vol. 8-nº 3 - May-June, 1960 in (06, 58)
- (06) - BUFFA, ELWOOD S.
Administração da Produção - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 1972
- (07) - BUFFA, ELWOOD S.
Production-Inventory Systems Planning and Control - Richard Irwin Inc., 1968
- (08) - BUFFA, ELWOOD S.
Sequence Analysis for Functional Layouts-the Journal of Industrial Engineering - March-April, 1955
- (09) - BUFFA, ELWOOD S. - ARMOUR, GORDON C.-VOLLMANN, THOMAS E.
Allocating Facilities with CRAFT - Harvard Business Review - March-April, 1964 - in Readings in Production and Operations Management John Wiley and Sons, Inc., 1968
- (10) - CABOT, A. VICTOR - FRANCIS, RICHARD L. -STARY, MICHAEL A.
a Network Flow Solution to a Rectilinear Distance Facility Location Problem - AIIE Transactions - Vol II - nº 2 - June, 1970

(11) - CAMERON, D.C.

Travel Charts - a Tool for Analyzing Material Movement Problems - Modern Materials Handling - Vol.7 - January , 1952 - in (74)

(12) - CARSON, GORDON B.

Production Handbook - the Ronald Press Company - 1958 - in (58)

(13) - CHARNES, A. - COOPER, W.W.

the Stepping Stone Method of Explaining Linear Programming Calculations in Transportation Problems - Management Science - October, 1954 in (58)

(14) - CONRAD, R.

~~Setting the Pace - Medical Research Council - London -~~
1955 - in (06)

(15) - COOPER, L.

Location - Allocation Problems - Operations Research - n° 11 - 1963 - in (88)

(16) - DANTZIG, GEORGE B.

Activity Analysis of Production and Allocation - Cowles Commission for Research in Economics, n° 13 - John Wiley and Sons, 1951 - in (58)

(17) - EDIE, LESLIE C.

Traffic Delays at Tool Booths - Operations Research -Vol.2 n° 2 - May, 1957 - in (58)

(18) - EVANS, WAYNE O.

Automed Layout Design Program for OS/360-IBM-Contributed Program Library - Program Information Department - Hawthorne, New York - 360D-15.0.004- January, 1968

(19) - FELLER, WILLIAM

an Introduction to Probability Theory and its Applications - Vol. 1. - in (58)

(20) - FRANCIS, RICHARD L.

a Note on the Optimum Location of New Machines in Existing Plant-Layouts-the Journal of Industrial Engineering-

Vol. XIY - n° 1 - January-February, 1963

- (21) - FRANCIS, RICHARD L.
Sufficient Conditions for some Optimum Property Facility Designs - Operations Research - n°15 - 1967- in (88)
- (22) - GAVETT, J.W. - PLYTER, NORMAN V.
the Optimal Assignment of Facilities to Locations by Branch and Bound - Operations Research, 1966
- (23) - GILMORE, P.C.
Optmal and Suboptimal Algorithms for the Quadratic Assignment Problem - J.Soc. Indust.and Appl. Math. - 1962 - in (32,68)
- (24) - GOLDMAN, A.J.
Optimum Locations for Centers in Network Transportation Science - 3, 1969 - in (25)
- (25) - HAKIMI, S.L.
Optimum Distribution of Switching Centers in a Communication Network and Some Related Graph Theoretical Problems Operations Research - 13, 1965 - in (47)
- (26) - HAKIMI, S.L.
Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph-Operations Research -12-- 1964 - in (47)
- (27) - HARRIS, ROY D. - SMITH, ROLAND K.
a Cost-Effectivene s Approach to Facilities Layout - the Journal of Industrial Engineering - Vol. XIX - n° 6-June, 1968
- (28) - HELD, M. - KARP, R.M. - SHARESIAN, R
Assembly-Line Balancing - Dynamic Programming, with Precedence Constraints - Operations Research - May-June, 1963 - in (06)
- (29) - HELGESON, W.P. - BIRNIE, D.P.
Assembly Line Balancing Using the Ranked Position Weight Technique - the Journal of Industrial Engineering - November-December, 1961 - in (06)

- (30) - HENDERSON, A. - SCHLAIFER, R.
Mathematical Programming: Better Information for Better Decision Making - Harvard Business Review - Vol. 32 - nº 3 - May-June, 1954 - in (58)
- (31) - HILLIER, FREDERICK S.
Quantitative Tools for Plant-Layout Analysis-the Journal of Industrial Engineering - 1963 - in (68)
- (32) - HILLIER, FREDERICK S. - CONNORS, MICHAEL M.
Quadratic Assignment Problem Algorithms and the Location of Indivisible Facilities - Management Science - Vol. 13 nº 1 - September, 1966
- (33) - HITCHCOCK, FRANK L.
the Distribution of a Product from Several Sources to Numerous Localities - Journal of Mathematical Physics - Vol. 20 - 1941 - in (58)
- (34) - HUNT, G.C.
Sequential Arrays of Waiting Lines- Operations Research-Vol. IV - 1956 - in (06)
- (35) - IIDA, ITIRO
Aplicações à Engenharia de Produção - Livraria Pioneira-Editora, 1972
- (36) - IRESON, W.G.
Factory Planning and Plant-Layout - Prentice Hall Inc . -1952 - in (08)
- (37) - JACKSON, JAMES R.
a Computing Procedure for a Line Balancing Problem-Management Science - Vol. 2 - nº3 - April, 1956 - in (58)
- (38) - JACKSON, R.R.P.
Queuing Systems with Phase Type Service-Operational Research Quarterly - Vol. 5 - nº 4 - December, 1954 - in (58)
- (39) - KEHL, SÉRGIO A. PENNA - IIDA, ITIRO
Arranjo Físico - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Produção, 1970

