

# SÍNTESE DE SOM 3D EM AMBIENTES DE REALIDADE VIRTUAL - APLICAÇÃO A SIMULADORES DE CONDUÇÃO

António Fernando V. C. C. Coelho<sup>1</sup>

João Miguel M. Leitão<sup>2,3</sup>

Fernando Nunes Ferreira<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> UTAD, Secção de Engenharias, Apt. 202, 5001 Vila Real CODEX, Portugal

<sup>2</sup> ISEP, Rua S. Tomé, 4200 Porto, Portugal

<sup>3</sup> INESC, Pr. Mompilher 22, Apt. 4433, 4007 Porto CODEX, Portugal

<sup>4</sup> FEUP, R. dos Bragas, 4099 Porto CODEX, Portugal

## Sumário

Com o avanço da tecnologia informática, é hoje em dia possível construir sistemas de Realidade Virtual com elevado nível de realismo, possibilitando uma sensação de presença em ambientes sintetizados.

No desenvolvimento de um sistema de Realidade Virtual, é essencial que o participante se sinta completamente imerso no ambiente simulado, nomeadamente no que respeita às sensações auditivas.

De forma a melhorar qualitativamente a capacidade de imersão, foi desenvolvido um sistema que realiza a síntese de Som 3D, que se descreve neste trabalho. O sistema desenvolvido, integrado num simulador de condução, permite criar um espaço auditório realista envolvendo o condutor, onde os objectos da simulação são identificáveis e localizáveis a partir do som que emitem. Para além da espacialização das fontes sonoras são também modelados efeitos acústicos, como o efeito Doppler, a atenuação com a distância, a absorção atmosférica e o atraso de propagação.

A aplicação de síntese de Som 3D foi desenvolvida num computador pessoal equipado com placas de som comerciais de baixo custo. A aplicação permite uma fácil integração com plataformas de simulação de condução através de uma rede local, como se descreve no presente trabalho.

**Palavras Chave:** Som 3D, Som Espacial, Audio 3D, Audio Espacial, Síntese de Som, Simulação, Realidade Virtual

## 0. Introdução

Uma vez que o ser humano se orienta sobretudo pelo sentido da visão, esta proporciona-lhe a maior parte da informação do ambiente envolvente. Este sentido, no entanto, só lhe permite uma percepção do espaço visual à sua frente num ângulo de 180°. O sentido da audição, por sua vez, permite ao ser humano obter informação do ambiente sonoro envolvente em 360°, embora com uma resolução inferior. Assim, se num sistema de Realidade Virtual se integrar a informação visual com informação sonora, aumenta-se a percepção por parte do utilizador do ambiente virtual envolvente, bem como a sua capacidade de imersão nesse ambiente.

[Bar93]

A tecnologia de síntese de Som 3D é o último avanço no campo da síntese de som, de forma a reproduzir no sistema auditivo humano informação sensorial idêntica à que é escutada no mundo real.

O Som 3D (também denominado Som Espacial) define-se como sendo som processado de forma a dar ao ouvinte a percepção da localização de fontes sonoras virtuais que povoam um determinado espaço virtual envolvente, bem como das suas características.

Neste artigo descreve-se o desenvolvimento de um sistema de síntese de Som 3D, de baixo custo, desenvolvido num computador pessoal e possibilitando a sua integração com diversas plataformas de simulação através de uma rede local.

Em primeiro lugar, apresentam-se as características principais do sistema de síntese de Som 3D (secção 1) bem como a sua arquitectura (secção 2). De seguida, faz-se uma descrição do processo de síntese de Som 3D adoptado (secções 3 e 4) e analisa-se a estrutura da aplicação de síntese de Som 3D baseada na metodologia OMT - *Object Modelling Technique* (secção 5). Finalmente, descreve-se a integração deste sistema com um simulador de condução automóvel (secção 6).

## 1. Características Principais do Sistema de Síntese de Som 3D

O sistema de síntese de Som 3D [Coe96] foi desenvolvido como um sistema de campo aberto, ou seja um sistema em que o som é reproduzido através de colunas de som<sup>1</sup>. O número de colunas de som e a sua configuração podem ser especificados pelo utilizador. As colunas deverão ser dispostas segundo um círculo à volta do utilizador, e orientadas de forma a posicionar sobre este o seu ponto central (*sweet spot*). Existe a possibilidade de reproduzir os efeitos sonoros característicos do próprio veículo de simulação através de um dos canais do sistema. Desta forma é possível, por exemplo, o condutor sentir as vibrações do motor do seu automóvel ou o som das rodas sobre o pavimento.

