



III ENCONTRO NACIONAL I ENCONTRO LATINO-AMERICANO

Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

SIMULADOR DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE AUDITÓRIOS COMPATÍVEL COM SISTEMAS DE DESENHO ASSISTIDO POR COMPUTADOR

Marco Antônio Cypreste Romanelli
Departamento de Arquitetura e Urbanismo – UFES
Av. Fernando Ferrari s/n^o, Goiabeiras, Vitória, ES, 29.060-900
Telefones: (027) 335 2565 e 235 1903; Fax: (027) 335 2577

RESUMO

Apresenta-se o protótipo de um simulador acústico de auditórios escrito em linguagem AutoLISP®, compatível com o aplicativo AutoCAD. A interação com o usuário é analisada passo a passo, bem como a estrutura lógica das principais funções. As possibilidades de desenvolvimento do programa são reportadas, ao lado de exemplos dos resultados gráficos de sua utilização.

ABSTRACT

A prototype for an acoustical simulator for auditoria is presented. AutoCAD compatible Auto LISP programming language has been used. User interface steps are analysed, as well the logical structure of main functions. Possibilities of future development are reported, besides graphical outputs from running software.

PALAVRAS-CHAVES

Acústica; Computação Gráfica; Programação; Software.

INTRODUÇÃO

Avaliar com certo rigor os resultados dos projetos de Arquitetura quanto ao conforto não é uma tarefa simples nem rápida, que possa integrar os procedimentos convencionais de projeto sem solução de continuidade nos mesmos. Ao contrário, é necessário via de regra interromper de alguma forma o projetar para implementar determinado sistema de simulação, que envolverá rotinas de trabalho no mínimo diferentes daquelas utilizadas para produzir os projetos de Arquitetura.

É, portanto, de grande utilidade a criação de simuladores compatíveis com os instrumentos utilizados para a concepção gráfica dos projetos de Arquitetura, não somente com relação ao conforto, mas em qualquer campo em que seja necessário elaborar previsões sobre algo relativo à produção arquitetônica.

Interessamo-nos especificamente pelo desenho de superfícies refletoras de som em ambientes de audiência com *lay-out* fixo, ou seja, tetos acústicos em auditórios; projetados através de sistemas CAD usando desenhos em duas dimensões. Trata-se de um compromisso com o tipo mais frequente de problema a resolver: a sala de pequeno ou médio porte em que o teto é o principal agente refletor; e com o tipo mais comum de representação do espaço em Arquitetura, mesmo quando assistida por computador.

Um dos mais populares sistemas de Desenho Assistido por Computador é o AutoCAD, produzido pela companhia Autodesk, nos Estados Unidos da América. AutoCAD é um programa de computador que permite ao usuário informar à máquina elementos de composição de um desenho, com ênfase naquele conhecido como desenho técnico: é construído com linhas e pontos, dados por suas coordenadas cartesianas, de modo a permitir sua utilização para a confecção do objeto desenhado.

Além da produção do desenho em si, AutoCAD pode ser personalizado de acordo com requisitos específicos de cada usuário, através de funções internas especificamente designadas para este fim, e, principalmente, da linguagem LISP para programação de computadores. AutoCAD é compatível com esta linguagem através do AutoLISP, também produzido pela Autodesk, que vem a ser uma espécie de "dialeto" LISP.

Esta última possibilidade é exatamente a que nos interessa, pois é a que permitirá escrever um programa simulador de conforto que possa funcionar "de dentro" do AutoCAD, utilizando como dados de entrada um arquivo normalmente gerado para os fins convencionais de desenho, oferecendo resultados que podem ser imediatamente aplicados ao projeto e, principalmente, que esteja disponível como mais um comando ou função do sistema.

Em nossa atividade profissional, tanto na escola quanto no escritório de arquitetura, temos tido cada vez mais contato com sistemas CAD, instalados em computadores compatíveis com os IBM PC-AT[®]. Estes sistemas são, em sua quase totalidade até hoje, versões continuamente atualizadas do AutoCAD. Ao que tido indica, este é um dos sistemas mais utilizados na automação de escritórios de projeto, e, de nossa parte, é o que melhor conhecemos como usuários. Especificamente trata-se do AutoCAD versão 10, com ADE-3[®] (*Advanced Drafting Extension*, extensão avançada para desenho), que contém o AutoLISP.

