

A CADEIRA DE "PROJECTO AUXILIADO POR COMPUTADOR" DO 5º ANO DE ENGENHARIA CIVIL DO IST

Harold P. Santo

Departamento de Engenharia Civil
Instituto Superior Técnico
Universidade Técnica de Lisboa
Av. Rovisco Pais
1096 Lisboa Codex

Tel.: +351-1-801579/802045 x 1638

Fax: +351-1-897650/899242

'E-mail': d1663@eta.ist.rccn.pt

Telex: 63423 ISTUTL P

1 - INTRODUÇÃO

"It is unworthy for excellent men to lose hours like slaves in the labor of calculation which could safely be relegated to anyone else if machines were used."

G. W. Leibnitz, 1671

"Computer Aided Design" (CAD), existe desde praticamente o próprio advento dos computadores, portanto pelo menos há cerca de 40 anos (ver 2.2). E foi necessário esse lapso de tempo para que uma cadeira (infelizmente apenas de opção) fosse criada no curso de licenciatura em Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico! [Noutras licenciaturas e cursos de mestrado, do IST e doutras escolas do país, também existem cadeiras análogas, criadas há um pouco mais de tempo.] Será um pouco difícil aqui invocar o "antes tarde do que nunca", mesmo levando em conta que os cursos superiores estão sempre muitos anos atrasados em relação aos avanços científicos e tecnológicos e às necessidades do mercado, industria e meio profissional. De qualquer forma, o facto de a cadeira ter sido finalmente criada, não é alheio ao nosso próprio empenho pessoal, manifestado das formas mais diversas, incluindo uma abordagem extensa do assunto desenvolvida através de um artigo específico na ocasião das comemorações dos 75 anos do IST [Santo86].

Este trabalho reporta assim, sucintamente, a experiência do autor na implementação e ensino da *disciplina* CAD como cadeira de opção do 5º ano do curso de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico em 1991. De notar que, lamentavelmente, o nome oficial da cadeira é "Projecto Assistido por Computador", designação que NÃO criamos e NÃO endossamos, preferindo antes, como mal menor, intitular-la "Projecto Auxiliado por Computador", ou, ainda melhor, "Concepção e Projecto Auxiliados por Computador", como aliás as "Folhas" da cadeira [Santo91] são denominadas (ver 3). A cadeira foi oficialmente criada e designada sem qualquer intervenção directa nossa, numa altura em que não estávamos a exercer funções docentes. É nossa intenção, todavia, propor futuramente a mudança do título da cadeira, de forma a que o mesmo reflecta mais adequadamente o escopo, âmbito e carácter de CAD e seja terminologicamente mais correcto.

2 - DEFINIÇÃO E LIGEIRA HISTÓRIA DE "COMPUTER AIDED DESIGN"

2.1 - O Que é "Computer Aided Design" ?

Definir CAD é tarefa simples e complexa ao mesmo tempo. Simples porque CAD é tão somente isso mesmo : *design* auxiliado por computador ('computer aided design' = 'design aided by computer'). Nem mais, nem menos ! Complexa porque, nos dias de hoje, CAD constitui um domínio muito vasto em constante evolução, englobando diversas outras disciplinas e que se relaciona com os mais diferentes ramos das ciências aplicadas. [O termo 'design' será utilizado ao longo do texto por ser de uso corrente e mais correcto, exacto e lato que 'projecto'.]

Mas de qualquer forma definimos CAD como a "disciplina que diz respeito a toda a utilização do computador no processo de concepção, análise e síntese", em particular nos diversos ramos da engenharia [Santo85]. Outras definições sintéticas podem ser : "... the use of computers to aid the design [and manufacture] process." [Besant-Lui86] e "... a means to augment the design process by bringing computational techniques to bear on solving design problems, representing the designed artifact, and simulating its expected performances." [Kalay89]. Definição mais extensa é a dada em Encarnação-Lindner-Schlechtendahl90 : "a *discipline* that combines hard- and software engineering, systems analysis and engineering for specifying, designing, implementing and using *computer based systems for design purposes*". (itálicos nossos)

A primeira palavra-chave do termo é *design*, sendo por isso incorrecto o seu emprego em áreas em que a *concepção* propriamente dita não toma parte (já ouvimos o advogar de 'CAD em Cartografia' !, quando o que existe é apenas a Cartografia Auxiliada por Computador ou Computadorizada, por óbvias razões).

Em todos os domínios em que a imaginação, criação, concepção humanas - o 'design', enfim -, tomam parte, CAD se aplica literalmente : Arquitectura, Engenharias, ciências aplicadas e tecnologias, indústria em geral (confeção/vestuário, calçado, tapeçaria, mobiliário, metalomecânica, etc), decoração de interiores, paisagismo, a própria Arte no seu âmbito mais geral.

A segunda palavra-chave é logicamente *computador*. Dessa forma, *qualquer* utilização do computador no processo de 'design' é CAD, sendo importante sublinhar que essa utilização *não* tem necessariamente que envolver tratamento gráfico. De facto, desde seus primórdios, o computador foi empregue como precioso auxiliar do 'designer'/projectista, e só muito recentemente é que a componente gráfica tem vindo a ser explorada e aproveitada nas suas mais atraentes capacidades, tanto que muitas vezes CAD e 'Computer Graphics'/'Gráfica Computacional' (CG) são tomados como sinónimos. Mas CAD é, por exemplo, tanto a utilização de um baratíssimo micro-computador ZX-80™ para "fazer umas contas", como a utilização de um potentíssimo CRAY™ para obter apenas *um número* após dias de cálculo !

Por outro lado, CAD constitui uma *disciplina científica* que envolve as áreas referidas na definição de Encarnação, et al., bem como todas as técnicas e teorias de 'Computer Graphics' e 'Geometric Modeling' (as ferramentas gráficas, computacionais, matemáticas e geométricas [Faux-Pratt79, Gasson83, Bowyer-Woodwark83, Santo85, Mortenson85, Schlechtendahl85, McKissick87, Veisinet87, Yamaguchi88, Mäntylä88, Rogers-Adams89, Mortenson89, Foley-vanDam-Feiner-Hughes90, Encarnação-Lindner-Schlechtendahl90]) e, principal e fundamentalmente, as teorias e técnicas do domínio em causa. Será sempre pois o especialista desse domínio que poderá, melhor que ninguém, desenvolver, ou orientar o desenvolvimento, de um *sistema* CAD específico. É importante sublinhar que CAD constitui uma disciplina, uma vez que o esquecimento ou desconhecimento desse facto, são os maiores responsáveis pela generalizada incompreensível e lamentável confusão de idéias, conceitos e no que se relaciona com as características e âmbito acerca de CAD. Realmente, CAD tem assumido diferentes significados para diferentes pessoas ou grupos, em diferentes locais ou países, em diferentes épocas.