O sistema de síntese de Som 3D permite a espacialização sonora simultânea de um máximo de 16 fontes sonoras com qualidade CD. Este limite, devido às características do hardware, não diminui a qualidade do sistema. De facto, o ser humano só consegue concentrar-se numa única fonte sonora de cada vez, dentro do conjunto limitado de fontes sonoras que emitam estímulos com maior “importância”, para as quais a sua atenção possa ser desviada. [Ste93]

Este sistema é adequado a uma plataforma de simulação de condução, sendo toda a espacialização das fontes sonoras virtuais realizada com informação da sua base de dados, que é comunicada em tempo real à aplicação de síntese de Som 3D através de uma rede

---

<sup>1</sup> É também possível configurar o sistema de síntese de Som 3D como um sistema de campo fechado, em que o som é reproduzido por auscultadores, sendo no entanto inferior a qualidade da espacialização sonora.

local. As fontes sonoras são modeladas a partir de sons amostrados que podem ser captados a partir de gravações dos sons originais e podem ser controladas individualmente a partir da plataforma de simulação.

Para além da espacialização das fontes sonoras, são tidos em conta diversos efeitos acústicos como o efeito Doppler, a atenuação com a distância, a absorção atmosférica e o atraso de propagação, bem como a fricção e turbulência provocados pelos objectos no seu deslocamento e a alteração do som gerado pelas fontes sonoras associadas a motores (por exemplo devida ao regime de rotação e binário destes).

## 2. Arquitectura do Sistema de Síntese de Som 3D

O sistema de síntese de Som 3D é constituído por dois módulos tal como se pode observar na figura 1.

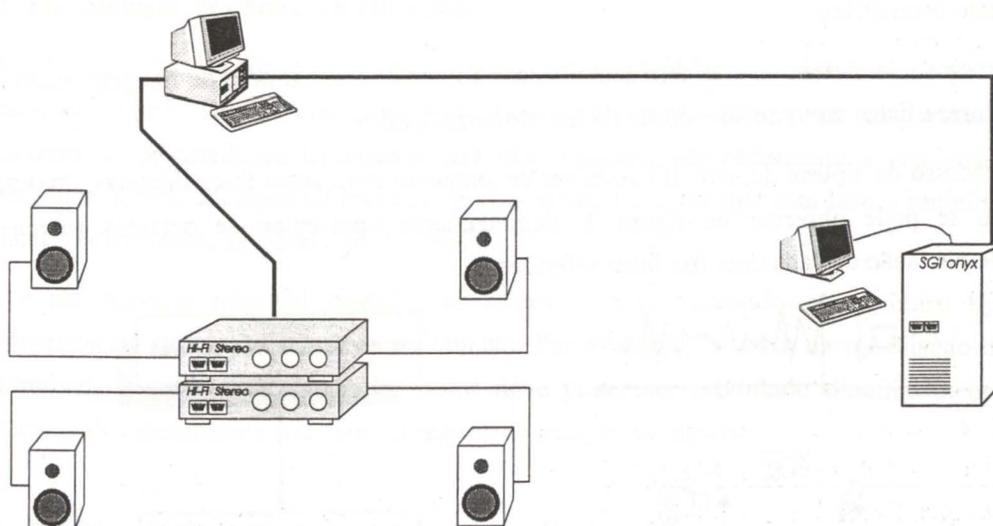


Fig. 1 - Arquitectura do sistema de síntese de Som 3D.

A aplicação de síntese de Som 3D foi desenvolvida num computador pessoal, e é responsável pela espacialização sonora dos objectos da simulação e geração do som. A geração de som é realizada por duas placas de som *Sound Blaster AWE32* da *Creative Labs* fornecendo assim um total de quatro canais de som por computador, os quais são amplificados por amplificadores comerciais que alimentam cada par de colunas de som.

O sistema base de simulação de condução automóvel encontra-se numa estação gráfica *Silicon Graphics Reality Engine Onyx*, sobre *IRIS Performer 2.0* [Roh96].