Em que pese o fato de que a versão atual do AutoCAD é a de número 12, a estrutura básica do programa permanece, e especificamente no caso do AutoLISP, as modificações são pequenas. Sendo assim, acreditamos ser a versão 10 um ambiente ainda favorável para o desenvolvimento de um protótipo do simulador que pretendemos criar. Passará a ser parte do AutoCAD, analisando o desempenho acústico de salas que tenham sido desenhadas normalmente com o sistema.

O SIMULADOR "AUTORØM"

O programa é um arquivo ASCII chamado AutoRØM.LSP e utiliza como base de dados para a simulação o corte longitudinal do auditório, em que tradicionalmente se estuda a forma do teto da sala tendo em conta a primeira reflexão do campo sonoro. Pode mesmo ser uma dos demais desenhos do projeto, não sendo necessária a construção de um desenho especial para o projeto acústico. Os únicos requisitos são a fonte e os ouvintes desenhados com o comando CIRCLE do AutoCAD e o teto desenhado com LINE.

Quando acionado, o programa solicita ao usuário a definição de seus dados de entrada, num processo de interação idêntico ao utilizado nos demais comandos do AutoCAD. De posse dos dados, o programa desenha as imagens da fonte em cada porção plana do teto, verifica se cada ouvinte recebe som de cada uma das imagens da fonte e calcula, para cada ouvinte, as intensidades sonoras direta, refletida e total. Depois, processa estatisticamente os valores das intensidades totais em todos os ouvintes, calculando um índice de uniformidade do campo acústico sobre a platéia proporcionado pelo teto proposto.

O programa é acionado tecendo "QI" (de Quality Index), seguindo-se esta interação:

Command: [QI]

Calculates a Quality Index for a ceiling over listeners to a source.

Defining source:

Enter power (W): [solicita a potência da fonte em Watt. Aceitará qualquer número real positivo e diferente de zero. A entrada nula não é aceita]

Enter directivity (human = 6): [solicita a diretividade da fonte e avisa que o valor 6 simula fontes humanas. O valor 1 simula fontes omnidirecionais. Aceita qualquer real positivo não zero, não aceita nulo]

Select Objects: [solicita a seleção do objeto-fonte sonora. Aceita qualquer CIRCLE com z = 0 na UCS World]

Defining listeners:

Select objects: [solicita a seleção do(s) objeto(s)-ouvinte(s). Aceita qualquer conjunto de CIRCLES com z = 0 na UCS World. Não considera a obstrução de um ouvinte por outro]

Defining ceiling:

Enter absorption (%): [solicita a absorção do material do teto. Aceita qualquer real positivo não zero, não aceita nulo. Entradas superiores a 100 provocam erro]

Select object: [solicita a seleção do(s) objeto(s)-teto. Aceita qualquer conjunto de LINES com z = 0 na UCS World. Não considera a obstrução de uma placa por outra]

Defining reference:

Enter reference type Distance / Listener: [solicita o tipo de referência a utilizar no cálculo do Índice de Qualidade. Aceita D para tomar como referência a intensidade direta da fonte a uma distância a ser fornecida pelo operador. Aceita L para tomar como referência a intensidade direta da fonte em um ouvinte a ser apontado pelo operador. Não aceita nulo]

Enter Reference Distance: [ou **Enter Row's number of Reference Listener:**. Solicita a distância ou o número da fila do ouvinte para usar como referência, dependendo da escolha anterior do operador. Aceita qualquer distância real positiva não zero, ou qualquer número inteiro para a fila do ouvinte. A entrada nula provoca erro, bem como um inteiro negativo para a fila]

Quality Index for this ceiling is: x.xxxxx (Optimum = 1).