- (40) - KILBRIDGE, M.D. - WESTER, L.
Heuristic Line Balancing: a Case - the Journal of Industrial Engineering - May-June, 1962 - in (06)
- (41) - KILBRIDGE, M.D. - WESTER, L.
a Heuristic Method of Assembly-Line Balancing-the Journal of Industrial Engineering - July-August, 1961 - in (06)
- (42) - KOOPMANS, T.C. - BECKMANN, M
Assignment Problems and the Location of Economic Activities - Econometrica - Vol. 25 - n° 1 - January - 1957 -in (32)
- (43) - KUENNE, R.E. - KUHN, H.W.
an Efficient Algorithm for the Numerical Solution of the Generalized Weber Problem in Spatial Economics - J. Regional Science - n° 4 - 1962 - in (88)
- (44) - LAND, A.H.
a Problem of Assignment with Inter-related Costs-Operational Research Quarterly - Vol. 14 - n° 2
- (45) - LAWLER, E.L.
the Quadratic Assignment Problem - Management Science - Vol. 9 - n° 4 - July, 1963 - in (32)
- (46) - LEE, ROBERT C. - MOORE, JAMES M.
CORELAP - Computerized Relationship Layout Planning - the Journal of Industrial Engineering - Vol. XVIII - n° 3 - March, 1967
- (47) - LEVY, JOSEPH
an Extended Theorem for Location on a Network-Operational Research Quarterly - Vol. 18 - n° 4
- (48) - LITTLE, J.D.C. - MURTY, K.G. - SWEENEY, D.W.-KAREL, C.
an Algorithm for the Traveling Salesman Problem-Operation Research - 1963 - in (22)
- (49) - LLEWELLYN, ROBERT W.
Travel Charting with Realistic Criteria - the Journal of Industrial Engineering - Vol. IX- n° 3 - May-June, 1958

- (50) - LUNDY, JAMES L.
a Reply to Wayland P. Smith's Article - the Journal of Industrial Engineering - May-June, 1955 - in (49)
- (51) - MACHLINE, CLAUDE-SÁ MOTTA, IVAN DE-WEIL, KURT E.-SCHOEPS, WOLFGANG
Manual de Administração da Produção - Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1974
- (52) - MALCOLM, D.G.
Queuing Theory in Organization Design - the Journal of Industrial Engineering - November-December, 1955- in (06)
- (53) - MALLETT, A.J. - FRANCIS, R.L.
a Generalized Assignment Approach to Optimal Facility Layout - AIIE Transactions - Vol. 4 - nº 2 -June, 1972
- (54) - MASTOR, A.A.
an Experimental Investigation and Comparative Evaluation of Production Line Balancing Techniques-PhD Dissertation - UCLA - 1966 - unpublished - in (06)
- (55) - MAYNARD, HAROLD B.
Industrial Engineering Handbook - McGraw Hill Company , Inc. - 1956 - in (58)
- (56) - McHOSE, A.H.
a Quadratic Formulation of the Activities Location Problem - the Journal of Industrial Engineering - Vol. 12 - nº 5 - September-October, 1961 - in (89)
- (57) - MOORE, JAMES M.
Optimal Locations for Multiple Machines - the Journal of Industrial Engineering - Vol. XII - nº 5 - September - October, 1961
- (58) - MOORE, JAMES M.
Plant Layout and Design - the Macmillan Company, 1962
- (59) - MOORE, JAMES M. - BINDSCHEDLER, ANDRE E.
Optimal Location of New Machines in Existing Plant-Layouts - the Journal of Industrial Engineering - Vol. XII - nº 1 - January-February, 1961 - in (20)