Dada a natureza distinta das plataformas utilizadas para a simulação e para a síntese de Som 3D, a solução adoptada para a comunicação de informação entre ambas, passa pela utilização de uma rede local. O sistema de comunicação utilizado envolveu o uso de *sockets*,

funcionando a plataforma de simulação de condução como servidor e a aplicação de síntese de Som 3D como cliente. Ao estabelecer a comunicação, a aplicação de síntese de Som 3D, envia um pacote contendo a identificação dos objectos que possuem informação sonora. Durante a sessão de simulação, o simulador envia a informação referente a cada um destes objectos, em cada ciclo de geração de imagem.

### 3. Processo de Síntese de Som 3D

Por síntese de Som 3D, entende-se um método computacional para criar o som escutado por um espectador num determinado ambiente virtual contendo diversos objectos emitindo sons.

A ideia base consiste em tratar os sons como objectos unidimensionais (dimensão temporal) associados a objectos geométricos num mundo tridimensional. Cada som é um sinal dependente do tempo, e tal como uma textura gráfica, está localizado num determinado objecto geométrico.

O processo de síntese de som tem semelhanças ao processo de síntese de imagem, dado que a natureza física tanto do som como da luz são semelhantes.

O processo de síntese de som 3D pode ser decomposto em quatro fases distintas [Tak92], como se pode observar na figura 2. Seguidamente apresentam-se detalhes acerca da implementação de cada uma das fases referidas.

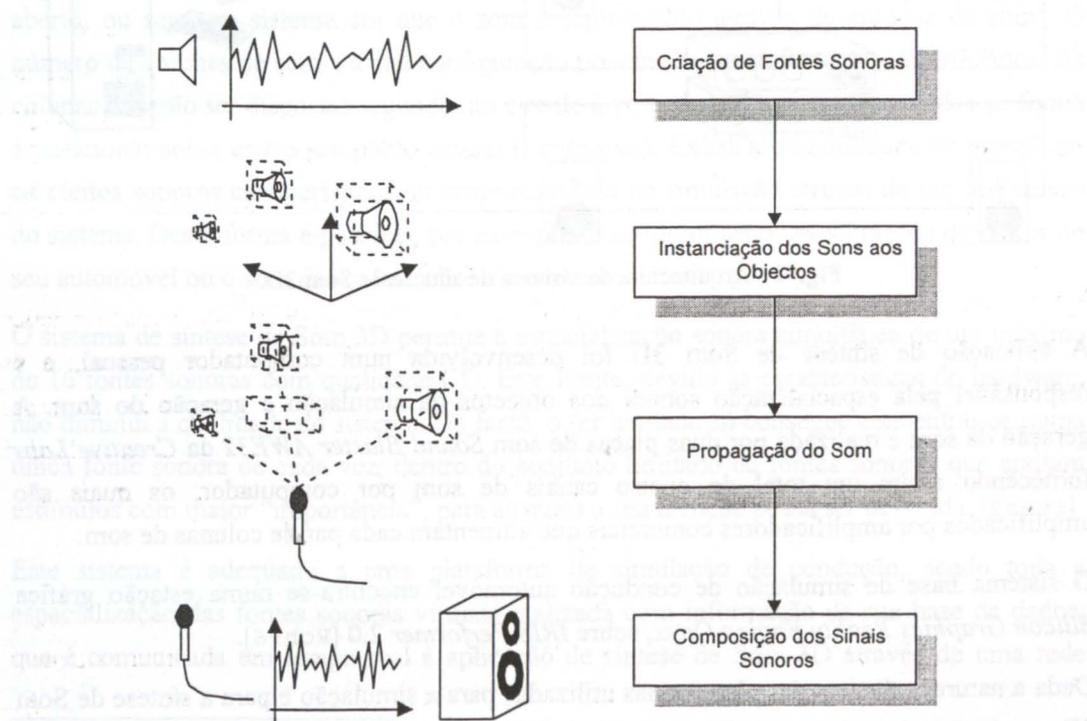


Fig. 2 - Processo de síntese de Som 3D.

### **3.1 Criação de Fontes Sonoras**

Neste processo, as fontes sonoras são em geral separadas dos objectos que emitem os sons, sendo modeladas individualmente, e numa fase posterior, instanciadas aos objectos. As fontes sonoras são tratadas como uma entidade que reproduz um som monofónico variável no tempo; são consideradas omnidireccionais, ou seja, o som é escutado com a mesma intensidade a partir de qualquer direcção de “observação”.

Os sons produzidos pelos objectos são gravados e posteriormente digitalizados segundo um processo de amostragem, de forma semelhante à criação de determinadas texturas a partir da digitalização de fotografias. A amostragem de som é um dos processos mais utilizados para a síntese de som dado que, sendo um processo semelhante à gravação, permite obter resultados de elevada qualidade sem grande carga computacional.

