

O COMPUTADOR E O PROJETO DO EDIFÍCIO

Francisco Ferreira Cardoso *

CARDOSO, Francisco Ferreira. O computador e o projeto do edifício. São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, 1987. 18 p. BT - PCC 08/87.

O computador vem ocupando atualmente um papel de crescente destaque na vida do homem moderno. Nesse contexto, também a área de projeto e, mais particularmente, a do projeto de edifícios, encontram nele uma ferramenta de inestimável valor. Seu atual nível de utilização nesse setor, no entanto, não tem se aproveitado de todo o potencial oferecido.

Um dos motivos que justificam tal fato está no desconhecimento, por parte dos projetistas, das reais possibilidades de emprego dos computadores na área do projeto de edifícios.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é contribuir para a organização dos conceitos necessários a tais empregos, bem como montar um painel sobre as perspectivas de utilização dessa poderosa ferramenta na área.

Projeto Assistido por Computador. Aplicações da computação na engenharia civil.
Aplicações da computação na arquitetura. Metodologias de projeto.

CARDOSO, Francisco Ferreira. The computer and the building design. São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, 1987. 18 p. BT - PCC 08/87.

The computer is playing an increasing role in the life of the modern man. With this point of view the design and more specifically the building design can make the computer a valuable tool. However, despite the potential of this equipment, it has not been yet properly used.

This happens because the designers do not know the actual possibilities of the use of computers for the building designs.

This technical bulletin aims to organize the concepts related with this possibilities and also to bring out the prospective uses of this powerfull tool in this área.

Computer-Aided Design. Computers applications in civil engineering. Computers applications in architecture. Design methods.

* Mestre em Engenharia e Professor Assistente do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.



Escola Politécnica - EPBC



31200052905

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	- 1
2. A COMPUTAÇÃO	- 1
2.1. Equipamentos	- 1
2.2. Programas	- 2
3. O PROJETO	- 2
3.1. Computador Pensante	- 2
3.2. Projeto do Edifício Assistido por Computador	- 3
4. SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE PROJETO	- 3
4.1. Fases do Processo	- 3
4.2. Etapas do Processo	- 3
5. SISTEMATIZAÇÃO PARA APLICAÇÕES DO COMPUTADOR	- 4
5.1. Modelo Iterativo	- 4
5.2. Modelo Gerativo	- 4
5.3. Modelo Direto	- 5
6. NÍVEIS DE INTERVENÇÃO DO COMPUTADOR NO PROCESSO DE PROJETO	- 5
6.1. Máquina Simuladora	- 5
6.2. Máquina Geradora	- 7
6.3. Máquina Otimizadora	- 7
6.4. Sistema Integrado	- 8
6.5. Sistema Especialista	- 8
7. APLICAÇÕES	- 9
7.1. Estudos Preliminares	- 9
7.2. Anteprojeto	- 9
7.3. Projeto Executivo	- 13
7.4. Orçamentos, Cronogramas e Especificações Técnicas	- 13
8. ASPECTOS DA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS COMPUTADORIZADOS NOS ESCRITÓRIOS DE PROJETO	- 13
8.1. Impactos na Prática Profissional	- 14
8.2. Definição e Escolha dos Programas	- 14
8.3. Definição e Escolha dos Equipamentos	- 14
8.4. Estratégia de Implantação	- 15
8.5. O Ensino do PEAC	- 15
9. CONCLUSÕES	- 16
10. BIBLIOGRAFIA	- 16

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem se verificado uma rápida popularização do uso dos computadores. Esse fato é devido ao grande desenvolvimento tecnológico do setor, havido, principalmente, a partir da década de 70.

Essa evolução permitiu um aumento acentuado na eficiência dos equipamentos, refletida, sobretudo, na sua miniaturização e na diminuição de seus custos.

Hoje em dia, os computadores, ou, mais especificamente, os microcomputadores, são uma ferramenta de trabalho disponível no dia a dia de inúmeras profissões, inclusive naquelas ligadas ao projeto.

Nesse campo, existem sistemas desenvolvidos para atuar nas mais diferentes áreas: projetos eletrônicos, mecânicos, automobilísticos, navais, hidráulicos, aeroespaciais, aeronáuticos, etc., e no projeto do edifício.

Apesar do potencial dos computadores no auxílio ao desenvolvimento de tais projetos, verifica-se um atraso no aproveitamento dos recursos que eles oferecem ao projeto do edifício; tal atraso decorre mais de um desconhecimento sobre as potencialidades do emprego da computação do que de uma característica própria deste tipo de projeto que inviabilize o uso de tal ferramenta.

Dentro desse contexto, o objetivo principal desse trabalho é contribuir para a maior divulgação da área do chamado Projeto do Edifício Assistido por Computador, conceituando seus principais aspectos e mostrando onde o computador pode ser utilizado como ferramenta no desenvolvimento do projeto do edifício.

As idéias nele apresentadas encontram-se melhor desenvolvidas em [1].

2. A COMPUTAÇÃO

Qualquer aplicação da computação depende, fundamentalmente, de dois aspectos:

- equipamentos ("hardware");
- programas ("software").

2.1. Equipamentos

Quando se pensa em aplicações na área do projeto os mais importantes aspectos relativos aos equipamentos são:

- desempenho técnico: traduzido pela velocidade de execução dos cálculos, pela capacidade de armazenamento de informações, pela velocidade de acesso a essas informações, etc.;
- mecanismos de interação com o projetista: traduzido pelo uso dos computadores em processamentos "on line", pelas interfaces de entrada-saída de dados, pelos re-

ursos gráficos oferecidos, etc.

Atualmente, o desenvolvimento tecnológico da área atingiu tal nível que esses aspectos já se encontram resolvidos. Por exemplo, a Figura 1 mostra a evolução do desempenho dos computadores nas últimas décadas, com a correspondente redução de custos. Já as Figuras 2 e 3 ilustram estações de trabalho de um micro e de um minicomputador, mostrando os recursos de entrada e saída de dados, principalmente os gráficos, e a facilidade de um processamento "on line".

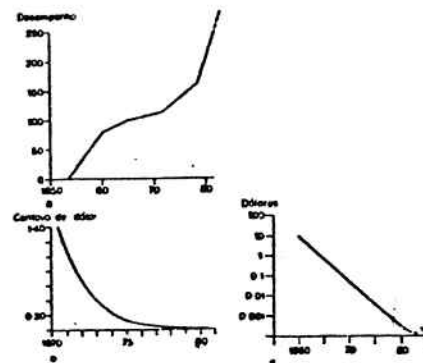


Figura 1 - Desenvolvimento dos equipamentos de computação:
a) Desempenho dos computadores ao longo do tempo.
b) Custo de uma memória de um bit ao longo do tempo, em centavos de dólar.
c) Custo, em dólares, de cada porta lógica ao longo do tempo (uma porta lógica corresponde a uma unidade lógica do computador) [2]



Figura 2 - Estação de trabalho de um microcomputador:
1) impressora gráfica; 2) disquete flexível de 5 1/4"; 3) monitor de vídeo; 4) dois controladores de disquetes; 5) teclado e microcomputador; 6) traçadora de mesa tamanho A3; 7) placa digitalizadora [3]

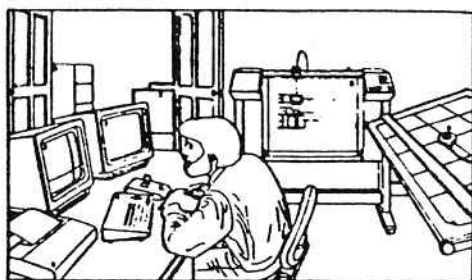


Figura 3 - Estação de trabalho de um microcomputador:
1) impressora gráfica; 2) monitor gráfico;
3) monitor para textos; 4) teclado; 5) "joystick";
6) minicomputador; 7) unidades de disco rígido;
8) traçadora de tambor tamanho A0; 9) mesa digitalizadora (4)

Assim, do ponto de vista dos equipamentos, já é possível se desenvolverem aplicações que tenham sucesso prático.

No entanto, resta ainda se analisar outro aspecto: os programas.

2.2. Programas

O uso dos computadores traz inegáveis vantagens no que se refere a aspectos como a velocidade de obtenção de respostas e a capacidade de em se considerar uma grande quantidade de informações simultaneamente.

No entanto, a sua utilização obriga a uma rígida estruturação do problema a ser estudado, já que os computadores atualmente existentes só permitem se processar informações e executar procedimento que estejam perfeitamente caracterizados.

Como consequência, deve-se antes definir bem o problema a ser resolvido, e mais, este deve ser explicitado num alto grau de detalhamento, para só então se "programar" o computador.

Assim, quando se quer utilizar o computador no projeto é fundamental se entender "como" projetar, para só então poder se "ensinar" o computador.

Aí está a grande questão: será que o ato de projetar pode ser perfeitamente caracterizado de modo a poder se transpor sua rotina para o computador?

Essa questão será discutida no próximo item.

3. O PROJETO

O Ato de projetar é uma atividade bastante complexa pois:

- pressupõe um processo criativo;
- trata de uma realidade que só vai existir no futuro;
- pressupõe o atendimento a um objetivo bem

definido, que o motivou;

- está sujeito a uma série de condições impostas e a recursos existentes (técnicos, científicos, econômicos, etc.).

Além disso, no caso particular do projeto do edifício, estão presentes uma série de condicionantes de caráter subjetivo, como os aspectos sociais, culturais, históricos, comportamentais, psicológicos, artísticos, etc.