- (60) - MORAIS REGO, LUIZ CARLOS A. de
Método dos Torques Garante Melhor "Layout" - Engenheiro Moderno - Dezembro, 1969
- (61) - MORSE, PHILLIP M.
Queues, Inventories and Maintenance - John Wiley and Sons - 1958 - in (06, 58)
- (62) - MUTHER AND ASSOCIATES, RICHARD - Kansas City - Missouri
Papéis Internos - Janeiro, 1971
- (63) - MUTHER, RICHARD
Practical Plant-Layout - McGraw - Hill Book Company, Inc. 1955
- (64) - MUTHER, RICHARD
Production Line Techniques - McGraw-Hill Book Co.-1944
in (58)
- (65) - MUTHER, RICHARD - MCPHERSON, KENNETH
Four Approaches to Computerized Layout Planning-Industrial Engineering - February, 1970
- (66) - NELSON, R.T.
an Empirical Study of Arrival Service Time and Waiting-Time Distributions of a Job Shop Production Process - Research Report - nº 60 - Management Sciences -Research Project - UCLA - 1959 - in (06)
- (67) - NOY, PETER C.
Make the Right Plant Layout Mathematically - American Machinist - Vol. 101 - nº 6 - March, 1957 - in (71)
- (68) - NUGENT, CHRISTOPHER E. - VOLLMANN, THOMAS E. - RUMML, JOHN
an Experimental Comparison of Techniques for the Assignment of Facilities to Locations - Operations Research - Vol. XVI - nº 1 - January-February, 1968
- (69) - OLIVÉRIO, JOSÉ LUIZ
a Localização Orientada pelo Transporte Aplicada à Movimentação Retangular - IV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 1971

- (70) - OLIVÉRIO, JOSÉ LUIZ
Otimização em Diagrama Homem-Máquina - II Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - 1970 - in (71)
- (71) - OLIVÉRIO, JOSÉ LUIZ
Produtos, Processos e Instalações Industriais - Faculdade de Engenharia Industrial - 1971
- (72) - OLIVÉRIO, JOSÉ LUIZ - BAIÃO, REGINALDO VIANA
"Plant-Layout" Ótimo por Processo Computacional - PLOPCO IV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - 1971
- (73) - PRITSKER, A.A.B. - GHARE, P.M.
Locating New Facilities with Respect to Existing Facilities - AIIE Transactions - Vol. II - nº 4 - December, 1970
- (74) - REIS, IRVIN L. - ANDERSEN, GLEEN E.
Relative Importance Factors in Layout Analysis - the Journal of Industrial Engineering - Vol. XI - nº 4 - July-August, 1960
- (75) - RITZMAN, LARRY P.
the Efficiency of Computer Algorithms for Plant-Layout Management-Science - Vol. 18 - nº 5 - January, Part I, 1972
- (76) - ROBINSON, G. - CRESP, McCORMICK
the Pert Approach to Plant-Layout - Factory - September, 1965 - in (71)
- (77) - SALVESON, MELVIN E.
the Assembly Line Balancing Problem - the Journal of Industrial Engineering - Vol. 6 - nº 3 - May-June, 1955 - in (58)
- (78) - SEPPÄNEN, JOUKO J. - MOORE, JAMES M.
Facilities Planning with Graph Theory-submitted to Management Science, July, 1969
- (79) - SMITH, W.P.
Travel Charting - the Journal of Industrial Engineering - Vol. 6 - January, 1955 - in (74)

- (80) - STARR, MARTIN K.
Administração da Produção - Sistemas e Sínteses - Editora da Universidade de São Paulo, 1971
- (81) - STEINBERG, L.
the Blackboard Wiring Problem: a Placement Algorithm -
- Soc. Indust. and Appl. Math. Rev. - 1961 - in (32, 68)
- (82) - TONGE, FRED M.
Summary of a Heuristic Line Balancing Procedure - Management Science - Vol. 7 - nº 1 - October, 1960 - in(06,58)
- (83) - VOLLMANN, THOMAS E. - BUFFA, ELWOOD S.
the Facilities Layout Problem in Perspective - Management Science - Vol. 12 - nº 10 - June, 1966
- (84) - WAGNER, HARVEY M.
Principles of Operations Research - Prentice Hall Inc., 1972.
- (85) - WEIST, JEROME D.
~~Programas Heurísticos para Toma de Decisiones~~ Administración de Empresas - Año 3 - nº 30 - setiembre, 1972
- (86) - WENDELL, R.E. - HURTER JR., A.P.
Optimal Locations on a Network-submitted to Transportation Science - 1971 - in (25)
- (87) - WESOLOWSKY, G.O. - LOVE, R.F.
a Nonlinear Approximation Method for Solving a Generalized Rectangular Distance Weber Problem - Management Science - Vol. 18 - nº 11 - July, 1972
- (88) - WESOLOVSKY, G.O. - LOVE, R.F.
the Optimal Locations of New Facilities Using Rectangular Distances - Operations Research - January-February, 1971
- (89) - WHITE, JOHN A.
a Quadratic Facility Location Problem - AIIE Transactions - Vol. III - June, 1971

(90) - WILLOUGHBY T. - PATERSON W. - DRUMMOND G.

Computer - aided Architectural Planning - Operational Research Quarterly - Vol. 21 - n° 1

(91) - WIMMERT, R.J.

a Mathematical Method of Equipment Location - the Journal of Industrial Engineering - Vol. IX- n° 6 - November - December, 1958

(92) - WISHART, DAVID M.G.

a Queuing System with CHI^2 Service Time Distribution - the Annals of Mathematical Statistics - Vol. 27 - n° 3 September, 1956 - in (58)

(93) - ZOLLER, KLAUSS - ADENDORFF, KRISTIAN

Layout Planning by Computer Simulation - AIIE Transactions - Vol. 4 - n° 2 - June, 1972