### **3.2 Instanciação dos Sons aos Objectos**

Após a definição das fontes sonoras é necessário instanciá-las aos objectos que geram os sons respectivos. Desta forma, os sons produzidos pelas fontes sonoras instanciadas adquirem as propriedades tridimensionais dos objectos, nomeadamente a sua posição e velocidade. Como analogia ao processo gráfico podemos dizer que esta fase é semelhante à aplicação de texturas às faces dos objectos.

Deve ser também possível modular as fontes sonoras baseando-se em outro tipo de parâmetros de simulação relativos ao objecto. Por exemplo, no caso da modelação de um automóvel, o som produzido pelo motor deve poder ser modulado dinamicamente por determinados parâmetros tais como o regime de rotação e o binário.

### **3.3 Propagação do Som**

Nesta fase do processo de síntese de som, procede-se à avaliação das transformações necessárias para determinar como o som produzido pelas fontes sonoras, que agora se encontram instanciadas num espaço tridimensional, é recebido pelo observador da cena. Mais uma vez, reportando-nos a uma analogia com a síntese de imagem, esta fase é semelhante ao mapeamento de texturas dos objectos geométricos para o plano da imagem.

#### **3.3.1 Microfone Virtual**

Nesta fase surge uma nova entidade que é o microfone virtual (análogo à câmara na síntese de imagem), e que representa basicamente uma posição e orientação no espaço tridimensional onde é escutada a sonorização de toda a cena.

No caso de um sistema de síntese de Som 3D, existem em geral vários microfones virtuais,

coincidentes com os canais do sistema de som. Assim, em sistemas de campo aberto é conveniente a utilização de um microfone por cada coluna de som.

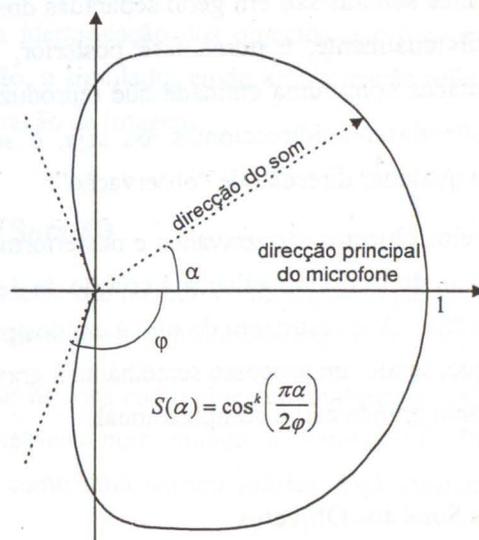


Fig. 3 - Função de sensibilidade dos microfones.

O efeito de posicionamento dos eventos auditórios é implementado através da função de sensibilidade dos microfones. Quando um determinado evento auditório se encontra numa orientação mais próxima de um microfone do que de outro, a função de sensibilidade produz um valor superior no primeiro caso. Após experimentar outras fórmulas ([Tak92] e [Ing]), obtiveram-se melhores resultados com a seguinte função harmónica esférica (figura 3),

$$S(\alpha) = \cos^k \left( \frac{\pi \alpha}{2 \varphi} \right) \quad (1)$$

em que  $\alpha$  representa o ângulo de orientação da fonte sonora em relação ao eixo principal de microfone,  $\varphi$  o ângulo de abertura deste, e  $k$  uma constante que permite configurar a sua direccionalidade.

A função de sensibilidade  $S(\alpha)$  retorna assim valores no intervalo  $[0,1]$ , obtendo-se 1 para o caso de um ângulo de orientação de  $0^\circ$  (direcção frontal do microfone) e 0 para o ângulo de abertura do microfones. A abertura do microfone permite definir o ângulo máximo de captação de som. Tipicamente, este valor deverá ser escolhido com base na diferença angular entre o microfone e os microfones seguintes.