Assim, existe uma dicotomia:

sistematização necessária	x	subjetividade presente
------------------------------	---	---------------------------

ou seja, ao mesmo tempo que o processo de elaboração de um projeto precisa ser tratado com um enfoque metodológico, de modo a sistematizá-lo, ele envolve características subjetivas dificilmente traduzíveis para um computador.

Na prática, existem duas maneiras de se resolver esse impasse:

- utilizando um "computador pensante";
- criando uma simbiose homem-computador, de forma a reunir as melhores características de ambos: capacidade, precisão e velocidade do computador com a habilidade do homem em tratar aspectos subjetivos.

3.1. Computador Pensante

O cérebro humano é uma máquina altamente sofisticada, que processa informações a partir de uma série de outras nela registradas, tratando com igual desempenho aspectos objetivos e subjetivos, racionais e emotivos. O que torna especial a "máquina cérebro" é sua capacidade de "processar" tais aspectos, aparentemente tão discrepantes, segundo algum padrão ainda bastante desconhecido. Assim, seguindo esse raciocínio, não há empecilho teórico para que a "máquina computador" venha a pensar.

Como é consenso entre vários autores, o ato de projetar é aprendido com a experiência, ou seja, quem projetou uma vez tende a projetar melhor numa próxima. Dessa maneira, e na mesma linha, o computador uma vez "pensante", poderá "aprender" a projetar.

Tais idéias, porém, não implicam na obtenção de melhores ou piores projetos, pois isso é função do repertório de dados manipulados, da maneira pela qual são relacionados (um "sistema de processamento" mais ou menos eficiente), como também sofre influência de todo um cabedal de informações previamente acumuladas (ao qual pode-se chamar de "cultura universal"), quer diretamente relacionadas ou não com o projeto, atuando, subjetivamente ou não, num conceito estético, numa melhor solução prática, numa inovação criadora.

Esses atributos, quer da "máquina cérebro", quer da "máquina computador", definirão a qualidade do projeto, resultando em soluções medíocres ou geniais, criadas por cérebros ou

por computadores. Apenas o tempo, já que as pesquisas de "máquinas pensantes", no campo da Inteligência Artificial, ainda engatinham, confirmará tais considerações.

A continuidade dessa questão demandaria páginas e páginas de reflexões, e não seria conclusiva, fugindo aos propósitos desse trabalho.

3.2. Projeto do Edifício Assistido por Computador

Apesar do "computador pensante" ser ainda uma coisa para o futuro e que, para alguns, nunca será alcançado, existe um outro caminho para se resolver o impasse apresentado: unir-se as melhores características do homem às do computador, criando uma "unidade resolvidora de problemas", que trabalhe melhor do que cada um isoladamente.

Essa idéia traduz a essência do chamado Projeto Assistido por Computador - PAC, do inglês "Computer - Aided Design - CAD". O PAC se especializou nos diversos tipos de projetos, dando origem ao chamado Projeto do Edifício Assistido por Computador - PEAC, do inglês "Computer - Aided Building Design - CABD".

Assim, é fácil perceber-se que a sistematização do projeto não leva obrigatoriamente a uma restrição do mesmo, pois pode criar um grande espaço onde o homem e a máquina trabalhem de forma conjunta, cada qual cumprindo o seu papel. O computador não pode ser considerado uma máquina que tudo faz, e também o projeto não pode ser tratado de forma rígida sem a participação do homem quando ela se torne necessária. Deve-se evitar cair num esquema passo a passo, repleto de algoritmos e de métodos matemáticos, uma limitação da máquina não-pensante.

Ao homem cabe comandar todo o processo e ter o auxílio do computador quando conveniente.

É com essa perspectiva que será desenvolvido esse trabalho.

4. SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE PROJETO

Das considerações anteriores conclui-se que a sistematização do processo de projeto só pode se dar até um certo ponto, e que, portanto, deve-se levar em conta essa limitação quando se elaboram programas para a área.

Feita essa ressalva, pode-se representar o processo segundo o modelo ilustrado na Figura 4.

Analisando-se o modelo proposto, vê-se que o processo deve ser tratado em dois níveis:

- segundo a profundidade com que as informações são consideradas, que serão chamadas de fases do processo;
- segundo os aspectos lógicos que levam à to

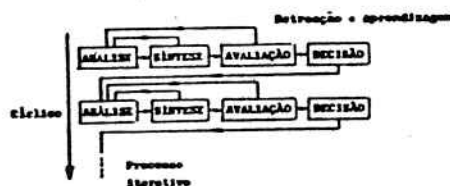


Figura 4 - Modelo do processo de projeto

mada de decisão, que serão chamados de etapas do processo.

4.1. Fases do Processo

Quando se inicia a elaboração de um projeto, as informações disponíveis ainda estão dispersas.

No entanto, à medida que se vai aprofundando no problema, estas vão sendo cada vez mais organizadas e ampliadas e a solução vai sendo melhor caracterizada.

Apesar desse processo ser contínuo, existe uma tradição de classificá-lo em três momentos de sua existência, para os quais as informações são documentadas e apresentadas para o "dono" do projeto.

A esses momentos correspondem as fases de:

- estudos preliminares;
- anteprojeto ou projeto básico;
- projeto executivo.

4.2. Etapas do Processo

Como já discutido, a medida que o projeto evolui ele converge para uma solução final bem caracterizada.

No entanto, para que isso aconteça, a todo instante é preciso se tomarem decisões a partir das informações existentes, de modo a se gerarem outras mais completas e compatíveis com o objetivo desejado.

Esse mecanismo de tomada de decisão pode ser caracterizado por três etapas:

- **Análise:** o aspecto que se quer resolver é identificado; o objetivo a ser alcançado é definido; os requisitos de desempenho são explicitados; as informações pertinentes são coletadas, confrontadas e classificadas.
- **Síntese:** são formuladas soluções potenciais para partes do aspecto a se resolver ou para o todo; essas soluções são julgadas frente às informações da etapa de análise; são definidas soluções consistentes e viáveis.
- **Avaliação:** verifica-se se as soluções obtidas na etapa de síntese respondem, e com que desempenho, às necessidades que se quer atender.

O mecanismo formado por essas três etapas

apresenta ainda outras características:

- é cíclico: as etapas de análise-síntese - avaliação vão se desenvolvendo ciclicamente à medida que se vai aprofundando no nível de detalhamento do projeto através de suas diferentes fases;
- pressupõe um mecanismo de retroação: informações obtidas numa etapa podem levar a se repensar etapas anteriores;
- leva a um processo de aprendizagem: novas informações fazem com que o projetista reconsidere as anteriores;
- é iterativo: como consequência das características anteriores, o processo tende a convergir para uma solução satisfatória para o aspecto em estudo.

Essas características encontram-se ilustradas na Figura 5.

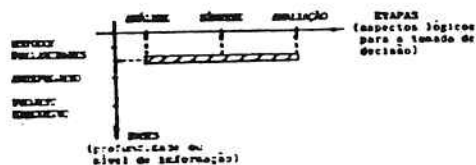


Figura 5 - As características do processo de decisão

5. SISTEMATIZAÇÃO PARA APLICAÇÕES DO COMPUTADOR

O modelo exposto no item anterior procurou representar o processo normalmente desenvolvido por um projetista.

No entanto, no caso do PEAC esse modelo precisa sofrer algumas adaptações, de modo a compatibilizá-lo com as limitações do computador, já apresentadas.

Assim, pode-se elaborar três novos modelos derivados do anterior:

- modelo iterativo;
- modelo gerativo;
- modelo direto.

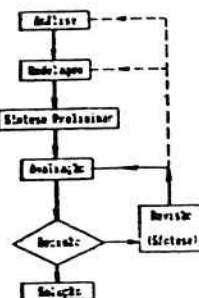


Figura 6 - Modelo iterativo [1]

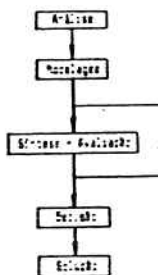


Figura 7 - Modelo gerativo [1]

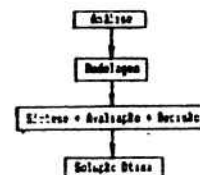


Figura 8 - Modelo direto [1]

5.1. Modelo Iterativo

O modelo iterativo é o mais comumente empregado para a resolução dos diversos aspectos envolvidos num projeto e é o que mais se aproxima ao modelo anteriormente apresentado. Ele prevê que a obtenção da solução se dá por meio da repetição de uma série de etapas, segundo o esquema da Figura 6.

As características fundamentais do modelo iterativo são:

- após a Análise e Modelagem do aspecto em estudo, é proposta uma solução, ou feita uma Síntese Preliminar;

- essa solução inicial depende das experiências do próprio projetista, de projetos semelhantes anteriormente desenvolvidos por outros projetistas ou, simplesmente, é arbitrária a partir dos dados da Análise anteriormente feita;

- a etapa de Avaliação baseia-se num conjunto de características de desempenho específicas;

- a partir dos resultados das avaliações, e quando se conclui que essas características não estão sendo atendidas a contento, a proposta sofre uma Revisão (nova Síntese) e retorna à Avaliação, num processo cíclico;

- essa Revisão baseia-se nos mesmos critérios adotados na Solução Preliminar, bem como nos resultados obtidos com as avaliações feitas, denotando um sentido de aprendizagem, e pode alterar, inclusive, considerações feitas na etapa de Análise e na Modelagem do problema;

- quando se obtém uma solução que atenda às características de forma satisfatória, o ciclo se interrompe, resultando na Solução para o aspecto em estudo.