Nomeadamente, CAD foi ou é entendido como

- desenho computadorizado ('Computer Aided Drafting', 'Computer Augmented Drafting', 'Computer Automated Drafting', 'Computer Assisted Drafting' ou 'Computer Aided Design and Drafting' - CADD);
- sinónimo de 'Computer Graphics';

- . sistemas de modelagem de superfícies, especialmente nas indústrias naval, automobilística e aeroespacial;
- . modelagem geométrica e de sólidos;
- . manipulação de objectos tridimensionais, em particular nas aplicações da engenharia mecânica;
- . análise por elementos finitos.

Mas CAD é na verdade tudo isso e muito mais. CAD não é, porém, um sistema, programa ou 'package'; um computador, um equipamento, uma 'workstation'. Aqui reside outra idéia incorrecta existente quanto a CAD que, infeliz e paradoxalmente, tem sido instigada por promoções no domínio, mas com âmbito restrito a equipamentos e sistemas, a estratégias de implementação, a implicações económicas e na gestão das empresas, etc. O facto dessas promoções trazerem o título de seminário/jornadas/simpósio/conferência CAD (e CAM) [e.g., Simpósios86] só tem contribuído pois para a confusão de conceitos e colocar no espírito das pessoas uma concepção de CAD quase contrária à realidade, tanto que muitas vezes se ouve dizer: "eu trabalho com um CAD", "se você tivesse um CAD...", "com um CAD você poderia ...", etc, ou (em propaganda), "seja um operador de CAD/CAM, frequente o nosso curso...", "técnico de CAD/CAM: a profissão do futuro ...", "executamos trabalhos de CAD/CAM" (!!!). É frequente ainda a confusão entre CAD e sistemas comerciais de desenho por computador, como o AutoCAD™! Exemplos existem também em artigos de revista ("O CAD, na verdade, é um software ...", *sic* [VEJA]), em cursos ("CAD - projeto assistido por computador - indicando uma gama de dispositivos (computadores, videos, impressoras, ...) e programas de desenho, cálculo, ..., todos orientados para assistir ao projetista ..." [Jamil89]), em livros de professores ("Projeto Auxiliado por Computador - conjunto de programas ..." [Zuffo84]), e tantas outras fontes. É preciso pois distinguir bem entre CAD, a disciplina técnico-científica, e um equipamento voltado para as aplicações de CAD ou um sistema/'software' para CAD, que são coisas bem diferentes! [Estas situações não são de se admirar quando até (pretensos) especialistas exprimem as mesmas confusões de ideias e conceitos, demonstrando incrível falta de conhecimento do assunto, e.g., Monteiro90, Antunes91.]

Diversas obras permitirão compreender e apreender bem o conceito de CAD, seu escopo, alcance, características e componentes, como as já referidas Besant-Lui86 e Encarnação-Lindner-Schiechtendahl90, e outras como Coons67, Vlietstra-Wielinga73, Allan77, Interactive77, Encarnação80, Groover-Zimmers84, Pao84, Port84, Kostem-Shephard84, Scrivener85, Gardan-Lucas-Budynas85, Haigh85, Medland-Burnett86, Mullineux86, Tozzi86, Rooney-Steadman87, Bowman-Bowman87, Yoshikawa-Warman87 e Medland-Mullineux88. De interesse histórico são também Ross60, Coons-Mann60, ProjectStaff61, Prince71 (o primeiro livro propriamente dito sobre CG e CAD) e Vine-Lott72 (aborda aplicações na Engenharia Civil). Artigos, alguns históricos, como Coons63, Ross-Rodriguez63, Coons66, Hatvany-Newman-Sabin77, Hatvany84, Ross88, Llewelyn89, também constituem importantes fontes de informação, formação e estudo. O periódico "Computer Aided Design" (Butterworth-Heinemann) e as conferências CAD-Conf são certamente pontos de referência fundamentais acerca de CAD em todos os seus múltiplos aspectos.

2.2 - Síntese Histórica

A utilização do computador em 'design' tem-se dado praticamente desde o seu advento: antes de existir a própria designação, CAD já era uma realidade! Um exemplo notório é o trabalho pioneiro de R.K. Livesley com a aplicação do computador electrónico da Universidade de Manchester ao cálculo de estruturas [Livesley53].

Ainda nos anos 50 grandes avanços foram realizados, tanto que a 'American Society of Civil Engineers' (ASCE) promovia a sua primeira 'Conference on Electronic Computation' [CoEC-ASCE] em Novembro de 1958 [Santo82, Dalkey58, Fenves81]. Ainda antes desta conferência já era discutido o uso do computador a todos os níveis, em particular na Engenharia Civil e Estrutural [Clough57, Kozak-Shields57, Fisher58, Bibliography63]. Um pioneiro que não se pode deixar de mencionar é o Prof. Ray W. Clough (Berkeley, California), não só na aplicação dos computadores à Engenharia de Estruturas [1ª CoEC-ASCE e Clough57], mas como elemento importante no desenvolvimento da análise matricial de estruturas [Turner-Clough-Martin-Topp56] e, sobretudo, do método dos elementos finitos, termo que ele, aliás cunhou na sua clássica

comunicação à 2ª CoEC-ASCE [Clough60], conferência esta que também bem documenta os desenvolvimentos havidos nos anos 50.

Em Portugal foi também nos fins da década de 50 que os primeiros trabalhos foram conduzidos [Borges60a e b], mas é facto histórico do maior relevo a realização, no Laboratório Nacional de Engenharia Civil em Outubro de 1962, do 'Symposium on the Use of Computers in Civil Engineering' [Symposium62], considerado pelo próprio Prof. R.W. Clough como "the first truly international conference dealing extensively with computer analysis of structures" [Clough80], e no qual ele (com E.L. Wilson), incidentalmente, introduziu, no contexto da dinâmica de estruturas, o clássico método 'step by step' para determinar a resposta de sistemas de massas discretizadas.