Average Sound Intensity: x.xxxxx W/m² and Sound Intensity Standart Deviation is: x.xxxxx W/m². [Apresenta os resultados: o Índice de Qualidade, a Média e o Desvio-Padrão para as intensidades sonoras totais]

Command: [Graph] [desenha junto à origem (0,0) as curvas representativas do som direto, refletido e total ao longo da platéia]

Command: !tf [lista os valores da intensidade sonora total em cada ouvinte]

Command: !df [lista os valores da intensidade sonora direta em cada ouvinte]

Command: !srf [lista os valores da soma das intensidades sonoras refletidas em cada ouvinte]

Command: !rf [lista os valores da intensidade sonora refletida por cada placa em cada ouvinte]

Command: [Echo]

Draws an Echogram for a ceiling over a listener to a source.

Defining source:

Enter power (W): [solicita a potência da fonte em Watt. Aceitará qualquer número real positivo e diferente de zero. A entrada nula não é aceita]

Enter directivity (human = 6): [solicita a diretividade da fonte e avisa que o valor 6 simula fontes humanas. O valor 1 simula fontes omnidirecionais. Aceita qualquer real positivo não zero, não aceita nulo]

Select Objects: [solicita a seleção do objeto-fonte sonora. Aceita qualquer CIRCLE com z = 0 na UCSWorld]

Defining listener:

Select objects: [solicita a seleção do objeto-ouvinte. Aceita qualquer CIRCLE com z = 0 na UCSWorld]

Defining ceiling:

Enter absorption (%): [solicita a absorção do material do teto. Aceita qualquer real positivo não zero, não aceita nulo. Entradas superiores a 100 provocam erro]

Select object: [solicita a seleção do(s) objeto(s)-teto. aceita qualquer conjunto de LNEs com z = 0 na UCSWorld. Não considera a a obstrução de uma placa por a outra. O programa desenha junto ao ponto (0,0) linhas verticais representativas da intensidade do som direto e de cada reflexão recebidos pelo ouvinte selecionado]

BREVE ANÁLISE DAS FUNÇÕES DO SIMULADOR

A estrutura lógica é um clássico arranjo de dois *loops* aninhados. O programa toma o primeiro anteparo e calcula o som refletido no primeiro ouvinte. Depois, pergunta se há outro ouvinte, testando se o contador de ouvintes é maior ou igual a 1. Enquanto o teste for positivo, o *loop* interno prossegue calculando o som refletido por esta primeira placa aos demais ouvintes.

Quando o teste do contador de ouvintes dá negativo porque todos foram considerados, pergunta se há outro anteparo, testando se o contador de anteparos é maior ou igual a 1; e o *loop* externo repete os cálculos do som refletido em cada novo anteparo até o teste informar a inexistência de outros anteparos, encerrando o *loop*. A figura 01 apresenta o fluxograma dos dois laços aninhados. Neste arranjo, o cálculo do som direto será feito tantas vezes quantos forem os ouvintes, bem como o será a soma para o som total. O cálculo do som refletido será feito tantas vezes quanto for o número de ouvintes multiplicado pelo número de anteparos.

O som refletido calculado é registrado numa lista para cada anteparo, e cada uma destas listas contém a ação de cada anteparo sobre cada ouvinte. O som direto é calculado quando o contador de anteparos for igual a 1, isto é, quando o *loop* externo acionar o *loop* interno pela última vez. Este também é registrado numa lista. O cálculo do som total é feito fora dos *loops*, somando um a um os elementos das listas do som refletido em cada