A utilização do produto de duas funções de sensibilidade (uma horizontal e outra vertical)

permite a síntese sonora de pistas de elevação<sup>2</sup>:

$$S(\alpha, \varepsilon) = \cos^{k_h} \left( \frac{\pi\alpha}{2\varphi_h} \right) \cdot \cos^{k_v} \left( \frac{\pi\varepsilon}{2\varphi_v} \right) \quad (2)$$

em que  $\alpha$  representa o ângulo de orientação horizontal da fonte sonora em relação ao eixo principal de microfone,  $\varepsilon$  o ângulo de elevação desta em relação ao plano horizontal do microfone,  $\varphi_h$  e  $\varphi_v$  os ângulo de abertura horizontal e vertical deste, e  $k_h$  e  $k_v$  constantes que permitem configurar a sua direccionalidade. Neste caso deve ser utilizado um número superior de colunas de som posicionadas numa esfera à volta do observador.

Para o caso de sistemas de campo fechado, nos quais são utilizados auscultadores para a reprodução do som, a configuração ideal será a de dois microfones situados na mesma posição e com orientações opostas (ou ligeiramente para a frente) e perpendiculares à direcção de orientação do observador, simulando os dois ouvidos de um ser humano. Neste caso não é possível sintetizar sons produzidos acima ou abaixo do utilizador.

### 3.3.2 Efeitos devidos às Características Geométricas

Certos efeitos acústicos são apenas dependentes das características geométricas dos objectos aos quais está instanciada a fonte sonora, pelo que para o seu cálculo se deduziram algumas expressões simples.

O efeito da distância da fonte sonora ao observador origina uma atenuação de 6 dB no nível de intensidade sonora por cada duplicação da distância [B1a83]. Na implementação, utilizou-se a seguinte aproximação:

$$NIS(d) = NIS_{base} - 6 \cdot \log_2 \frac{d}{d_{base}} \quad (3)$$

em que  $NIS(d)$  representa o nível de intensidade sonora a uma distância  $d$ , e  $NIS_{base}$  o nível de intensidade sonora a uma distância base a que foi gravado o som da fonte sonora.

Adicionalmente, existe um outro efeito de atenuação dependente da frequência, em resultado da absorção ao longo do trajecto desde a fonte sonora até ao microfone. Este efeito, denominado dispersão atmosférica, funciona como um filtro passa-baixo cuja frequência de corte decresce proporcionalmente com a distância entre ambos [B1a83]. Este efeito verifica-se usualmente apenas para distâncias superiores a 15 m, e pode ser avaliado:

---

<sup>2</sup> Característica que permite ao observador determinar se um som é emitido acima ou abaixo da sua posição.

$$F_{corte} = F_{max} - (d - 15)\Delta f \quad (4)$$

em que  $F_{corte}$  é a frequência de corte do filtro,  $F_{max}$  a frequência de corte máxima e  $\Delta f$  a variação na frequência de corte por metro.

Por outro lado, devido à velocidade de propagação do som (343 m/s para o caso da atmosfera a uma temperatura de 20°C) o sinal gerado por uma fonte sonora é atrasado. Este atraso é implementado através da seguinte fórmula:

$$\tau(d) = \frac{d}{c} \quad (5)$$

em que  $\tau(d)$  é o atraso a uma determinada distância ( $d$ ) e  $c$  é a velocidade do som.

Quando um determinado objecto se desloca com uma velocidade diferente dos microfones, as ondas sonoras recebidas pelo microfone vão sofrer contracção ou expansão consoante a velocidade relativa. Este fenómeno designado por efeito Doppler [Par89], é implementado a partir da velocidade do objecto ao qual está instanciada a fonte sonora, em relação ao microfone, pela seguinte expressão:

$$f_r = f_e \left(1 - \frac{v}{c}\right) \quad (6)$$

em que  $f_r$  é a frequência do sinal recebido,  $f_e$  a frequência do sinal emitido,  $v$  a velocidade relativa da fonte sonora em relação ao observador e  $c$  a velocidade do som.

### 3.4 Composição dos Sinais Sonoros

Nesta última fase do processo de síntese de Som 3D, calculam-se as transformações finais a aplicar a cada uma das fontes sonoras e, para cada microfone, misturam-se as contribuições de todas. Este é um processo análogo ao mapeamento de texturas para o espaço imagem em que a sequência de transformações é concatenada de forma a produzir uma única matriz de transformação que é então aplicada à textura. Só nesta fase e após calcular a transformação final é que o sinal sonoro associado é processado.

Uma vez que os sinais de som são aditivos, todos os sinais transformados são adicionados (misturados) para cada um dos microfones, produzindo assim o sinal da cena completa que vai ser reproduzido pela coluna de som (ou auscultador) associado.