Quanto a CAD, propriamente falando, o seu conceito e designação foram, sem sombra de dúvida, originados no MIT [Bézier89, Ross90], com especial relevo para Steven Anson Coons, uma das mais importantes e marcantes figuras no domínio, tanto que, sem nunca ter sequer obtido um bacharelato (abandonou o MIT após o 1º ano), chegou a 'Full Professor' da Syracuse University (onde se lê, em um de seus livros anuais, "he has never earned a university degree, proving that a degree is not necessary - if one is a genius".), tendo, antes, de 1948 a 1969, sido professor no MIT, por especial convite [Herzog79]. E foi justamente no MIT que Coons contribuiu grandemente para o desenvolvimento do conceito de CAD [Coons61, Coons63] (as 'Coons patches' desde então entraram no vocabulário universal dos especialistas de CG e, sobretudo, de modelagem de superfícies e "computer aided geometric design" [Coons67]), tendo sido supervisor de outro importante pioneiro, Ivan E. Sutherland, cuja tese representa um marco na história de CG, CAD e também de CAD na Engenharia Civil/Estrutural, uma vez que o seu 'Sketchpad' - o primeiro sistema gráfico interactivo -, constituiu o 1º pré- e pós-processador, sendo o cálculo de estruturas planas, um dos casos tratados [Miller63, Sutherland63]. É interessante referir, ainda, que foi divulgado pela General Motors em 1964 o seu sistema DAC-1 ('Design Augmented by Computer'), aplicado, logicamente, à concepção de seus automóveis (um novo Corvaire foi concebido com auxílio desse sistema), cujo nome não é mais do que sinónimo de 'design aided by computer', ou CAD, o que reforça o conceito histórico original, tão simples, que se perdeu ao longo dos anos, mas que urge repôr no seu lugar devido, como já assinalado.

Os desenvolvimentos nos anos 50, já referidos, sofreram grande incremento com o surgimento das linguagens de alto nível, em particular da FORTRAN (FORMula TRANslation [Wexelblat81]), que por sua vez permitiu a criação das 'linguagens orientadas' (POL's, 'Problem-Oriented Languages', que podem ser consideradas linguagens de nível ainda superior às linguagens de programação), cujo 1º exemplo bem sucedido foi a APT ('Automatic Programmed Tooling'), base do primeiro sistema de controle numérico, o 1º sistema de CAM, surgido, de certa forma, *antes* e independentemente de CAD propriamente dito [Brown63, Murphree66, Ross81, Ross90]!

Na Engenharia Estrutural, a 1ª POL foi a STRESS ('STRuctural Engineering System Solver'), desenvolvida inicialmente sob direcção de Steven J. Fenves - outro pioneiro e figura de relevo no domínio da computação na Engenharia -, no MIT [Fenves63]. STRESS deu origem à STRUDL ('STRuctural Design Language'), que, por sua vez, faz parte do ICES ('Integrated Civil Engineering System', do MIT) [Logcher72]. Em CG e CAD mais especificamente, dois pioneiros despontam: Henry (Hank) N. Christiansen e William (Bill) J. Batdorf. Christiansen, responsável pelo desenvolvimento do Sistema MOVIE.BYU [Grimsrud-Nay-Christiansen-Stephenson87], criou um sistema gráfico de elementos finitos para a Hercules, Inc. e foi co-autor do sistema SAMIS de elementos finitos da NASA, por volta de 1965. Foi também aquele que primeiro aplicou imagens em tom-contínuo à análise estrutural [Christiansen71, Christiansen74]. Batdorf desenvolveu o primeiro sistema de elementos finitos da Lockheed, também em meados dos anos 60 [Batdorf68] e, notoriamente, foi o responsável por uma das primeiras tentativas de normalização de sistemas gráficos, por meio da linguagem FLING ('A FORTRAN Language for INteractive GRaphics') [Batdorf-Kapur73] - inspirado nas idéias expostas em [Fenves70] e nas próprias 'preocupações' há muito manifestadas no meio [Gosden68] -, muito antes das que se iriam verificar em CG a partir de 1974 [Santo85, Santo88].

Para complementar este resumo histórico, Argyris70, Machover78, Chasen81, Fenves81, Santo82, Hatfield-Herzog82, Fong84, Santo85, Schlechtendahl85, Santo89a, Ross90, Encarnação-Lindner-Schlechtendahl90 e Santo91 são referências valiosas aos mais interessados.

3 - A FUNDAMENTAL QUESTÃO DA TERMINOLOGIA

A designação "projecto auxiliado/assistido/apoiado por computador" (PAC), muito usada em Português, deve ser encarada sob reserva. (A confusão existente quanto à terminologia em Português de "Computer Graphics" e CAD, e a profusão de termos, expressões e palavras totalmente incorrectas, irracionais e mesmo ridículas, é tal que nos motivou a elaboração de uma análise extensa do problema. Não podemos deixar de sugerir ao leitor consciencioso a sua leitura, a

fim de fazê-lo tomar contacto com uma panorâmica alargada sobre o assunto, procurando auxiliá-lo a não cair nas mesmas armadilhas e erros que infelizmente, em muitos casos, se tornaram correntes [Santo89b].)

A questão que está em jogo é a da necessidade ou não de se encontrar um termo em Português correspondente a CAD. O termo "Projeto Auxiliado por Computador" é talvez mais usado no Brasil (ver por exemplo Tozzi86) e em Portugal favorece-se mais "Projecto Assistido por Computador", ainda menos rigoroso (o papel do computador nas tarefas e actividades de concepção e projecto NÃO é a de "assistir" mas a de "auxiliar" e complementar o trabalho humano). Mas serão termos correctos?

O problema aqui, para começar, é a palavra projecto, cujo sentido é mais restrito do que "design". "Design" engloba, em si só, concepção, criação, imaginação, síntese, análise, estudo, simulação, experimentação, desenho, documentação. Mas como traduzir ou aportuguesar design? Correntemente existem duas situações: a palavra DESIGN é pura e simplesmente usada à mistura com o Português (principalmente no que respeita à moda, e no chamado 'design' industrial) ou emprega-se DESENHO com esse sentido. O aportuguesamento neste caso está em princípio excluído à partida (quem aceitaria DISÁINE?), pelo que seria preferível aceitar DESENHO com a 2ª acepção (i.e., com uma acepção mais lata), como acontece com tantas outras palavras: o contexto dita sempre o significado real. Recorde-se o caso da palavra 'cálculo', quando é utilizada em frases como "o cálculo de uma laje", "o cálculo de um edifício". Teríamos pois o "Desenho Auxiliado por Computador" (DAC. Curiosamente a mesma sigla do "Design Augmented by Computer", da General Motors, que bem podia ter sido o termo difundido no lugar de CAD, pois é seu sinónimo. Recorde-se que CAD é também "Computer Augmented Design"), o que não se deveria confundir com Desenho Automatizado ou Computadorizado ("Computer Aided Drafting"). Por outro lado, essa expressão é análoga à castelhana "Diseño Asistido por Ordenador" (DAO), ou mesmo DAC ("Diseño Asistido por Computador"), trazendo uma certa uniformização no ambiente Ibero-Latino-Americano (Em Catalão diz-se "Disseny Assistit per Ordinador"! Em países latino-americanos o feminino é também empregue: "computadora"). E certos autores também preferem a forma "diseño asistido por computación", que é mais geral e apropriada. O Castelhana é contudo mais feliz do que o Português por possuir os termos "Diseño" ('Design') e "Dibujo" ('Drawing'), que diferenciam coisas bem distintas.