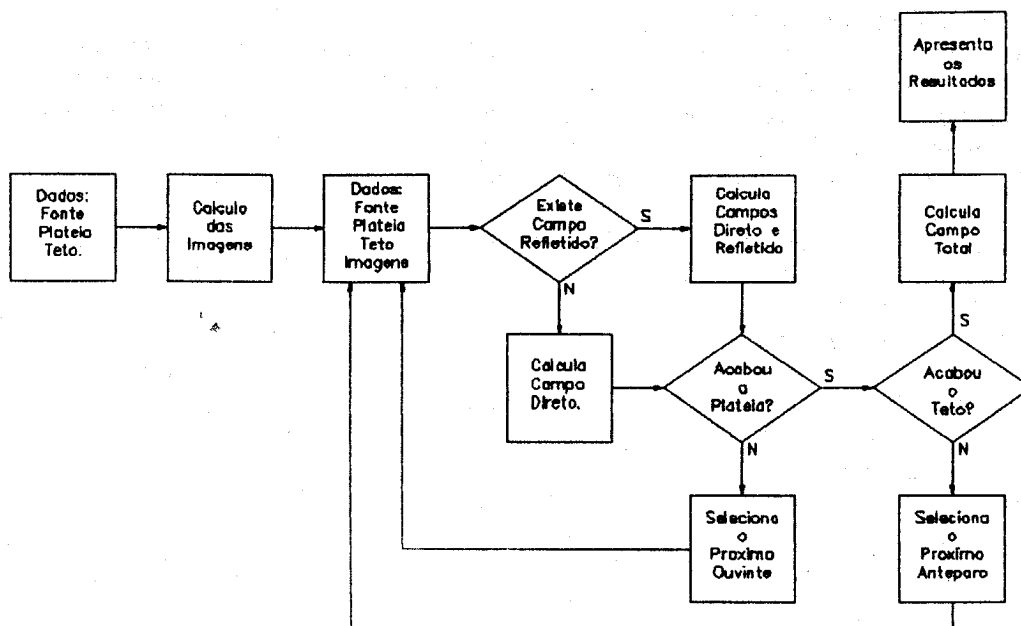


Figura 01. Fluxograma do arquivo AutoROM.LSP contendo dois *loops* aninhados.

anteparo, compondo uma outra lista com a soma do som refletido em cada ouvinte. Finalmente são somados um a um os elementos desta lista com os da lista do som direto, compondo uma lista com o som total.

Desta forma temos como resultados uma lista com o som total em cada ouvinte, uma outra com o som direto, uma com o som refletido e ainda um conjunto de listas com o som refletido em cada ouvinte por cada placa.

As variáveis TF e DF (*Total Field* e *Direct Field*) contém o som total e o som direto, respectivamente, por ouvinte. SRF (*Sum of Reflected Fields*) armazena a soma do som refletido e RF (*Reflected Field*) contém o som refletido separado por placa. Todos estes valores são intensidades sonoras, calculados em W/m^2 .

O Índice de Qualidade. É calculado a partir do tratamento estatístico dos valores constantes na lista do som total TF. A expressão para este índice de qualidade é:

$$IQ = TFa / TFr (1 + Tfd / TFa)$$

Onde TFa é o valor médio para as intensidades, TFr é o valor de referência tido como aceitável para uma boa audição e Tfd é o desvio-padrão dos valores calculados para as intensidades. A média TFa e o desvio-padrão Tfd são calculados convencionalmente; e o valor de referência TFr pode ser calculado de duas formas:

Se o operador selecionou o tipo de referência como distance, TFr será calculado como:

$$TFr = WF / 4 \pi d^2$$

Onde WF é a potência da fonte em Watt e d é a distância de referência indicada pelo operador. Se o tipo de referência escolhido foi um ouvinte, TFr será o valor para o som total neste ouvinte, extraído da lista TF.

A relação Tfd / TFa é a Variância dos valores de TF, e mede o quanto os valores se dispersam em torno do valor médio. Estatisticamente, portanto, o índice é construído comparando o valor médio com o valor de referência, sendo este último aumentado com base no valor da Variância.

Um índice assim será tanto melhor quanto maior for a média e menor o desvio, e vice-versa. Ele nos informaria sobre o quanto uma sala em projeto se comporta, por suas características geométricas, de acordo com um padrão de qualidade pré-estabelecido, possibilitando a avaliação do resultado da aplicação das recomendações usuais em arquitetura ao projeto de auditórios.

A condição ideal, ou seja, o melhor índice possível, é 1; que ocorreria caso o valor médio TFa fosse igual ao valor de referência TFr e ainda caso todos os valores fossem iguais ao valor médio, ou seja, desvio padrão Tfd igual a zero. A mensagem com os resultados menciona este valor como "Optimum = 1".

Os valores constantes nas variáveis TF, DF, SRF e RF podem ser acessados convencionalmente em AutoLISP teclando um ponto de exclamação seguido do nome da variável, como mostrado na análise da interação.

Estão disponíveis ainda duas rotinas de apresentação de resultados em formato gráfico. A primeira registra as intensidades calculadas para o som direto, refletido e total; e a segunda registra, para um dado ouvinte, o ecograma contendo o som direto e o som refletido em cada placa do teto.