5.2. Modelo Gerativo

Conforme já visto, o modelo iterativo separa conceitualmente as etapas de Avaliação e de Revisão (Síntese), e a solução é obtida através de um processo cíclico e de aprendizagem (novas sínteses são feitas levando-se em conta as características das anteriores).

Já o modelo gerativo, apesar de cíclico, não denota esse sentido de aprendizagem, uma vez que as sínteses se dão a partir de regras previamente definidas, que em absoluto consideram os resultados das sínteses anteriores.

Segundo essas regras, as soluções obtidas para o aspecto do problema em estudo sempre atendem às características impostas de desempenho, implicando na união das etapas de Síntese e Avaliação numa única, conforme ilustra a Figura 7.

As características principais desse modelo são:

- a Modelagem do aspecto em estudo pressupõe a definição de um conjunto de regras que devem ser obedecidas para a obtenção das soluções (sínteses);
- ao serem aplicadas, essas regras permitem a geração cíclica de uma série de soluções;
- as soluções já são avaliadas na medida em que são geradas, sendo que todas atendem às características mínimas de desempenho, já subentendidas nas próprias regras;
- o número de soluções geradas deve ser finito;
- a Decisão ou escolha da Solução final é feita segundo critérios julgados adequados (objetivos ou subjetivos) e se dá externamente, após se encerrar o processo cíclico de geração.

5.3. Modelo Direto

Os modelos anteriores conduzem a soluções que atendem às características de desempenho especificadas, mas não produzem necessariamente a melhor solução. No modelo direto, as etapas de Síntese e Avaliação e a própria Decisão são fundidas numa única, objetivando-se atingir essa solução ótima, conforme ilustra a Figura 8.

Como se vê, o modelo direto não leva em conta as características cíclica e de aprendizagem. Em vez disso, supõe que a resolução do aspecto em estudo pode ser obtida numa única etapa, e mais, que ela corresponderá a Solução Ótima.

As características principais desse modelo são:

- a Modelagem do aspecto em estudo deve ser tal que possa traduzir numa única etapa a lógica subentendida nas etapas de Síntese e Avaliação;
- além disso, a própria Decisão pela melhor solução precisa estar nela representada, e deve, obrigatoriamente, levar à melhor solução, ou a sua solução ótima.

6. NÍVEIS DE INTERVENÇÃO DO COMPUTADOR NO PROCESSO DE PROJETO

Como já foi visto, o PEAC baseia-se, fundamentalmente, na utilização do computador como ferramenta que facilite o desenvolvimento dos projetos.

Quanto mais complexas, ou quanto mais essas ferramentas forem utilizadas, ou ainda dependendo da finalidade de seu emprego, mais importante é o papel que os computadores assumem, ou maior é o seu nível de intervenção.

Além disso, esse nível depende também da maneira pela qual estão organizadas as etapas do processo de projeto, ou seja, segundo o modelo pelo qual essas podem ser representadas, conforme discutido no item anterior.

Nesse sentido, os computadores podem atuar como:

- armazenador/fornecedor de informações;
- processador analítico;
- máquina simuladora;
- máquina geradora;
- máquina otimizadora;
- sistema integrado;
- sistema especialista.

A possibilidade dos computadores armazenarem informações, bem como a de processarem cálculos analíticos, são suas características primordiais, e não precisam merecer atenção especial nesse trabalho.

Já os outros níveis de atuação são próprios do PEAC, e serão discutidos a seguir.

6.1. Máquina Simuladora

Como visto, a resolução dos diversos aspectos de um problema de projeto normalmente segue o modelo ilustrado na Figura 6.

Os modelos assim elaborados são chamados de modelos de simulação e, através deles, pode-se manipular o resultado da Síntese realizada, estudando seu comportamento frente às mais diversas solicitações.

As simulações encontram um grande campo de aplicação no projeto dos edifícios, fornecendo ao projetista informações mais completas para que ele tome suas decisões de maneira mais segura. Nelas os computadores atuam tipicamente como ferramenta, viabilizando avaliações que dificilmente seriam realizáveis devido à falta de recursos.

Os exemplos de aplicações do PEAC segundo esse modelo são inúmeros.

Um dos mais populares é utilizar o computador como uma "prancheta eletrônica", substituindo, de forma mais eficiente, o ferramental tradicional de desenho. Nelas o computador simula as características de formas das soluções obtidas (uma planta de arquitetura, um detalhe de fixação, um componente construtivo, etc.) da mesma maneira que um projetista, ao esboçá-las ou desenhá-las graficamente. A diferença é que o projetista, em vez de desenhar da maneira tradicional, faz isso diretamente no computador, através do uso de equipamentos apropriados de comunicação. O resultado ou a "aparência" de seus desenhos é apresentado no monitor de vídeo para que se possam fazer as alterações necessárias. Quando o desenho estiver pronto, ele será reproduzido em papel por meio de uma traçadora gráfica.

A grosso modo, as características gerais desses sistemas são:

1. A relação homem e máquina é altamente interativa, obrigando à utilização de equipamentos adequados de comunicação: mesa digitalizadora, traçadora gráfica, monitor de vídeo de alta resolução gráfica, etc.

Esses equipamentos reunidos formam as chamadas estações de trabalho ("workstations") (ver Figuras 1 e 2).

Os programas baseiam-se no uso de "menus" de opções, que são apresentados ao operador no monitor de vídeo, ou através de "máscaras" superpostas a teclados especiais ou à placa digitalizadora, como ilustra a Figura 9.

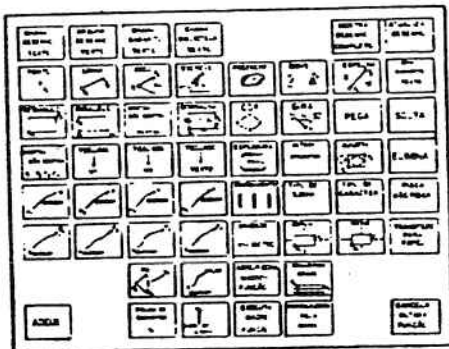


Figura 9 - "Menu" de opções [5]

2. Possuem recursos gráficos para a construção dos desenhos, executados através da movimentação de um cursor no monitor de vídeo, normalmente comandado pela placa digitalizadora:

- construção de linhas com traçados e espessuras diversas;

- traçado de circunferências e seus arcos;

- traçado de cônicas e seus arcos (elipse, hipérbole, parábola);

BT - PCC 08/87

- traçado de curvas polinomiais (Bézier, spline);

- traçado de polígonos (retângulos, pentágonos, etc.);

- traçado de hachuras, eixos, etc.;

- cotação e normografia;

3. Possuem recursos para a manipulação de desenhos:

- deslocamentos;

- rotações;

- simetria ou espelhamento;

- duplicação;

- mudanças de escala;

- correções de erros;

- armazenamento e recuperação de desenhos;

- consulta a arquivo de desenhos previamente feitos;

- etc.

4. Possuem recursos adicionais, tais como:

- recortes ou "clipping";

- janelamento;

- decomposição do desenho em diferentes níveis;

- etc.

Frente a essas características, o uso dos computadores para a execução de desenhos pode trazer as seguintes vantagens:

1. Pode-se utilizar uma biblioteca de elementos padrões e de detalhes construtivos que são automaticamente reproduzidos, conforme ilustram as Figuras 10 e 11.



Figura 10 - Desenhos feitos com o sistema ARK-2 a partir de uma biblioteca de elementos padrões [14]

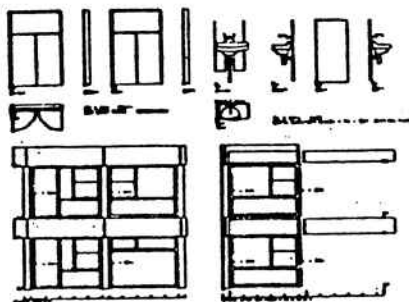


Figura 11 - Uso da biblioteca de detalhes construtivos do sistema OXSYS/BDS [6].

2. Pode-se reproduzir um mesmo desenho em diferentes escalas.

3. Pode-se subdividir o desenho em vários níveis superpostos, cada um com uma determinada característica, que podem ser combinados para se obterem diferentes desenhos finais, como ilustra a Figura 12.

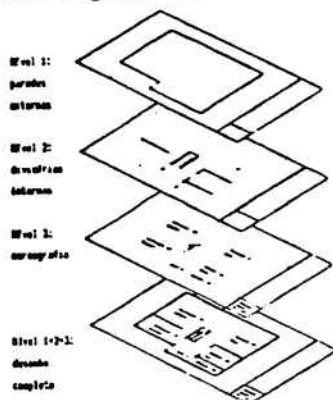


Figura 12 - Composição de um desenho final a partir de diferentes níveis [7].

4. Possibilita que em um único desenho sejam representados vários graus de detalhamento, através de níveis hierárquicos, como mostra a Figura 13.

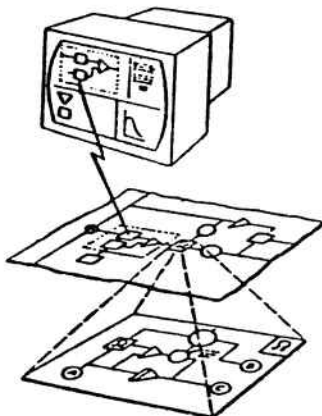


Figura 13 - Composição hierárquica de desenhos [8].