De qualquer forma, CAD, DAC, PAC, ... , pecam pela concisão. Seria possível um só vocábulo obtido por contracção, tal como Compugráfica (i.e., Gráfica Computacional)? A verdade é que o Português não nos facilita o trabalho, como o Inglês, que permite a construção do qualificador "computer-aided": temos que escrever ou dizer "au-xi-li-a-do por com-pu-ta-dor"! (Alternativas seriam "Compudesenho" ou "Compuprojeto"?)

Mas afortunadamente, conforme discutimos em Santo87 e Santo89, hoje em dia o rótulo "Computer-Aided", já não faz sentido: o que há é o conceito "Computational X". A contribuição do computador e de sua tecnologia vai anos-luz além de uma simples e útil "ajuda" no processo e tarefas de cálculo, análise e "design"! Também há que distinguir a "Computer Science" de uma "Computational Science". Daí que o termo "Computational Design" seja atualmente mais correcto, adequado e preciso que CAD. Ficamos assim, por enquanto, pelo **Desenho Computacional**, entendido como "toda a utilização do computador, de técnicas e métodos computacionais, no desenho (concepção, análise, síntese) de produtos para benefício da humanidade" (produtos no sentido mais lato). Mas aguardamos melhores sugestões/soluções/definições! (Nesta discussão está obviamente implícito que endossamos o uso exclusivo do acrónimo CAD, qualquer que seja a sua "tradução".)

4 - FILOSOFIA DE BASE E ESTRUTURA DA CADEIRA

Levando em conta as considerações feitas acima, a implementação da cadeira de CAD, tiveram como pontos essenciais :

- introdução de CAD de uma forma correcta, abrangente e o mais lata possível, de maneira a transmitir a noção de "disciplina científica", desfazendo equívocos, como o de associá-la a programas ou pacotes, como acima assinalado;
- definição de um currículo minimamente completo, procurando cobrir os pontos fundamentais da disciplina, dentro das limitações de tempo, assegurando uma componente formativa sólida;
- apresentação de um largo conjunto de referências e leituras seleccionadas, a fim de garantir uma componente informativa vasta;
- contemplação da elaboração de programas ou desenvolvimento de sistemas por meio de trabalhos práticos compatíveis;
- utilização de sistemas comerciais existentes, antecipando as necessidades da actividade profissional;
- transmissão da noção de auto-reciclagem e constante acompanhamento da evolução da disciplina por meio de periódicos relevantes e da literatura da especialidade;
- colaboração para o preenchimento da lacuna existente na formação básica que o programa de licenciatura oferece no que se refere aos métodos computacionais e à utilização dos computadores.

Os aspectos mencionados foram materializados num programa cujo sumário é o seguinte :

- Breve Revisão da Geometria Descritiva, do Desenho Técnico e dos Métodos Gráficos Computacionais.
- Projecto de Engenharia Civil. Regras e Componentes. Peças Desenhadas. Projecto de Estruturas e Construção, Hidráulica e Recursos Hídricos e Ambientais, Urbanização e Sistemas, Vias de Comunicação e Transportes.
- Introdução à Concepção e Projecto Auxiliados por Computador.
- Gráfica e Geometria Computacionais. Visualização e Realismo. Algoritmos Básicos.
- Modelagem Geométrica. Curvas e Superfícies.
- Métodos Numéricos e Computacionais.
- Noções da Ciência da Computação. Linguagens e Normas. Equipamentos e Sistemas. Interface Projectista-Computador.
- Desenho Computadorizado. Pré- e Pós-Processadores Gráficos.
- Complementos (animação, robótica, optimização, CAM, CAE, IA, aplicações ...)
- Visitas de estudo a firmas, laboratórios ou centros de computação compatíveis.

Quanto à estruturação da cadeira, o regulamento existente impõe uma carga horária de 5 horas semanais. As aulas foram divididas em dois períodos, um de aulas teóricas e outro de aulas práticas, cada um com duração aproximada de metade do semestre.

5 - COMPONENTE TEÓRICA

A componente teórica da cadeira, como o sumário acima indica, concentrou-se fundamentalmente na abordagem das ferramentas da Gráfica e Geometria Computacionais, em particular as transformações e projecções geométricas, o algoritmo do "horizonte flutuante" para representação de superfícies matemáticas e as curvas de Bézier, segundo Santo85, e, na introdução às superfícies de Bézier, conforme apresentado nas "Folhas" [Santo91]. É claro que foi transmitido um panorama alargado da disciplina CAD, de acordo com o apontado em 4, para além da revisão de conceitos do Desenho tradicional e dos Métodos Gráficos Computacionais, a fim de colocar os alunos "em dia" com a matéria básica.

A bibliografia básica recomendada especificamente na cadeira foi Machado85, Cabrita74, Encarnação-Lindner-Schlechtendahl90, Rooney-Steadman87, Santo85, Gardan-Lucas-Budynas85, Mortenson85, Qiulin-Davies87 e Voisinet87. As "Folhas" logicamente contêm um número de referências apreciável, em particular outros livros texto como os já indicados Groover-Zimmers84, Pao84, Port84, Haigh85, Besant-Lui86, Medland-Burnett86, Mullineux86, Tozzi86, Bowman-Bowman87, Yoshikawa-Warman87, Medland-Mullineux88 e Kalay89.

A matéria teórica propriamente dita está contida no 1º volume das "Folhas" e o seu conteúdo, que permite fazer ideia das partes formativa e informativa, é a seguir apresentado.