A função GRAPH. A rotina que desenha as intensidades é uma nova função, chamada GRAPH, acrescentada ao arquivo que já contém a função QI. A função GRAPH opera com dados fornecidos pela QI, de modo que é necessário acionar QI antes de GRAPH, que funciona como uma opção de visualização dos resultados de QI.

Em linhas gerais, GRAPH desenha POLYLINES usando como coordenadas dos vértices abscissas proporcionais às distâncias dos ouvintes à fonte, e ordenadas proporcionais às intensidades do som considerado. Assim são desenhadas três POLYLINES, uma para o som direto, outra para o som refletido e outra para o som total.

Como as coordenadas têm valores muito pequenos em relação às dimensões dos demais elementos do desenho, o resultado do acionamento de GRAPH só é visível com um ZOOM restrito às proximidades do ponto (0,0). Neste caso, os limites do desenho devem incluir este ponto e suas redondezas (o que não é normalmente imprescindível ao desenhar com AutoCAD) para permitir que as POLYLINES sejam desenhadas totalmente dentro destes limites; do contrário GRAPH retorna a conhecida mensagem:

*** Outside limits ***

A leitura do gráfico é facilitada pelo movimento do cursor associado à demonstração das coordenadas de onde ele aponta, na parte superior da tela do AutoCAD. Esta rotina poderia ser complementada com a criação prévia de um outro desenho contendo um reticulado e escalas de leitura do gráfico, que seria automaticamente inserido por GRAPH a partir do ponto (0,0), mas por enquanto temos este desenho disponível apenas para a inserção manual pelo operador.

O funcionamento de GRAPH ficou bastante satisfatório, embora dotado de algumas características que merecem reparo. A principal delas é que o sentido decrescente do som no gráfico depende da posição relativa fonte ouvintes: se estes foram desenhados a direita da fonte, o gráfico decresce da esquerda para a direita; e vice-versa, decrescendo da direita para a esquerda caso os ouvintes tenham sido desenhados à esquerda da fonte.

A função ECHO. A rotina que desenha ecogramas é uma função chamada ECHO, de funcionamento totalmente autônomo em relação a QI. Isto significa que ECHO tem uma entrada de dados independente, podendo ser acionada a qualquer momento. Neste caso, ela solicitará do operador todos os dados necessários: potência e localização da fonte sonora, localização do ouvinte (apenas um) para o qual será produzido o ecograma, e a absorção e localização das placas do teto.

O funcionamento é igualmente simples, desenhando LINES verticais com abscissas proporcionais à duração do atraso de marcha, calculado com a distância da fonte (ou da imagem) até o ouvinte e com a velocidade do som igual a 340 m/s. Os pontos iniciais tem ordenada zero e os finais tem ordenada proporcional às intensidades

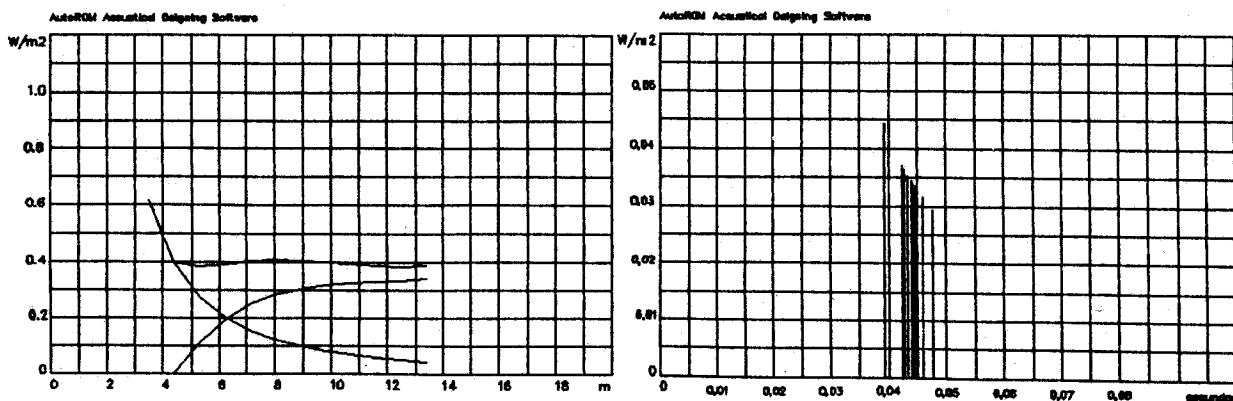


Figura 02. As curvas de decaimento (e) e um ecograma (d) como desenhados pelo AutoRØM.

sonoras. Os valores de tempo são multiplicados pelo fator dez para se tornarem compatíveis com os valores das intensidades.