5. As correções e os novos desenhos são feitos de forma bastante simplificada.

Programas com essas características já são disponíveis no Brasil, tanto para mini quanto para microcomputadores.

Além das "pranchetas Eletrônicas", são também comuns programas para avaliações diversas e, ainda, aplicações que levam em conta a presença de variáveis probabilísticas nas simulações. Para esses casos foram desenvolvidas algumas linguagens de computação específicas, que incorporam recursos para lidar com essas variáveis, simplificando a tarefa de programação.

6.2. Máquina Geradora

A Figura 7 ilustra um outro modelo que representa o processo de projeto, o gerativo.

Como já visto, o princípio nele adotado é bastante simples. Quando se tem um problema, o que se quer obter é a sua solução. Assim, por que não obter todas as possíveis soluções, para então testá-las e ver se realmente respondem ao problema?

Em termos práticos, uma postura como essa só se torna viável quando a obtenção e avaliação dessas soluções se derem de forma bastante rápida. Isso é conseguido com o emprego dos computadores, que passam a atuar como máquina geradora de soluções viáveis e avaliadas.

Isso permite que os modelos gerativos produzam uma enumeração exaustiva de todas as possíveis soluções, ou ao menos de grande parte delas, dentre as quais se escolhe (m) a (s) melhor(es) frente a um ou mais critérios objetivos ou subjetivos quaisquer. São também chamados de modelos descritivos.

Além desse tipo de modelo gerativo, baseado na enumeração exaustiva das soluções, podem também ser elaborados outros, a partir dos quais as soluções sejam geradas de forma aleatória. Uma vez geradas, elas são testadas, sendo aceitas somente quando estiverem em consonância com as restrições impostas.

6.3. Máquina Otimizadora

Conforme foi ilustrado na Figura 8, o modelo direto do processo de projeto pressupõe que numa única etapa o aspecto em estudo seja resolvido, e mais, que a solução obtida seja a solução ótima.

Esse tipo de modelo só é viabilizado com o emprego dos computadores, que atuam como máquina otimizadora.

A Modelagem feita pode levar a modelos que, quanto a sua objetividade, podem ser determinísticos ou heurísticos.

No primeiro caso, eles levam a uma única e correta solução, sendo também chamados de modelos de otimização.

Assim, a Modelagem deve ser tal que o modelo resultante leve à obtenção da solução ótima do problema.

Os procedimentos subentendidos nesses modelos baseiam-se em métodos numéricos, tais como:

- Programação Linear e Não-Linear;
- Análise de Redes;
- Programação Dinâmica.

Esses métodos são estudados pela Pesquisa Operacional.

Já nos modelos heurísticos não existe a garantia de que a solução obtida seja a ótima. Eles não se baseiam na aplicação de métodos numéricos oriundos das técnicas de programação matemática, mas sim de procedimentos mais "inteligentes", ligados à Inteligência Artificial.

6.4. Sistema Integrado

Em qualquer um dos níveis anteriormente apresentados, o papel do computador é apenas o de uma ferramenta, auxiliando na resolução de aspectos isolados do processo. Assim, a grande limitação está em nenhum deles tratar o projeto como um todo, tendo o computador como um elemento integrador, tanto a nível de sequência de decisão, quanto ao longo das suas diferentes fases.

Nesse sentido, existem aplicações que abarcam todas as atividades relativas ao projeto do edifício. Essas aplicações são chamadas de Sistemas Integrados de PEAC.

São dois os aspectos fundamentais que devem constar num modelo que represente um Sistema Integrado de PEAC, conforme ilustra a Figura 14:

- os componentes básicos do sistema;
- os fluxos de comunicação existentes.

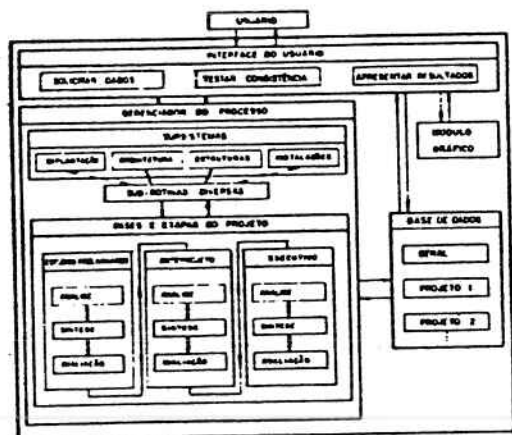


Figura 14 - Modelo para Sistema Integrado de PEAC [1].

Os componentes básicos do sistema são:

- a interface do usuário e o módulo gráfico;
- a base de dados;
- o gerenciador do processo.

Os principais fluxos envolvidos são:

- usuário-computador-usuário;
- subsistema-base de dados, ou gerenciador - base de dados;
- interno de cada subsistema;
- entre os diferentes subsistemas.

6.5. Sistemas Especialistas

Os sistemas Especialistas-SE, ou "Expert Systems", são atualmente uma das mais avançadas linhas de pesquisa da ciência da computação. De forma resumida, eles são programas "inteligentes" que utilizam procedimentos por inferências para solucionar problemas que exijam conhecimento especializado numa determinada área.

Procuram transformar o computador num "especialista" num determinado assunto. Para tanto, deve-se conseguir traduzir de forma simbólica o conhecimento humano sobre esse assunto, de maneira a poder se "ensinar" o computador. A chamada Engenharia do Conhecimento é o subcampo da Inteligência Artificial que estuda as maneiras de se fazer essa tradução.

Nos SE, o conhecimento é fundamentalmente tra
duzido por meio da chamada "lógica formal"
("logic-based representation"), com a qual
se montam sentenças utilizando operadores co
mumente empregados nos programas normais: "se",
"então", "ou", e "e". Além disso eles devem
ser capazes de incorporar e de processar in
formações incertas e incompletas. Eles fazem
isso através da chamada "lógica probabilísti
ca" e dos "fatores de incerteza".

A sentença a seguir é um exemplo dessas técnicas:

"Se numa parede exterior de alvenaria não for aplicado revestimento

ou no revestimento ocorrem fissuras acentua-
das,

e não havendo pintura adequada,

então deverá ocorrer penetração de água em mais de 50% dos casos".

O exemplo anterior permite perceber a complexidade envolvida na concepção de um SE, já que ele deve ser capaz de montar sentenças como a ilustrada e, a partir dela, inferir, de forma às vezes não totalmente segura, uma conclusão própria. ("deverá ocorrer penetração de água em mais de 50% dos casos").

Sem dúvida o estudo do uso dos computadores como SE de PEAC será um dos campos que mais se desenvolverá nos próximos anos, sobretudo pelo "sentido de inteligência" com que tratam o problema. No entanto as aplicações hoje existentes para o projeto de edifícios encontram-se ainda em nível de pesquisa e não serão discutidas nesse trabalho.

7. APLICAÇÕES

Nos itens anteriores se procurou conceituar o papel que os computadores podem ter quando participantes no processo de projeto. Face às considerações feitas, nesse item serão apresentadas possíveis aplicações dos computadores como ferramenta.

Estas serão organizadas segundo as diferentes fases do processo.

7.1. Estudos Preliminares

Nessa fase, são possíveis aplicações nos estudos de viabilidade, na estruturação do problema, na organização do programa do projeto e do correspondente organograma funcional.

Nos estudos de viabilidade são principalmente empregados modelos diretos e iterativos de simulação.

Nos modelos diretos procura-se otimizar o lucro do empreendimento; nos iterativos existe maior flexibilidade na modelagem, já que não é necessária a definição de uma função a ser maximizada (ou minimizada). Em ambos os casos são principalmente considerados os aspectos financeiros (taxa de retorno, fluxo de caixa, custos, preços de venda, etc.) e alguns aspectos técnicos, sobretudo os relacionados com as leis de zoneamento e os códigos de edificações (coeficiente de aproveitamento, taxa de ocupação, gabaritos, áreas verdes, vagas de garagem, etc.).

Os modelos iterativos são mais úteis por permitirem a exploração de uma grande gama de soluções alternativas, que são prontamente avaliadas. No entanto, ambos são restritos, na medida em que minimizam a importância dos aspectos técnicos (versatilidade, gastos energéticos, conforto, etc.).

Na estruturação de problemas utiliza-se o computador para relacionar, de forma coerente, os diferentes fatores envolvidos no projeto. Baseiam-se em modelos diretos, e partem das chamadas matrizes de interações, pelas quais se expressam as "importâncias" das ligações entre os diversos ambientes (ver Figura 15).

Uma evolução destes são os programas que auxiliam na organização do programa do projeto, para os quais os valores das matrizes são associados a distâncias, obtendo-se soluções como a apresentada na Figura 16.

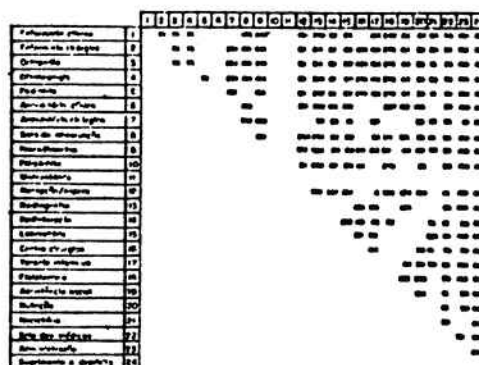


Figura 15 - Matriz de interações [9].