Introdução à Concepção e Projecto Auxiliados por Computador

PARTE I

Introdução ao "Computer Aided Design"

- "CAD na Engenharia Civil e Estrutural - Breve Introdução" - Harold P. Santo
- Anexo 1 - "Visualization, Engineering, Computers and CAD" - Harold P. Santo
- Anexo 2 - "Breve Panorama e Síntese Histórica das Aplicações Gráficas por Computador na Análise de Estruturas" - Harold P. Santo
- Anexo 3 - "Bibliografia Selectiva Sobre Aplicações Gráficas por Computador e CAD na Arquitectura" - Harold P. Santo
- Anexo 4 - "ENGOL - Engineering-Graphics Oriented Language : The Core of a 'Computational Engineering Graphics' Implementation" - Harold P. Santo
- Anexo 5 - "GREASE - A Micro-Computer GRaphical Extension for Architecture and Structural Engineering" - Harold P. Santo
- Anexo 6 - "Computação Gráfica, Compugrafia ou Compugráfica ?" - Harold P. Santo
- Anexo 7 - "CAAC - Concepção em Arquitectura Assistida por Computador" - Luis M. F. Pinto
- Anexo 8 - "Computer Applications in Structural Engineering" - Steven J. Fenves
- Anexo 9 - "Computers in the Future of Structural Engineering" - Steven J. Fenves
- Anexo 10 - "Computer Aided Structural Engineering" - Steven J. Fenves
- Anexo 11 - "Knowledge-Based Expert Systems in Civil Engineering" - Steven J. Fenves, et al.
- Anexo 12 - "Evolutionary Aspects of CAE Systems" - Ernst G. Schlechtendahl
- Anexo 13 - "A Computer Science Perspective of Bridge Design" - Gerard F. Fox, et al.
- Anexo 14 - "Computers, Complexity and the Statue of Liberty Restoration", Karen A. Frenkel
- Anexo 15 - "An Overview of the MOVIE.BYU System", A. Grimsrud, et al.

PARTE II

Curvas e Superfícies

- 'Representação de Superfícies Matemáticas - Caso Geral', 'Eliminação de Linhas Ocultas', 'Geração de Curvas' e 'Curvas de Bézier' [parte do Capítulo 2 e parte do Capítulo 3 de "Métodos Gráficos e Geometria Computacionais", Dinalivro, 1985] - Harold P. Santo
- 'Superfícies' e 'Referências' [Capítulo 2 e Capítulo 10 de "Modelos Fractais e de Elementos Finitos na Simulação de Cenas e Fenómenos da Natureza", DEC, 1987] - Harold P. Santo
- 'Síntese das Superfícies de Bézier' - Harold P. Santo

- 'Surfaces and Solids' [Capítulo 6 de "Computer Graphics for Engineers", Harper & Row, 1988] – Bruce R. Dewey
- "A survey of curve and surface methods in CAGD" [artigo do periódico 'Computer Aided Geometric Design', Vol. 1, pp 1-60, 1984] – W. Böhm, G. Farin, J. Kahmann

6 – COMPONENTE PRÁTICA

As aulas práticas consistiram na utilização de sistemas e elaboração de programas, materializando os conceitos e teorias expostas nas aulas teóricas. Por condicionalismos de tempo e de equipamento disponível, apenas dois trabalhos foram dados aos alunos, cujos enunciados são apresentados em anexo.

O primeiro trabalho teve por objectivo contemplar a parte de programação, tendo os alunos que elaborar um programa para traçado de superfícies de Bézier, empregando a norma GKS e, de preferência, o Turbo Pascal.

O segundo trabalho correspondeu à parte de utilização de sistemas comerciais para a elaboração de desenhos de projectos de Engenharia Civil. O sistema escolhido foi o AutoCAD™, instalado em PC's.

Os sumários do 2º volume das "Folhas" a seguir apresentado dá uma ideia de como estruturamos a componente prática e da quantidade de informação fornecida.

Introdução à Concepção e Projecto Auxiliados por Computador

PARTE III

Introdução ao GKS – 'Graphical Kernel System'

- 'Utilização do Turbo Pascal e GKS em PC's', 'Utilização do GKS no VAX (CIIST)' – Luis A. Silva
- 'Turbo Graphic Kernel System – Turbo Pascal 5.0' : Lista dos procedimentos GKS do Turbo Pascal 5.0 para PC's.
- 'Programa Exemplo – Curvas de Bézier – , em Turbo Pascal 5.0 e GKS' – Luis A. Silva
- 'Notas sobre GKS, GKS-3D e PHIGS', 'GKS – Princípios e Objectivos' – António Inês e João D. Cunha (LNEC)
- 'The Graphical Kernel System' [Capítulo 4 de "Device-Independent Graphics", McGraw-Hill, 1989] – R.F. Sproull, W.R. Sutherland, M.K. Ullner
- "Interacção Gráfica Pessoa-Computador : Uma Bibliografia (Com Especial Incidência nas Normas Gráficas)" ['Workshop' "Sistemas e Normas Gráficas", Grupo Local ACM SIGGRAPH de Lisboa, IST, Junho 1988. Versão expandida : Relatório CMEST AI 101/88, 1988] – Harold P. Santo

PARTE IV

Documentação sobre o AutoCAD™

- "O Sistema AutoCAD™ – Guia de Referência Rápida", Carlos T. Ribeiro
- 'AutoCAD™ Release 10 – Primary Screen Menu Hierarchy', quadro
- 'AutoCAD™ Release 10 – Menu Bar and Pull-Down Menus', quadro
- 'AutoCAD™ Runtime Help'
- "Programar em AutoLISP™" – Carlos T. Ribeiro
- "AutoLISP™ User Reference (2.5)"

7 - AVALIAÇÃO DE CONHECIMENTOS

A avaliação foi composta por uma prova escrita individual ao fim das aulas teóricas, e da discussão dos dois trabalhos de grupo ao fim do semestre.

A prova escrita versou naturalmente sobre a matéria teórica e sobre a panorâmica dada acerca de CAD. O peso relativo desta prova na classificação final foi apenas de 20% (4 valores em 20).

O restante da avaliação correspondeu à discussão em grupo dos dois trabalhos práticos, cada um com um peso de 40% (8 valores em 20). Na análise dos trabalhos foram levados em conta factores como a quantidade, qualidade e adequação dos desenhos, qualidade do relatório/memória descritiva, complexidade e aspectos complementares (e.g., menus) dos programas elaborados (em Pascal, ou outra linguagem, para o 1º trabalho, e AutoLISP™ para o 2º), etc.