Os resultados de ECHO aparecem na mesma posição e escala dos resultados de GRAPH, sendo necessário um ZOOM próximo a (0,0) para a sua correta visualização. É importante atentar para o fato de que os resultados de ECHO têm a mesma relação com a posição fonte-ouvintes no desenho que aqueles de GRAPH, e ainda que algumas reflexões tem atrasos muito semelhantes, ocorrendo desenhos de linhas muito próximas. Como AutoCAD tem resolução praticamente infinita no ZOOM, sempre é possível investigar se não há dois ou mais ecos bem próximos que pareçam, à primeira vista, um só. A figura 02 mostra o resultado das funções GRAPH e ECHO, com os reticulados e escalas inseridos pelo operador.

CONCLUSÕES

Na versão em que se encontra, AutoRØM permite uma utilização proveitosa, mas necessita ainda de alguns retoques, notadamente nos dispositivos de entrada e saída de dados.

Cada simulação de um novo teto exige uma entrada completa dos dados – fonte, ouvintes, absorção – vários dos quais serão repetidos. O programa deverá contar com uma rotina de entrada de dados estruturada por função; ou seja, a entrada será diferenciada no caso da primeira simulação ou de outra qualquer de uma série delas.

Quanto à saída, ainda não é possível registrar os resultados de cada simulação em um arquivo, e isto deverá estar presente em futuras versões. Esta complementação transformaria o protótipo num produto acabado como simulador. Mas poderíamos continuar avançando com a programação no sentido de automatizar alguns passos, como o acabamento de gráficos mencionado anteriormente; e principalmente com o desenho automático do teto.

A partir de dados como a fonte, os ouvintes, um ponto inicial e uma região de atuação, é perfeitamente possível escrever um programa que desenhe sozinho a seção de um teto acústico que proporcione uniformidade da audição do campo refletido uma vez, em sua área de atuação. Como o processo de desenho dispõe de comandos prontos no AutoCAD, a tarefa seria praticamente um agrupamento de alguns destes comandos – ou um macro-comando – que desenharia o teto tendo os dados como argumentos. O índice de qualidade serviria para confirmar o resultado e possibilitar a comparação com outros.

Finalmente, uma tarefa mais ambiciosa seria a criação de um simulador tridimensional para reflexões múltiplas que, com a contrapartida da necessidade de modelar a sala em três dimensões – abandonando o compromisso com a atividade mais cotidiana do Arquiteto; seria um instrumento muito mais poderoso de simulação da realidade acústica. Certamente neste caso seria esgotada a capacidade de memória da configuração de *hardware* que temos utilizado; bem como seria mais adequada a versão mais recente do AutoCAD, que conta com um comando MIRROR em três dimensões essencial para o desenho das imagens da fonte.

Como possibilidade mais atraente, e que desperta interesse imediato na continuidade deste trabalho, emerge a automação da otimização da forma do teto. Poderá ser feita com a configuração atual e conserva o caráter de núcleo principal de operação, ao contrário das rotinas de entrada e arquivamento de dados e resultados. É no que estamos trabalhando no momento.

REFERÊNCIAS

AUTODESK, Inc., *AutoCAD Release 10 Reference Manual*, Sausalito, Autodesk, Inc., 1989.

AUTODESK, Inc., *AutoLISP Release 10 Programmer's Reference*, Sausalito, Autodesk, Inc., 1989.

NEPOMUCENO, L. X., *Acústica Técnica*, São Paulo, Etegil, 1968.

THOMAS, R. M., *Advanced Techniques in AutoCAD*, Alameda, Sybex, 1988.

© AutoCAD, AutoLISP e ADE são marcas registradas de Autodesk, Inc., USA. IBM PC-AT é marca registrada de International Business Machines Corp., USA.