Figura 16 - Saída de um programa de projeto através do computador [9].

Aplicações que tratam do organograma funcional evoluem dos anteriores, incorporando a elas as necessidades de área de cada ambiente. Não se preocupam ainda com a forma do edifício.

7.2. Anteprojeto

Esta é a mais importante das fases, pois dela resultarão as principais características qualitativas e quantitativas do projeto.

As aplicações são inúmeras: nos estudos de implantação, na definição do projeto esquemático e na avaliação de desempenho de alternativas.

Nos estudos de implantação, os computadores auxiliam nos aspectos topográficos (levantamentos planialtimétricos, movimentação de terra, estudos de drenagem, etc.) e nos aspectos relativos à orientação da construção (visibilidade, insolação, sombreamento, etc.). Tais aplicações são bastante úteis, e são elaboradas utilizando-se o computador como máquina iterativa.

As Figuras 17 e 18 ilustram aplicações nessa fase.

Já as aplicações que auxiliam na definição do projeto esquemático são mais criticáveis, justamente por lidarem com uma série de informações de caráter subjetivo.

Basicamente, elas partem de informações ex -

pressas por uma matriz de interações, acrescida de restrições geométricas entre os diversos ambientes (proximidade, posicionamento relativo, dimensões mínimas e máximas, relações de forma, orientação etc.). Assim, deixam de considerar restrições fundamentais como: estruturais, das instalações e serviços, de conforto, funcionais, estéticas, de custo, legais, etc.



Figura 17 - Levantamento planialtimétrico [6].

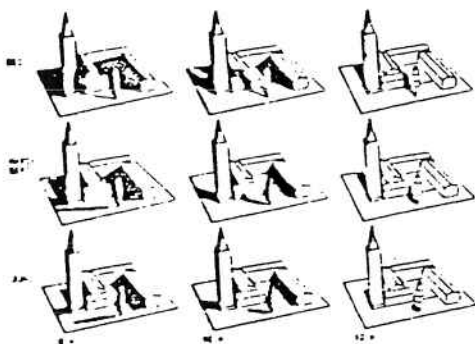


Figura 18 - Exemplo de avaliação de sombreamento [10].

Essas limitações são consequência do problema envolver considerações de difícil tratamento analítico, sobretudo por que:

1. É muito difícil representar a estrutura física de uma edificação através de uma base de dados, pois ela envolve uma quantidade muito grande de informações geométricas.
2. O problema é do tipo mal definido, o que implica numa dificuldade em se explicitarem as restrições impostas e os objetivos a serem alcançados.
3. As restrições adotadas são normalmente simplificadas devido às dificuldades matemáticas em considerá-las de forma mais completa.

4. Os próprios objetivos são também simplificados, diminuindo mais ainda a sua capacidade de refletir, de forma precisa, a importância dos diferentes critérios de projeto.

5. A solução do problema apresenta dificuldades especiais, já que envolve sobretudo aspectos não-determinísticos.

6. O universo das possíveis soluções é muito grande para ser explorado de forma completa, pois cresce de forma fatorial. Por exemplo, existem mais de 3,6 milhões de possibilidades de se disporem 10 ambientes em 10 locais pré-fixados.

Apesar dessas limitações existem aplicações desenvolvidas baseadas nos três modelos: iterativo, gerativo e direto. No entanto, as mais significativas são as que utilizam um modelo direto heurístico. Nesse caso, são utilizadas duas diferentes técnicas.

A primeira delas baseia-se no princípio de se chegar à melhor solução através de melhoramentos sucessivos. Partem de uma solução arbitrária pelo projetista ou gerada randomicamente e, a partir dela, são feitas trocas de posições entre ambientes. Se a troca levar a uma melhora no critério de desempenho, ela é efetivada. Caso contrário, volta-se à posição anterior. Através de algoritmos eficientes chega-se rapidamente a boas soluções.

Para se entender melhor a lógica adotada nesses procedimentos é interessante compará-las ao problema enfrentado quando se quer atingir o pico de um morro partindo-se de um ponto qualquer, como ilustra a Figura 19.

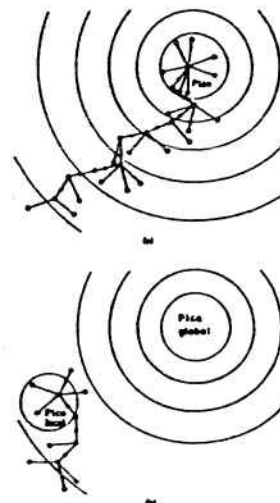


Figura 19 - Procedimento via melhoramentos sucessivos:
a) caminhar até se atingir o pico do morro;
b) chegada a um pico "local" e não "global" [6].

Um algoritmo possível de ser adotado nesse caso é partir de onde se está e dar passo numa direção qualquer. Se nessa nova posição se estiver numa altura maior, repetir o processo; caso contrário, retornar à posição anterior, e tentar uma nova direção. O problema termina quando, numa dada posição, não se consegue dar qualquer passo que leve a um ponto mais alto (Figura 19.a).

Esse algoritmo, no entanto, não funciona caso ocorram picos "locais" que não sejam o pico "global", ou pico mais alto (Figura 19.b).

Assim, os procedimentos via melhoramento de vem ser capazes de se comportar de forma análoga à anteriormente apresentada, com o cuidado de evitar a fixação num pico local, que aparentemente seja a solução do problema.

Pode-se melhorar as características heurísticas desse procedimento, utilizando como analogia o exemplo anterior, se em vez de se caminhar para um ponto qualquer, dirigir-se para aquele que fornecer o maior desnível, ou seja, ao qual corresponder o maior melhoramento.

Esse conceito de se procurar o "melhoramento ideal" ("best improvement") dentre as possíveis alternativas foi aplicado por inúmeros pesquisadores como técnica de resolução do problema de arranjo físico, ou projeto esquemático.

Basicamente essas técnicas partem de uma proposta para o arranjo, para a qual é calculada a função objetivo "custo total de circulação". Mantidas as restrições impostas, são então testadas todas as trocas possíveis para um determinado ambiente, sendo feita aquela que corresponder a um maior ganho. E assim o procedimento continua fazendo as trocas vantajosas, até um determinado ponto no qual não se obtenham mais ganhos.

Esse procedimento é heurístico, na medida que o resultado obtido não é necessariamente o ótimo, pois é função do arranjo inicialmente feito.

Apresenta o inconveniente de poder se fixar num ótimo local. Apesar disso, procedimentos baseados nesses conceitos dão resultados bons com tempos de processamento razoáveis, principalmente quando se parte de um arranjo inicial próximo da solução ótima.

A segunda técnica obtém a solução através de um procedimento construtivo. Parte do ambiente mais fortemente relacionado com os demais, que é colocado no centro do arranjo. A seguir, dispõe-se o segundo ambiente, que é o mais relacionado ao primeiro. Então, dispõe-se o terceiro, que é o mais relacionado aos anteriores já dispostos, e assim sucessivamente, mas sempre obedecendo às restrições impostas e sempre colocando um novo ambiente na periferia dos demais.

A Figura 20 ilustra uma aplicação desse tipo de procedimento.

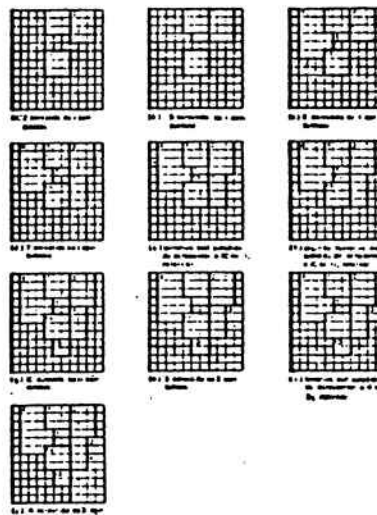


Figura 20 - Procedimento construtivo [6].

Ambas as técnicas, por serem heurísticas, chegam a soluções boas, mas não obrigatoriamente à ótima.

Apesar de terem sido desenvolvidas várias aplicações segundo essas técnicas elas apresentam uma série de deficiências. Por exemplo, elas dão muita importância ao aspecto "circulação", traduzido por meio das matrizes de interações. Além disso, as limitações impostas nessas formulações podem levar à obtenção de soluções "padronizadas" e mais, ao se considerarem apenas as restrições geométricas pode-se chegar a soluções econômicas, técnicas e funcionalmente insatisfatórias.

Assim, tais aplicações devem prever um elevado grau de interação com o projetista, para que este possa interferir no processo, impondo restrições de caráter subjetivo ou outras dificilmente modeladas.

Contrapondo-se a essas aplicações, aquelas que auxiliam na avaliação de desempenho de alternativas são de utilidade incontestável, já que oferecem ao projetista um conjunto completo de informações sobre seu projeto, obtidas através de avaliações neutras e racionais, permitindo que ele tome suas decisões com maior propriedade.

São fundamentalmente baseadas no modelo iterativo, através do qual o computador é utilizado para simular o funcionamento dos mais diferentes aspectos do projeto. Além disso, pressupõem um trabalho altamente interativo.

As aplicações desenvolvidas são inúmeras, avaliando aspectos ambientais, técnicos diversos, funcionais, de custo, legais, visuais, etc.

Desses, merecem destaque as avaliações ambientais e visuais.