#### 4. Hardware de Síntese de Som 3D

A escolha do hardware para a geração do som recaiu sobre a placa de som *Sound Blaster AWE32* da *Creative Labs* [Cre]. Esta é uma placa comercial de baixo custo, mas que no entanto possui boas capacidades ao nível de síntese de som, que podem ser aproveitadas no processo de síntese de Som 3D. Adicionalmente permite a ligação a sintetizadores de som profissionais através do interface MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*). O componente de hardware da placa utilizado neste processo é o sintetizador de som (*Advanced WavEffects 32 Music Synthesiser*). Este sintetizador (figura 4) é baseado na tecnologia de síntese por amostragem de som.

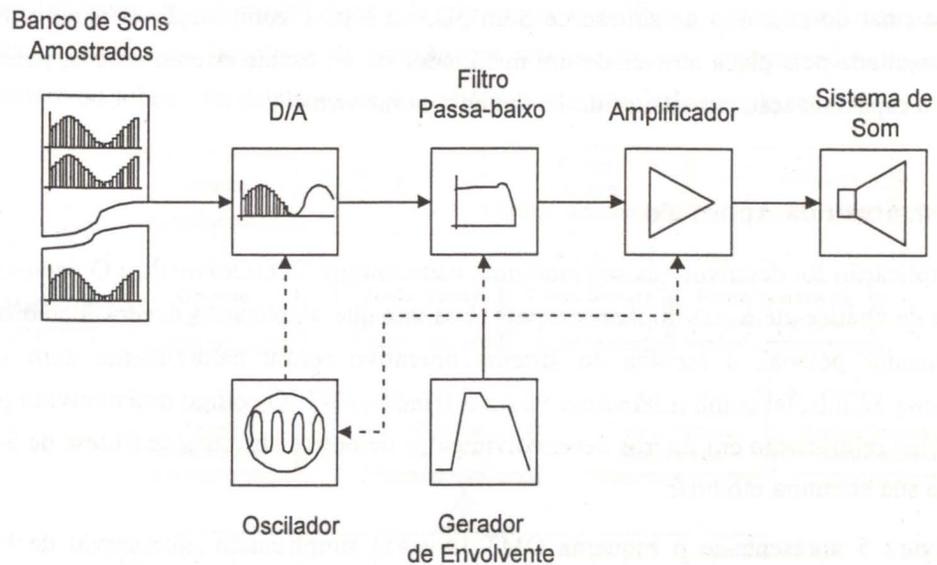


Fig. 4 - Hardware de síntese por amostragem de som.

Durante o processo de criação das fontes sonoras, o som destas é amostrado com 16 bit a 44 KHz, produzindo som com qualidade CD. Estes sons são armazenados na memória RAM (expansível até 28 MB) do banco de sons amostrados da placa de som

O oscilador controla a geração do sinal sonoro analógico, determinando a frequência, a que o conversor digital-analógico opera. Alterando a frequência do oscilador, varia-se a altura<sup>3</sup> do som produzido. O factor de alteração da frequência do sinal é convertido para semitons e posteriormente implementado através de um processo de alteração da frequência de reprodução do sinal amostrado, denominado roda de altura (*pitch wheel*). Actuando neste componente, consegue-se simular o efeito Doppler.

Um filtro passa-baixo permite alterar o timbre do sinal sonoro distorcendo o seu espectro.

<sup>3</sup> Por altura (*pitch*) entende-se a sensação auditiva que permite classificar um som, de grave a agudo.

Este filtro permite uma variação da frequência de corte entre 100 Hz e 8000 Hz. Actuando na sua frequência de corte pode implementar-se o efeito de dispersão atmosférica.

O amplificador permite variar a intensidade do som actuando no seu ganho. Este componente é o responsável pelo efeito de atenuação com a distância bem como pela implementação da função de sensibilidade do microfone (juntamente com *panning*<sup>4</sup>).

As características dinâmicas do sinal sonoro, ou seja, o comportamento da sua forma de onda desde o instante de geração do som até à sua extinção, podem ser modeladas através de um gerador de envolvente do tipo DAHDSR (*Delay Attack Hold Decay Sustain Release*). Actuando na característica de atraso (*Delay*), pode-se implementar o atraso de propagação.

A fase final do processo de síntese de Som 3D, ou seja, a composição do sinal sonoro, é implementada pela placa através de um misturador de 16 canais estereofónicos, permitindo assim a espacialização simultânea de 16 fontes sonoras virtuais.