8 - FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

Uma cadeira da natureza de CAD obviamente requer equipamento e 'software' adequados, de preferência disponíveis em um laboratório de computação compatível. Nesta primeira experiência aqui reportada só se pôde contar com PC's (com uma versão simplificada do GKS) ou com o VAX do CIIST (Centro de Informática do Instituto Superior Técnico) e o seu VAX-GKS. Por outro lado, também somente foi possível lançar mão do sistema comercial AutoCAD™, o que, em termos pedagógicos e didácticos, não consideramos propriamente adequado ou aconselhável. Prevê-se num futuro próximo, no entanto, com a conclusão do Pavilhão de Engenharia Civil e a correspondente instalação de um laboratório de computação - permitindo a instalação de sistemas mais sofisticados como o MOVIE.BYU [Grimsrud-Nay-Christiansen-Stephenson87] -, que a presente cadeira venha a ter uma estrutura mais actual, alargada e apropriada. Melhores trabalhos, em particular, poderão ser realizados, e será possível expandir o programa da cadeira, abrangendo matérias com maior interesse para os futuros engenheiros civis.

Também será possível nas condições apontadas, criar cadeiras de pós-graduação e estabelecer programas de investigação mais seguros. Cursos de especialização, de reciclagem e de formação de investigadores também serão viáveis, na sequência de experiências já realizadas, como a nossa colaboração no curso do FSE "Qualidade no Projecto de Estruturas", no do PEDIP "Projecto de Estruturas Metálicas", e o Curso "Modelação Geométrica Aplicada" (1991) de nossa iniciativa e coordenação.

Só fica em aberto a questão da passagem da cadeira da sua condição de opção para obrigatória, situação que do nosso ponto de vista seria a ideal.

9 - CONCLUSÕES

Embora muito tarde, no curso de Engenharia Civil do IST foi implementada uma cadeira de CAD em que é possível apresentar essa disciplina de uma forma minimamente abrangente e coerente. Apesar de todos os condicionalismos e dificuldades encontradas, e de se estar longe do ideal, pode-se concluir que a nossa primeira experiência aqui relatada foi bem sucedida, vislumbrando-se aperfeiçoamentos futuros que certamente farão do ensino de CAD uma actividade bem mais gratificante, produtiva e fascinante, e mais de acordo com a crescente evolução que a disciplina experimenta cotidianamente.

10 - AGRADECIMENTOS

A experiência aqui reportada não teria sido tão bem sucedida sem o grande empenho e dedicação do Engº Luis Antonio Silva, assistente da cadeira. Assinalamos também o trabalho do Engº Carlos Tavares Ribeiro relativo ao sistema AutoCAD™, que foi de extrema utilidade para a parte prática da cadeira.

Agradecimento especial é devido à Dr^a Eng^a Maria Helena Bráz pela cedência da versão para PC's da norma GKS, e pelo seu apoio constante ao nível da Secção de Métodos Gráficos do Departamento de Engenharia Civil do IST.

11 - REFERÊNCIAS

- Allan, J.J., ed. 1977 CAD Systems, North-Holland
- Antunes, C.F.R.L. 1991 Projecto e Análise Electromagnética Assistidos por Computador de Dispositivos Eléctricos - O Estado da Arte, Ingenium, Janeiro
- Argyris, J.H. 1970 The Impact of the Digital Computer on Engineering Sciences, Aer. Journal, Vol. 74
- Batdorf, W.J., et al. 1968 The Role of Computer Graphics in the Structural Design Process, Proc. Conf. Matrix Meth. in Str. Mech., Outubro
- Batdorf, W.J., Kapur, S.S. 1973 FLING - A FORTRAN Language for Interactive Graphics, in 'Numerical and Computer Methods in Struct. Mech.', Fenves, S.J., et al., eds., Academic Press
- Besant, C.B., Lui, C.W.K. 1986 Computer-Aided Design and Manufacture, Ellis Horwood
- Bézier, P. 1989 First Steps of CAD, CAD, Vol. 21, nº 5, Junho
- Bibliography on the Use of Digital Computers in Structural Engineering, Progress Report, ASCE J. St. Div., Dezembro 1963
- Borges, J.F. 1960a Computer Analysis of Structures, 2^o CoEC-ASCE, Setembro
- Borges, J.F. 1960b Aplicação dos Computadores no Cálculo de Estruturas, 1^{as} Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil, Setembro
- Bowman, D.J., Bowman, A.C. 1987 Understanding CAD/CAM, H.W. Sams
- Bowyer, A., Woodwark, J. 1983 A Programmer's Geometry, Butterworths
- Brown, S., et al. 1963 A Description of the APT Language, Communications of the A.C.M., Junho
- Cabrita, A.M.R. 1974 Regras de Elaboração de Projectos, ITE 6, LNEC
- CAD-Conf CAD-International Conferences on Computers in Engineering and Building Design, bi-anualmente desde 1974, Inglaterra
- Chasen, S.H. 1981 Historical Highlights of Interactive Computer Graphics, Mechanical Engineering, Novembro
- Christiansen, H.N. 1971 Displays of Kinematic and Elastic Systems, Proc. 3^o Conf. on Matrix Methods in Struc. Mech., Dayton, Ohio, Outubro
- Christiansen, H.N. 1974 Applications of Continuous Tone Computer Generated Images in Structural Mechanics, in Pilkey, W., et al., eds. 1974 Structural Mechanics Computer Programs, Surveys, Assessments and Availability, Univ. Virginia Press
- Clough, R.W. 1957 Use of Modern Computers in Structural Analysis, ASCE Annual Convention, Outubro
- Clough, R.W. 1960 The finite element method in plane stress analysis, 2^o CoEC-ASCE, Setembro
- Clough, R.W. 1980 The Finite Element Method After Twenty-Five Years : A Personal View, Computers & Structures, Vol. 12
- CoEC-ASCE Conference on Electronic Computation, American Society of Civil Engineers, diversas edições desde 1958
- Coons, S.A. 1961 Multivariate Relations, in ProjectStaff61
- Coons, S.A. 1963 An Outline of the Requirements for a Computer-Aided Design System, AFIPS-SJCC
- Coons, S.A. 1966 Computer Graphics and Innovative Engineering Design, Datamation, Maio
- Coons, S.A. 1967 Surfaces for Computer-Aided Design of Space Forms, Rel. MAC-TR-41, MIT
- Coons, S.A., Mann, R.W. 1960 Computer Aided Design Related to the Engineering Design Process, MIT Electronic Systems Lab Rep. No. 8436-TM-5, Outubro
- Dalkey, N.C. 1958 The Philosophical Implications of High-Speed Computing Machines, 1^o CoEC-ASCE, Novembro
- Encarnação, J.L., ed. 1980 Computer Aided Design - Modeling, Systems Engineering, CAD-Systems, CREST Advanced Course, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 89, Springer-Verlag
- Encarnação, J.L., Lindner, R., Schlechtendahl, E.G. 1990 Computer Aided Design - Fundamentals and System Architectures, Springer-Verlag
- Faux, I.D., Pratt, M.J. 1979 Computational Geometry for Design and Manufacture, Ellis Horwood
- Fenves, S.J. 1963 STRESS (STRuctural Engineering System Solver), A Computer Programming System for Structural Engineering Problems, Rel. MIT
- Fenves, S.J. 1970 Scenario for a Third Computer Revolution in Structural Engineering, 5^o CoEC-ASCE, Setembro
- Fenves, S.J. 1981 Computer-Aided Design in Civil Engineering, Proc. IEEE, Outubro
- Fisher, G.P. 1958 Impact of Computers on Engineering Education, 1^oCoEC-ASCE, Novembro
- Foley, J., vanDam, A., Feiner, S., Hughes, J. 1990 Computer Graphics : Principles and Practice, Addison-Wesley