Os aspectos ambientais podem ser climáticos (avaliações térmicas, energéticas, de insolação e sombreamento, de ventos, etc.), de iluminação (natural e artificial), acústicos, etc.

Exemplificando, o objetivo de certas aplicações desenvolvidas na área é utilizar o computador como ferramenta nas avaliações do comportamento térmico do interior de um edifício em projeto.

Assim, elas devem levar em conta que nele existem fontes produtoras e consumidoras de calor (pessoas, motores, lâmpadas, etc.) e que ele troca calor com o exterior através de suas superfícies, como as trocas por radiação (janelas e vãos), por condução (paredes, pisos e coberturas) e por convecção (frestas, entradas de ar).

Com estas avaliações, procura-se determinar onde atuar a nível de anteprojeto de forma a tornar os ambientes adequados sob o ponto de vista do conforto térmico.

Tais aplicações baseiam-se sobretudo em dois tipos de modelos: estáticos e dinâmicos.

Os modelos estáticos são utilizados em cálculos mais simples, e não englobam o aspecto temporal que esse tipo de problema apresenta. São quase sempre uma transposição para o computador das rotinas simplificadas feitas manualmente.

Já os modelos dinâmicos apresentam tratamento matemático bem mais complexo, e tem nitidamente um caráter de modelo de simulação.

Assim, eles permitem que as avaliações sejam feitas para diversas horas ao longo do dia, bem como para diversos dias ao longo do ano, além de permitirem modificações em parâmetros como orientação, forma, aberturas, tipos de superfícies, materiais empregados, equipamentos presentes, tipo de ocupação, etc. A principal vantagem dos modelos dinâmicos serem desenvolvidos com o auxílio do computador é a facilidade que este apresenta em lidar com a grande quantidade de dados envolvidos.

Na área de avaliações energéticas, o objetivo é utilizar o computador como ferramenta no cálculo e na avaliação de alternativas de projeto, sob o ponto de vista do consumo de energia relativo aos aspectos térmicos.

Assim, as aplicações pressupõem uma avaliação térmica anterior, apresentam quase sempre um caráter dinâmico, já que precisam de terminar as cargas térmicas a serem compensadas pelos equipamentos ao longo do dia e do ano, bem como simular a operação dos vários equipamentos do sistema de condicionamento de ar, em resposta a essas cargas.

O que se procura então calcular é o perfil de demanda de energia.

As avaliações acústicas, apesar de serem as menos realizadas na prática, tem também importância na definição do anteprojeto.

Normalmente, elas só são feitas em edifícios onde a presença de ruído é característica típica, como em indústrias pesadas, mas devem também ser executadas em edifícios onde as separações entre os ambientes empreguem materiais com propriedades acústicas deficientes. Esse é o caso, por exemplo, de escritórios nos quais a demarcação dos ambientes é feita por meio de divisórias a meia altura, onde o barulho dos equipamentos e máquinas de escrever, ou de conversas em geral, podem acabar se propagando por todo o pavimento.

Outro importante campo de aplicação é no projeto de edifícios onde a acústica seja um aspecto fundamental, como teatros, cinemas, auditórios, salas de concertos ou de espetáculos em geral, etc.

A Figura 21 ilustra a saída de programa que realiza avaliações do ponto de vista de iluminação natural.

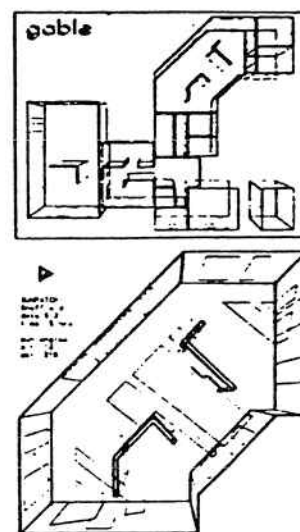


Figura 21 - Avaliações da iluminação natural de ambientes (11).

As avaliações visuais compreendem programas com visão bi ou tridimensional. No primeiro caso, tem-se as "pranchetas eletrônicas". No segundo, programas que permitem a visualização do edifício em projeto, inclusive com o efeito cinematográfico de "vôo" ao seu redor, levando-se em conta toda a sua cercania. São, portanto, ferramenta de utilidade indiscutível.

A Figura 22 ilustra um exemplo de uma aplicação com essas características.

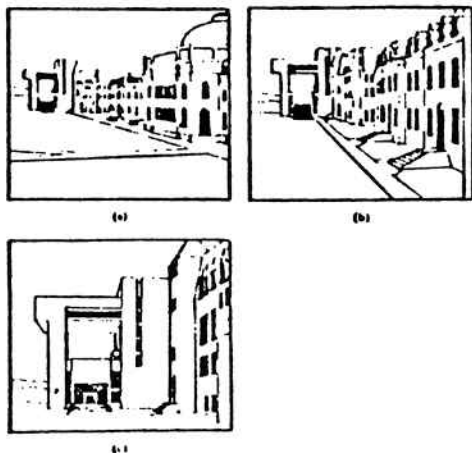


Figura 22 - "Passeio" em torno de um edifício em projeto localizado entre outros já existentes [12].

7.3. Projeto Executivo

As aplicações a nível de projeto executivo exigem características computacionais e pressupõem modelagens diferentes das empregadas até o anteprojeto.

Nelas, a precisão e o detalhamento das informações encontram-se no mais alto grau de desenvolvimento. Assim, necessitam de uma base de dados bem estruturada e de uma perfeita organização do fluxo de informações entre os diversos projetos complementares do edifício (estrutura, instalações eletro-mecânicas e hidráulico-sanitárias, etc.).

A organização da base de dados é uma das áreas do PEAC que requer maior conhecimento da ciência da computação (sistemas operacionais, linguagens, capacidades de armazenamento, velocidades de acesso, etc.) por envolverem uma enorme quantidade de informações (estima-se que cada metro quadrado de construção requer 2 Kbytes de informações para ser caracterizado).

Além disso, existem informações de caráter geral, que servem para diversos projetos (informações sobre materiais, componentes e sistemas construtivos, sobre leis, normas, códigos, etc.; sobre projetos já desenvolvidos; etc.), e outras específicas de cada projeto (geometria, padrões de acabamento, dados climáticos, etc.).

Em ambos os casos, pode-se armazenar informações gráficas, formando-se uma biblioteca de elementos padrões e de detalhes construtivos que são automaticamente reproduzidos (ver Figuras 10 e 11).

Com esses recursos e com outros típicos de programas tipo prancheta eletrônica pode-se compor desenhos em vários níveis superpostos, cada um com determinada característica e também se chegar a um grau de detalhamento bastante completo, através da composição hierárquica de desenhos (ver Figuras 12 e 13).

No caso dos projetos complementares existem desenvolvidos programas específicos para diversas áreas. Assim são utilizados programas para o cálculo de esforços, para o detalhamento de estruturas de concreto armado e de aço, para o dimensionamento de fundações, etc. No caso das instalações, existem programas para os projetos: circulação vertical, condicionamento de ar, iluminação e energia, redes de água fria e quente, redes de esgoto, redes de hidrantes, etc.

Esses programas são normalmente desenvolvidos para projetistas especializados. No entanto, eles podem ser utilizados com um sentido mais amplo, por exemplo pelo arquiteto, para auxiliarem nas avaliações do anteprojeto. Nesse caso, o objetivo não é substituir o projetista especializado, mas sim deixar para este o trabalho final, diminuindo-se os riscos de ocorrerem incoerências entre os diversos projetos.

Aplicações a nível de projeto executivo podem também ser organizadas segundo um Sistema Integrado (ver Figura 9). Programas com essas características são relatados nas referências [11], [13], [14], [15], [16], [17], [18] e [19].

7.4. Orçamentos, Cronogramas e Especificações Técnicas

A documentação de um projeto só se completa com a elaboração do seu orçamento, do seu cronograma e de suas especificações técnicas.

Assim, existem programas que tratam de aspectos como a produção de orçamentos, de cronogramas físico-financeiro, de planos de compras, de fluxos de caixa, de alocação de recursos; outras auxiliam a produção de outros controles diversos: de custos, de execução, de produtividade, etc. Essas aplicações extrapolam o projeto, abarcando inclusive a execução da obra.

A produção das especificações ou de qualquer outro documento é grandemente agilizada pelo uso de programas "processadores de texto". Documentos que possam ser expressos por meio de tabelas são executados com a assistência de programas tipo "planilhas eletrônicas".

Programas "bancos de dados" são também úteis na elaboração das documentações de projetos de uma maneira geral.

8. ASPECTOS DA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS COMPUTADORIZADOS NOS ESCRITÓRIOS DE PROJETO

Antes de se finalizar esse trabalho, é importante se comentar alguns aspectos indiretamente relacionados às aplicações, como a implantação dos computadores nos escritórios e o ensino desse tema nas escolas de Arquitetura e de Engenharia Civil.

8.1. Impactos de Prática Profissional

A discussão das influências da implantação dos computadores na atividade profissional dos projetistas é muito rica, e insere-se dentro de uma análise mais ampla, que considera as implicações da computação na sociedade como um todo.

Assim, existem questões semelhantes às aquelas que estão enfrentando os operários em relação à automação industrial, como a discussão sobre se ela causa ou não desemprego ou apenas um aumento da produtividade; se a informatização deve ser aplicada somente às tarefas entediadas ou perigosas de serem realizadas pelo homem; o risco de obsolescência de se evitar uma modernização, sendo suplantado pelos concorrentes; etc.