## 5. Estrutura da Aplicação

Esta aplicação foi desenvolvida segundo uma metodologia OO (Orientada a Objectos) desde a fase de análise até à sua implementação. Uma vez que a aplicação deverá funcionar num computador pessoal, a escolha do sistema operativo recaiu naturalmente num sistema *Windows* 32 bits, tal como o *Windows* 95 ou o *Windows* NT. O código desenvolvido permite uma fácil reutilização em futuros desenvolvimentos de outros sistemas de síntese de Som 3D dada a sua estrutura modular.

Na figura 5 apresenta-se o esquema OMT [Rum91] simplificado que serviu de base ao desenvolvimento desta aplicação. Nas secções seguintes descrevem-se as implementações das fontes sonoras, objectos de simulação e sistema de som.

### 5.1 Fontes Sonoras

A modelação das diferentes fontes sonoras corresponde à primeira fase no processo de síntese de Som 3D (secção 3.1).

Uma “Fonte Sonora”, é definida como sendo um objecto que permite a caracterização de um determinado som, baseado numa associação a um objecto “Amostra” que representa uma amostra de som armazenada no banco de sons do sintetizador.

---

<sup>4</sup> Por *panning* entende-se o efeito da alteração da posição de um evento auditório (posição aparente de onde parece ser proveniente um determinado som escutado) através da alteração das características dos sinais fornecidos a cada coluna de som.

Existe adicionalmente uma hierarquia de classes de objectos derivados da “Fonte Sonora” e que herdam as características da classe de objectos base, permitindo modelar comportamentos distintos. São derivadas directamente três classes de objectos a partir da “Fonte Sonora”; uma “Fonte Sonora Impulsiva” que modela as características de uma fonte sonora que apenas reproduz a amostra de som uma única vez quando actuada (por exemplo o som de uma colisão), uma “Fonte Sonora Cíclica” permitindo modelar fontes sonoras que reproduzem a amostra ciclicamente enquanto esta estiver activada (por exemplo uma buzina) e uma “Fonte Sonora de Altura Variável”. Desta última classe são derivadas outras duas, que permitem a diferente implementação dos algoritmos que alteram a altura e a intensidade do som produzido, com base nos diferentes fenómenos que modelam. A “Fonte Sonora Motorizada” simula o comportamento de um motor e a “Fonte Sonora de Deslocamento” modela os efeitos da fricção e da turbulência provocadas por determinados objectos ao deslocarem-se sobre uma determinada superfície ou por um determinado meio.

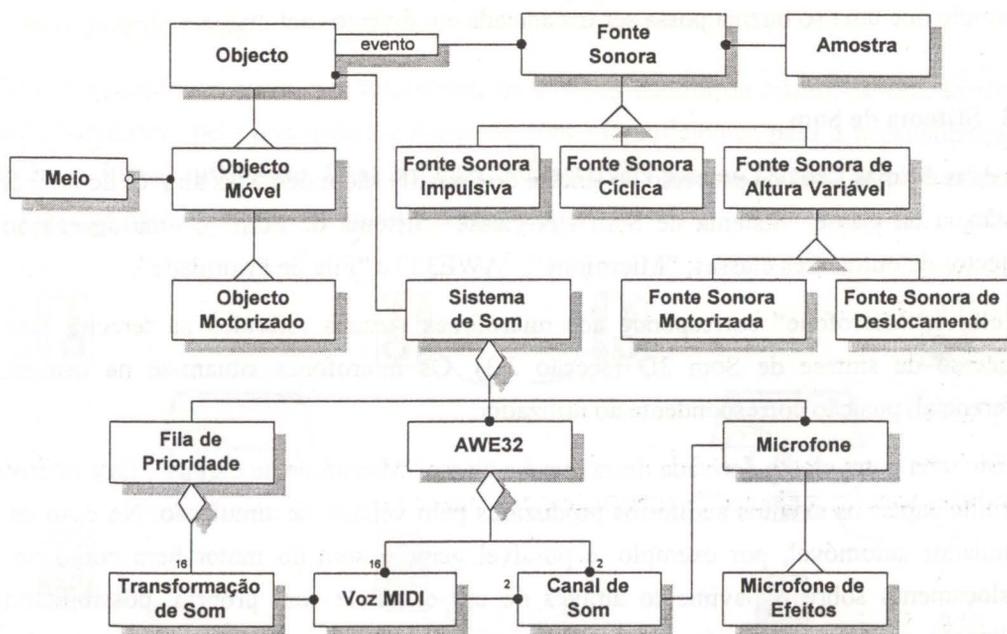


Fig. 5 - Diagrama OMT simplificado da aplicação de síntese de Som 3D.