- Fong, H.K. 1984 Interactive Graphics and Commercial Finite Element Codes, Mechanical Engineering, Junho
- Gardan, Y., Lucas, M., Budynas, R.G. 1985 Interactive Graphics in CAD, Kogan Page
- Gasson, P.C. 1983 Geometry of Spatial Forms, Ellis Horwood
- Gosden, J.A. 1968 Software Compatibility : What Was Promised, What We Have, What We Need, Proc. AFIPS Conf.
- Grimsrud, A., Nay, B.J., Christiansen, H.N., Stephenson, M.B. 1987 An Overview of the MOVIE.BYU System, Brigham Young University [Também Seminário 'Computer Graphics and CAD : State-of-the-Art Assessment', Grupo Local ACM SIGGRAPH de Lisboa, Abril]
- Groover, M.P., Zimmers Jr, E.W. 1984 CAD/CAM : Computer-Aided Design and Manufacturing, Prentice-Hall
- Haigh, M.J. 1985 An Introduction to Computer-Aided Design and Manufacture, Blackwell Scientific Public.
- Hatfield, L., Herzog, B. 1982 Graphics Software - from Techniques to Principles, IEEE Comp. Graph. & App., Janeiro
- Hatvany, J. 1984 Computer Aided Design, CAD, Vol. 16, pp 161-165
- Hatvany, J., Newman, W.M., Sabin, M.A. 1977 World Survey of Computer Aided Design, CAD, Vol. 9, nº 2
- Herzog, B. 1979 Eulogy, Memorial Service of Steven Anson Coons, Agosto 22
- Interactive77 Interactive Design Systems Conference, Computer Aided Design Centre, IPC Press Ltd, Abril 1977
- Jamil, G.L. 1989 Cursos - Computação Gráfica, in IETEC Tecnologia, Junho (orgão do 'Instituto de Educação Tecnológica de Minas Gerais', Belo Horizonte, Brasil)
- Kalay, Y.E. 1989 Principles of Computer Aided Design : Modeling Objects and Environments, John Wiley & Sons
- Kostem, C.N., Shephard, M.S., eds. 1984 Proc. CAD in Civil Engineering, ASCE
- Kozak, J.J., Shields, R.E. 1957 Electronic Computers Speed Up Bridge Design, Civil Engineering, ASCE, Abril
- Livesley, R.K. 1953 Analysis of Rigid Frames by an Electronic Digital Computer, Engineering, Agosto
- Llewelyn, A.I. 1989 Review of CAD/CAM, CAD, Vol. 21, nº 5, Junho
- Logcher, R.D. 1972 The Development of ICES STRUDL, Proc. Advances in Computational Methods in Struct. Mech. and Design, Clough, R.W., et al., eds., UAH Press
- Machado, A. 1985 Desenho da Engenharia e Arquitectura, 2 volumes, 3ª edição, CIP, São Paulo
- Machover, C. 1978 A Brief, Personal History of Computer Graphics, IEEE Computer, Novembro
- Mäntylä, M. 1988 An Introduction to Solid Modeling, Computer Science Press
- McKissick, M.L. 1987 Computer-Aided Drafting and Design, Prentice-Hall
- Medland, A.J., Burnett, P. 1986 CAD/CAM in Practice, Kogan Page
- Medland, A.J., Mullineux, G. 1988 Principles of CAD - A Coursebook, Kogan Page
- Miller, C.L. 1963 Man-Machine Communication in Civil Engineering, 3ª CoEC-ASCE, Agosto
- Monteiro, A.J.S. 1990 PME têm falta de especialistas CAD/CAM, entrevista, Semanário nº 367, Suplemento, 30 de Novembro
- Mortenson, M.E. 1985 Geometric Modeling, John Wiley
- Mortenson, M.E. 1989 Computer Graphics - An Introduction to the Mathematics and Geometry, Heinemann Newnes
- Mullineux, G. 1986 CAD : Computational Concepts and Methods, Kogan Page
- Murphree, E.L., et al. 1966 Environment for Problem-Oriented Languages, 4ª CoEC-ASCE, Setembro
- Pao, Y.C. 1984 Elements of Computer-Aided Design and Manufacturing, John Wiley & Sons
- Port, S. 1984 Computer-Aided Design for Construction, Granada Technical Press
- Prince, M.D. 1971 Interactive Graphics for Computer Aided Design, Addison-Wesley
- Project Staff 1961, Investigations in Computer-Aided Design, MIT Electronic Systems Lab Rep. No. ESL-8436-IR-1, Janeiro
- Qiulin, D., Davies, B.J. 1987 Surface Engineering Geometry for Computer-Aided Design and Manufacture, Ellis Horwood
- Rogers, D.F., Adams, J.A. 1989 Mathematical Elements for Computer Graphics, McGraw-Hill
- Rooney, J., Steadman, P., eds. 1987 Principles of Computer-aided Design, Pitman/Open University
- Ross, D.T. 1960 Computer-Aided Design : A Statement of Objectives, MIT Electronic Systems Lab Rep. NO. 8436-TM-4, Setembro
- Ross, D.T. 1981 APT Session, in Wexelblat 51
- Ross, D.T. 1988 A Philosophy of Computer Aided Design, CAD, Nº especial-20ª aniversário, Dezembro
- Ross, D.T. 1990 The Early Days of CAD, in 'Advanced Geometric Modeling for Engineering Applications', F-L Krause, H. Jansen, eds., Elsevier
- Ross, D.T., Rodriguez, J.E. 1963 Theoretical Foundations of the Computer-Aided Design System, AFIPS-SJCC, Spartan Books