Outra decorrência da informatização é uma descentralização, que se reflete numa liberdade de se escolher onde trabalhar e até quando trabalhar. Isso será possível no momento em que o trabalho se desenvolver através de computadores, ou de terminais ligados a um computador central, através dos quais cada funcionário pode ir executando suas tarefas remotamente e de maneira independente dos demais.

Mesmo a curto prazo, a implantação dos computadores pode trazer efeitos imediatos no trabalho dos projetistas e na organização dos projetos, sobretudo:

- maior ritmo de trabalho;
- ocorrência de "stress";
- obrigatoriedade de realizar tarefas diferentes das habituais.

Quanto ao processo de projeto, os efeitos de correntes são:

- alteração no tempo dispendido em cada uma das fases do projeto, como ilustra a Figura 23;

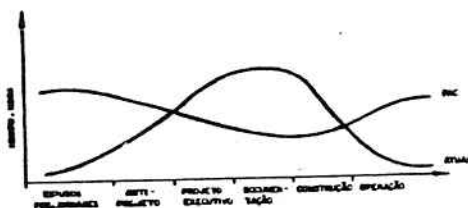


Figura 23 - Alteração no tempo dispendido pelo homem nas diferentes fases do projeto [6] [12].

- alteração na estrutura organizacional dos escritórios, eliminando os postos intermediários dos setores técnicos;
- aumento da participação do cliente no desenvolvimento dos projetos, já que este pode se dar de maneira interativa, sendo feito através do uso de modelos dinâmicos e preditivos;

BT PCC - 08/87

- integração da equipe de projeto e dos consultores num único sistema (ver Figura 9), melhorando o seu controle.

8.2. Definição e Escolha dos Programas

A opção pela automação de um escritório de projeto é uma questão que envolve uma série de considerações, e deve ser tomada com base em estudos bem fundamentados que mostrem a sua conveniência.

Antes de mais nada, é preciso identificar as necessidades, avaliando-se inclusive os ganhos de produtividade decorrente de uma informatização.

Tais ganhos, normalmente situam-se entre 2 a 5 vezes [20] [21].

São diversos os trabalhos que apresentam roteiros para se identificarem as necessidades possíveis de serem feitas com o computador e para avaliar as características dos programas existentes no mercado, com destaque para as referências [7], [22], [23], [24], [25], [26] e [27].

8.3. Definição e Escolha dos Equipamentos

A definição e escolha dos equipamentos necessários também é uma questão fundamental.

O primeiro aspecto a se avaliar é uma opção pela compra ou uso de equipamento de terceiros.

A compra de equipamento próprio permite um uso interativo, mas também obriga à compra de programas e, via de regra, à contratação de pessoal.

O uso de "bureau", ou centros de computação, apesar de implicar num menor investimento leva, quase sempre, a um processamento em lotes dos programas já disponíveis.

Outra opção é a locação de um terminal ligado a um centro, pelo qual se consegue uma maior flexibilidade no uso dos aplicativos.

Essa questão é analisada nas referências [6], [11], [27], [28] e [29].

Outro aspecto básico é a definição do porte dos equipamentos, ou da necessidade computacional. É sabido que a capacidade dos computadores varia desde a disponível em calculadoras programáveis até a dos de grande porte, ou "mainframes". Evidentemente, essa maior capacidade varia em função do preço.

As características de cada uma dessas faixas são descritas em [22], [28] e [29].

Uma possibilidade que atualmente está sendo muito empregada é a ligação de diversos equipamentos numa rede, permitindo a comunicação entre eles, bem como o compartilhamento de equipamentos periféricos, como impressoras e traçadoras gráficas. Esse assunto é tratado em [11], [27] e [30].

Por fim, algumas referências trazem roteiros para a avaliação dos equipamentos a serem adquiridos: [22], [27] e [29].

8.4. Estratégia de Implantação

Uma vez definida a obtenção dos programas e dos equipamentos, é preciso analisar de que maneira a equipe de projeto deve ir com eles tomando contato, de forma a tornar o relacionamento homem e máquina o menos traumático e o mais natural possível.

Uma primeira alternativa é se começar de forma gradativa, através, por exemplo, do uso de um centro de computação ("bureau"), para depois se alugar um terminal e, por fim, se comprar o equipamento.

Com a redução drástica dos custos e com o aumento da capacidade dos equipamentos ocorridos nos últimos anos, essa estratégia deixou de ser a melhor, pois agora é muito "fácil" comprar uma configuração que atenda às necessidades iniciais e que, com o tempo, possa ser expandida.

Assim, a melhor opção é graduar o uso, iniciando-o através de aplicações discretas e da automatização de atividades administrativas e de gerenciamento do escritório de projeto, deixando os programas mais complexos e os sistemas integrados para uma segunda etapa.

Em termos organizacionais, outros aspectos que devem ser levados em conta são:

- definição e contratação da equipe de trabalho;
- treinamento do pessoal não especializado;
- organização da operação e gerenciamento do sistema;
- suporte e manutenção dos programas;
- suporte e manutenção dos equipamentos;
- planejamento da evolução do sistema e previsão de obsolescência do mesmo.

Todos esses aspectos são analisados nas referências [6], [27], [29], [30], [31], [32], [33] e [34].

Por fim, são também interessantes os trabalhos que relatam experiências de implantação de sistemas em escritórios de projeto, que constam das referências [35], [36], [37] e [38].

8.5. O Ensino do PEAC

Sem dúvida, a difusão do uso dos computadores na atividade de projeto passa pelas escolas que formam os técnicos da área, sobretudo nos cursos de Arquitetura e de Engenharia Civil.

Além disso, é fundamental o ensino aos profissionais já atuantes, quer a nível de pós-

O COMPUTADOR E O PROJETO DO EDIFÍCIO

graduação, quer a nível de especialização ou extensão universitária.

Diversos trabalhos tratam desses aspectos, como os das referências [39], [40], [41], [42], [43] e [44].

Dados interessantes constam de uma pesquisa relatada em [11] feita com mais de 30 dos principais escritórios de projeto alemães. Alguns de seus resultados são:

- 94 % das respostas são favoráveis ao ensino do PEAC nas escolas de projeto;
- as sugestões apresentadas, em ordem decrescente de citações, para que tal fato se consolide foram: aula introdutória, desenvolvimento de um exercício e desenvolvimento de um projeto;
- 77 % acreditam que ao adquirirem experiência em computação, os estudantes aumentam suas chances de encontrar emprego.

Outros dados obtidos foram:

- em média, o tempo dos computadores são utilizados com a seguinte distribuição: 56 % em tarefas administrativas ou afins, 30 % em tarefas ligadas ao desenvolvimento de projetos e 5 % na produção de desenhos;
- o valor médio ponderado dos sistemas implantados é cerca de 8.000 OTN.

Na referência [11] constam ainda os resultados de um levantamento do ensino do PEAC no Reino Unido, Estados Unidos e Austrália, os maiores centros de desenvolvimento dessa área no mundo.

Alguns resultados desse levantamento são:

- 84 % das escolas de Arquitetura do Reino Unido ministram cursos na área;
- 90 % das escolas de Arquitetura do Reino Unido têm acesso a terminais interativos, 50 % a terminais gráficos e 75 % desenvolvem seus próprios programas;
- as principais escolas do Reino Unido são as de Strathclyde (graduação e pós-graduação) e de Sheffield;
- as principais escolas dos EUA são a de Carnegie - Mellon (Pittsburgh), a nível de extensão; Harvard (Massachusetts), a nível de graduação e pós-graduação; MIT (Massachusetts), a nível de graduação; Universidade do Arizona;
- a Universidade de Sydney é uma das mais tradicionais na área, a nível de graduação, pós-graduação e extensão.

Com relação à realidade brasileira, existem cursos de extensão universitária voltados para a área desde o início da década de 80, como, por exemplo, os ministrados em organismos como: FDTE/EPUSP/IPT, FAU/USP, IAB e

Sindicatos dos Arquitetos.

A nível de graduação, é oferecida, como matéria optativa, uma disciplina para o curso de Engenharia Civil da EPUSP, que trata de assuntos específicos da área.

A nível de pós-graduação, já existem disciplinas dispersas na EPUSP, sobretudo nos Departamentos de Engenharia de Construção Civil e de Engenharia de Eletricidade.

Outro aspecto importante que se relaciona com o ensino do PEAC é a questão da bibliografia mínima para a área. Assim, alguns livros tradicionais trazem extensas relações de temas tratados, com destaque para os trabalhos que constam das referências [1], [6], [12], [28], [45], [46], [47] e [48].

9. CONCLUSÕES

Como visto, os computadores não passam de "máquinas idiotas", escravas do homem. Não pensam, não raciocinam, não criam, não conceituam e não aprendem nada por si mesmas.

Assim, não há porque delas ter receio; pelo contrário, deve-se enfrentar o desafio de dominá-las.

O computador como ferramenta é um instrumento que serve ao homem, liberando seu tempo para que ele se dedique a atividades mais inteligentes e criativas, e seu trabalho passa a ser mais resultado do intelecto do que dos músculos.

Além disso, a tecnologia da computação é hoje em dia altamente acessível, tanto a nível de equipamentos (qualquer criança pode aprender a utilizá-los), quanto a nível de programas (aprende-se programação já no primeiro grau). Seus custos são também compatíveis com as disponibilidades, mesmo de empresas de pequeno porte.