- Santo, H.P. 1982 Breve Panorama e Síntese Histórica das Aplicações Gráficas por Computador na Análise de Estruturas, 1^ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, L.N.E.C., Novembro
- Santo, H.P. 1985 Métodos Gráficos e Geometria Computacionais, Vol. 1 : Conceitos Básicos, Dinalivro, Lisboa
- Santo, H.P. 1986 Sine CAD Non I, Seminário sobre o Ensino da Engenharia, Comemoração dos 75 Anos do Instituto Superior Técnico, Novembro
- Santo, H.P. 1987 CAD : Computer Aided DESIGN or COMPUTER Aiding Design? A Personal Assessment of Engineering Science in the Context of CAD, NATO ASI on Theoretical Foundations of Computer Graphics and CAD, Itália, Julho, Rel. CREST DEC AI 71/87
- Santo, H.P. 1988 Interação Gráfica Pessoa-Computador : Uma Bibliografia Comentada, Relatório CREST AI 101/88 (também Workshop "Sistemas e Normas Gráficas", Junho 1988, IST, Grupo Local ACM SIGGRAPH de Lisboa)
- Santo, H.P. 1989a Visualization, Engineering, Computers and CAD - A Comprehensive Assessment of History, Research, Education and the Future, NATO ARW on Supercomputing, Trondheim, Noruega, Junho
- Santo, H.P. 1989b Computação Gráfica, Compugrafia ou Compugráfica ? Contribuição para uma Terminologia em Português Mais Racional e Consensual no Domínio das Aplicações Gráficas por Computador, 2^º Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, Águas de Lindóia, S.P., Brasil, Abril, e (versão corrigida, actualizada e expandida) 2^º Encontro Português de Computação Gráfica, Porto, Outubro
- Santo, H.P. 1991 Introdução à Concepção e Projecto Auxiliados por Computador, "Folhas" da cadeira Projecto Assistido por Computador, 5^º ano de Engenharia Civil, 4 partes, 2 volumes, Instituto Superior Técnico, Secção de Folhas, Associação dos Estudantes do IST
- Schlechtendahl, E.G. 1985 Evolutionary Aspects of CAE Systems, Engineering with Computers, Vol 1, n^º 1
- Scrivener, S.A., ed. 1985 Computer Aided Design and Manufacture : State of the Art Report 13:8, Infotech Ltd
- Simpósios86 1986 "Simpósio CAD/CAM", Ordem dos Engenheiros, Lisboa e Porto, Outubro e "Simpósio sobre CAD.CAM - Revisão da Situação Brasileira", Sobracon, São Paulo, Novembro
- Sutherland, I.E. 1963 Sketchpad - A Man-Machine Graphical Communication System, AFIPS-SJCC
- Tozzi, C.L. 1986 Projeto Auxiliado por Computador, Papirus/Unicamp
- Turner, M.J., Clough, R.W., Martin, H.C., Topp, J.L. 1956 Stiffness and deflection analysis of complex structures, J. Aeron. Science, Setembro
- VEJA Setembro 20, 1989, artigo "Novos Projetos na Tela"
- Vine-Lott, K.M., ed. 1972 Computers in Civil Engineering Design, NCC-National Computing Centre Ltd
- Vlietstra, J., Wielinga, R.F., eds. 1973 Computer-Aided Design, North-Holland
- Voisinet, D.D. 1987 Computer-Aided Drafting and Design, McGraw-Hill
- Wexelblat, R.L., ed. 1981 History of Programming Languages, ACM Monograph Series
- Yamaguchi, F. 1988 Curves and Surfaces in Computer Aided Geometric Design, Springer-Verlag
- Yoshikawa, H., Warman, E.A. 1987 Design Theory for CAD, North-Holland
- Zuffo, J.A. 1984 Compêndio de Microeletrônica, Livro 3 - Princípios de Projetos e Tecnologias Complementares, Ed. Guanabara Dois, S.A.

"PROJECTO AUXILIADO POR COMPUTADOR"

TRABALHO Nº 1

Com base na teoria exposta, elabore um programa para geração e representação de superfícies de Bézier, utilizando a norma GKS e o Turbo Pascal (PC's). [Em alternativa poderá empregar o VAX GKS do CIIST, em qualquer linguagem.]

O programa deverá considerar no mínimo :

- uma superfície de Bézier bi-cúbica (um "patch" ou 'retalho');
- várias "vistas" da superfície;
- representação do poliedro de apoio a traço interrompido junto com a superfície propriamente dita (em pelo menos uma "vista").

O Trabalho deverá constar no mínimo de :

- Relatório
- Listagem do programa
- Desenhos

Aspectos complementares do trabalho :

- representação com linhas ocultas eliminadas;
- justaposição de vários "retalhos" bi-cúbicos;
- variação dos pontos de controle e representação comparativa dos diversos casos;
- consideração de superfícies de diferentes graus, comparando-as entre si;
- traçado de uma moldura no desenho e textos de identificação adequados;
- inclusão de um 'menu' apropriado no programa que permita seleccionar racionalmente as várias opções (diferentes "vistas", alteração dos pontos de controle, alteração do grau da superfície, justaposição de várias superfícies, eliminação das linhas ocultas, texto, etc).

"PROJECTO AUXILIADO POR COMPUTADOR"

TRABALHO Nº 2

Utilizando o sistema AutoCAD™ (comandos directos e/ou utilizando AutoLISP™), elabore peças desenhadas de projecto (segundo critérios de pré-dimensionamento), para uma das modalidades seguintes :

- arquitectura de moradia ou edifício (implantação, plantas, alçados, cortes, etc);
- betão armado de moradia ou edifício (vigas, pilares, lajes, etc);
- urbanização (incluindo rede viária, perfis longitudinais e transversais dos arruamentos, rede de abastecimento de água, drenagem, esgotos, etc);
- via de comunicação (directriz, perfil longitudinal, perfis transversais, movimento de terras, etc);
- aérodromo, porto, canal ou túnel;
- estruturas diversas (ponte, estação elevatória, silo, barragem, cobertura especial, muro de suporte, fundação especial, escada, etc);
- outros tipos de projecto de Engenharia Civil escolhidos ou concebidos pelos Grupos.

O Trabalho deverá constar no mínimo de :

- Relatório/Memória Descritiva;
- Listagem do programa em AutoLISP™ (se for utilizada);
- Desenhos (com esquadria e legenda).

Aspectos complementares do trabalho :

- utilização da AutoLISP™ para configuração de aplicações mais elaboradas, conforme o tipo de projecto;
- construção de 'menus' apropriados para selecção das várias opções em cada caso.