10. BIBLIOGRAFIA

- (1) - CARDOSO, Francisco F. A utilização de computadores no projeto do edifício: conceitos e perspectivas. Dissertação de Mestrado. São Paulo, EPUSP, 1986.
- (2) - THE ARCHITECT'S JOURNAL. Computers simplified. London, 175(4): 55-59, 27 jan. 1982.
- (3) - COUTTS, N.; GREIG, J; LANSDOWN, J. Low cost computing. The Architect's Journal London, 177(4):58-65, 26 jan. 1983.
- (4) - THE ARCHITECT'S JOURNAL. Computer draughting. London, 175(8):79-83, 24 feb.1982.
- (5) - TORI, R. Um sistema automatizado para desenhos. Revista Politécnica, São Paulo, 1986(191): 12-15, março.

BT - PCC 08/87

No projeto do edifício, sua grande utilidade é como ferramenta, através de um trabalho iterativo homem-máquina, organizado segundo os princípios expostos do PEAC.

Assim, pode auxiliar tanto no sentido estático do termo projeto (produzindo desenhos, relatórios, tabelas, memoriais, orçamentos, cronogramas, etc.), quanto no sentido dinâmico (inserido no processo, auxiliando as tomadas de decisões - Figuras 5 a 8 - , ou a própria integração do projeto - Figura 9).

O futuro da área do PEAC é um tanto imprevisível. Se um dia uma única pessoa e um computador serão capazes de fazer um projeto completo, bem como se a máquina será dotada de uma capacidade de "aprender a projetar", é cedo para dizer. O que se tem como certo é que a estrutura profissional vai mudar, e é um contra-senso querer negar isso.

O que se pode fazer hoje através do PEAC está longe de ser o limite de alcance da área. Deve-se ficar atento à sua evolução, para dela se tirar o maior proveito, obtendo melhores projetos e um maior benefício para a sociedade.

Num futuro próximo, continuará a ocorrer uma evolução técnica dos equipamentos, sobretudo os gráficos, bem como uma diminuição de seus custos. A nível de programação, continuarão a ser fundamentais as áreas de:

1. Estruturação de Dados: permitindo representar a complexa estrutura geométrica dos edifícios.
2. Computação Gráfica: fornecendo recursos para uma melhor comunicação homem e máquina, bem como idealizando modelos geométricos que auxiliem na estruturação de dados.
3. Inteligência Artificial: cuja evolução possibilitará se "ensinar" ao computador os aspectos subjetivos e conflitantes do ato de projetar, permitindo o desenvolvimento de aplicações tais como os Sistemas Especialistas.
- (6) - MITCHELL, W.J. Computer-aided architectural design. New York, Petrolcelli/Charter, 1977.
- (7) - COCKLE, R. Choosing a CAD system. The Architect's Journal, London, 178(45): 73-81, 9 nov. 1983.
- (8) - LANDI, F.R. et alii. Desenho. v.3. Apostila. São Paulo, EPUSP, 1985.
- (9) - KERNOHAN, D. et alii. Relationship models: analytical techniques for design problem-solving. Architectural Design, London, 43(5): 275-278, may 1973.
- (10) - PECKHAM, R.J. Shading evaluations with general threedimensional models. Computer-Aided Design, Surrey, 17(7): 305-310, sept. 1985.

- (11)- SCHIJF, R. & MAVER, T.W. Computer aided architectural design. Strathclyde, eCAADE, 1984.
- (12)- CROSS, N. The automated architect. London, Pion, 1977.
- (13)- RAY-JONES, A. Computer development in West Sussex: 1. The Architect's Journal, London, 148(8): 421-426, 21 feb. 1968.
- (14)- MEAGER, M.A. The application of computer aids to hospital building. In: VLIETSTRA, J. & WIELINGA, R.F., ed. Computer-aided design. Netherlands, North-Holland, 1973. p.423-456.
- (15)- LEE, K. The ARK-2 system. In: GERO, J.S., ed. Computer applications in architecture. London, Applied Science, 1977. Chap.9, p.312-342.
- (16)- HOSKINS, E.M. The OXSYS system. In: GERO, J.S., ed. Computer applications in architecture. London, Applied Science, 1977. Chap.10, p.343-391.
- (17)- CHARLESWORTH, D. & WEBSTER, G. CEDAR3: basic software for computer-aided design. CAD76. London, IPC, 1976. p.38-43.
- (18)- TH'NG, R. Computer aids for a department of architecture in local government. CAD76. London, IPC, 1976. p.51-57.
- (19)- DANIEL, P.T. A plant and building draughting and scheduling system. In: VLIETSTRA, J. & WIELINGA, R.F., ed. Computer-aided design. Netherlands, North-Holland, 1973. p.393-421.
- (20)- MACHOVER, C. Computer graphics: future outlook and impact on industry. In: BSCE/ASCE. Computer-aided design & drafting. Computer Group Lecture Series, 1984. s.l. p.67-72.
- (21)- COLLINS, E.B. Co-ordinated drawings. The Architect's Journal. London, 170(49):1230-1231, 5 dec.1979.
- (22)- GROOVER, M.P. & ZIMMERS JR, E.W. CAD/CAM: computer-aided design and manufacturing. New Jersey, Prentice/Hall, 1984.
- (23)- BRANDON, P.S. & MOORE R.G. Microcomputers in building appraisal. Great Britain, Granada, 1984.
- (24)- BLACK, W.W. Considerations in the choice of a computergraphics system. In: BSCE/ASCE Computer-aided design & drafting. Computer Group Lecture Series, 1984. s.l. p.309-331.
- (25)- PLUNKETT, D.A. The criteria for selecting an application package. In: ADEY, R.A., ed. Engineering Software III. Porceedings of the 3rd International Conference. Southampton, Springer-Verlag, 1983. p. 13-18.
- (26)- JAMES, A.J. Specification an evaluation of computer aided engineering (CAE) systems. In: ADEY, R.A., ed. Engineering Software IV. Proceedings of the 4th Intenational Conference. Southampton, Springer-Verlag, 1985. p. 1.25-1.37.
- (27)- PORT, S. Computer-aided design for construction. Cambridge, Granada, 1984.
- (28)- RAYNOLDS, R.A. Computer methods for architects. England, Butterworth, 1980.
- (29)- RYDER, A. The engineer's computer handbook. London, Thomas Telford, 1980.
- (30)- MILLIKEN, B. Le défi de la conception assistée par ordinateur. L'Architecture D'Aujourd'hui, Paris, 1982(223): 6-9, oct.
- (31)- THE ARCHITECT'S JOURNAL. Networks case study. London, 181(4):71-73, 23 jan. 1985.
- (32)- COCKLE, R. Installing a CAD system The Architect's Journal, London, 178(46):105-109, 16 nov. 1983.
- (33)- CAMPION, D. Managing a draughting system. The Architect's Journal, London, 179(17): 73-75, 25 apr.1984. 179(18):71-74, 2 may 1984.
- (34)- MAZZOTTA, S.G. & BEATY, J.M. Implementing a computer-aided design and drafting system. In: BSCE/ASCE. Computer-aided design and drafting. Computer Group Lecture Series, 1984. s.l. p.333-336.
- (35)- SCARDELLATO, E. et alii. The automation of the civil engineering office: an application. In: SCHREFLER, B.A.; LEWIS, R.W.; ODORIZZI, S.A., ed. Engineering software for microcomputers. U.K., Pineridge, 1984. Section 7, Chap.4, p.657-672.
- (36)- DAWSON, J.W. & HASHMI, G.N. At Helerbe Associates. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap. 10, p.105-113.
- (37)- FOCKE, J. At Caudill Rowlett Scott. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.11, p. 114-119.

- (38)- STEWART, C.D. At Clifford Douglas Stewart Associates. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer-aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.14, p.136-146.
- (39)- MAVER, T. W. The impact of computer-based models on design decision-making. In: DERRICOTT, P. & CHISSICK, S.S., ed. Rebuild. London, John Wiley, 1982. Cap. 7, p.95-141.
- (40)- DAVID, B.; ZANELLI, F.; Z'GRAGGEN, F. J. Teaching CAD in an architectural school with the SIGMA-ARCHI system. Computer & Graphics, Great Britain, 4(nn): 193-199, 1979.
- (41)- JORGENSON, J. L. Teaching civil engineers to write CADD software. In: ADEY, R.A., ed. Engineering Software IV. Proceedings of the 4th International Conference. Southampton, Springer-Verlag, 1985. p. 1.3-1.11.
- (42)- GERO, J.S. Australia. In: NEGROPONTE, N., ed. Computer-aids to design and architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975. Chap.20, p.201-206.
- (43)- ----- . The use of computers in architecture practice. Computer Report CR8. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1970.
- (44)- LLEWELYN, A. CAD/CAM education and training. Computer-Aided Design, Surrey, 16(3):172-176, may 1984.
- (45)- NEGROPONTE, N., ed. Computer aids to architecture. New York, Petrocelli/Charter, 1975.
- (46)- FORWOOD, B. A selective bibliography of computer-aided design and analysis of building environment and service systems. Computer Report CR20. Sydney, Dept. of Architectural Science, 1973.
- (47)- BUNSELMEIER, E. Computer location-allocation. Illinois, Council of Planning Librarians, 1973.
- (48)- ----- . References and bibliography on computer aids to architecture. In: EASTMAN, C.M., ed. Spatial Synthesis in computer-aided building design. London Applied Science, 1972. Chap.10, p.310-336.