## 5.2 Objectos de Simulação

O espaço tridimensional da simulação é povoado por objectos geométricos. A classe que modela estes objectos é a classe “Objecto”. Cada instância desta classe tem como atributos, vectores tridimensionais, representando a sua posição e velocidade relativas ao referencial do observador. Para além destes atributos, existe um atributo de identificação (ID) que permite a sincronização destes objectos com os objectos que povoam a base de dados do simulador.

A partir desta classe deriva-se uma especialização, denominada “Objecto Móvel”, que permite a modelação de objectos que se deslocam através de meios diversos (por exemplo, um automóvel pode andar por estradas de asfalto, paralelo ou terra, produzindo sons distintos em cada caso), estando os objectos desta classe associados a objectos da classe “Meio”.

Uma especialização da classe “Objecto Móvel” denominada “Objecto Motorizado” modela o efeito de objectos que possuem motor.

É a partir da classe “Objecto” e obviamente das classes derivadas desta, que se realiza a instanciação das fontes sonoras aos objectos, correspondendo à segunda fase do processo de síntese de Som 3D (secção 3.2).

A instanciação de uma fonte sonora a um objecto é realizada através de um “Evento”. Cada evento referencia uma fonte sonora e controla a sua activação ou desactivação para o objecto respectivo. Uma fonte sonora pode estar associada a vários objectos distintos, permitindo por exemplo que uma só buzina possa ser instanciada em diversos automóveis.

### 5.3 Sistema de Som

As duas últimas fases do processo de síntese de Som 3D são modeladas através de uma única instância da classe “Sistema de Som”. A classe “Sistema de Som” é uma agregação de objectos de outras três classes; “Microfone”, “AWE32” e “Fila de Prioridade”.

A classe “Microfone” corresponde aos microfones virtuais referidos na terceira fase do processo de síntese de Som 3D (secção 3.3). Os microfones situam-se na origem do referencial, posição correspondente ao utilizador.

Existe uma outra classe derivada desta que é a classe “Microfone de efeitos”. Este microfone permite captar os eventos auditórios produzidos pelo veículo de simulação. No caso de um simulador automóvel, por exemplo, é possível gerar o som do motor bem como do seu deslocamento sobre o pavimento através de um canal de som próprio, possibilitando a utilização de uma coluna de som com características mais específicas (por exemplo um subwoofer) e a sua colocação numa posição mais estratégica (como por exemplo no interior do simulador).

A classe “AWE32” é outra das classes de objectos que compõem o sistema de som e permite a modelação do sintetizador de amostragem de som das placas de som *Sound Blaster AWE32* que realizam a reprodução de som, criando uma camada de alto nível sobre o hardware utilizado. Cada objecto “AWE32” é uma agregação de dois objectos “Canal de Som”, correspondentes à saída estereofónica da placa de som, e 16 objectos “Voz MIDI” representando o respectivo dispositivo (*voice*). Cada instância da classe “Microfone” deve estar associada a um canal de som de forma a que o sinal sonoro captado por esta seja reproduzido pelo sistema de som. Os sintetizadores das placas de som são controlados

através do protocolo MIDI. Esta implementação permite facilmente adaptar a aplicação para outro tipo de hardware de geração de som.

Outra das classes que constituem o sistema de som, é a classe “Fila de Prioridade” que gere os sons a serem reproduzidos, baseados na sua prioridade. Após o rastreio de todas as instanciações de fontes sonoras e cálculo da sua transformação, as 16 prioritárias são processadas pelo respectivo objecto “Voz MIDI”, sendo a transformação convertida para comandos MIDI. Para o cálculo das transformações, são tidos em conta os fenómenos acústicos do ambiente assim como a sensibilidade dos microfones.

## 6. Integração de Som 3D num Simulador de Condução Automóvel

De forma a testar o sistema de síntese de Som 3D, este foi integrado no simulador de condução automóvel DRIS [Lei97] desenvolvido na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Numa simulação de condução automóvel, os eventos auditórios situam-se tipicamente no plano horizontal, pelo que quatro colunas de som são suficientes para a espacialização do espaço auditório envolvente. Das configurações possíveis para as colunas de som salientam-se duas que permitem obter os melhores resultados:

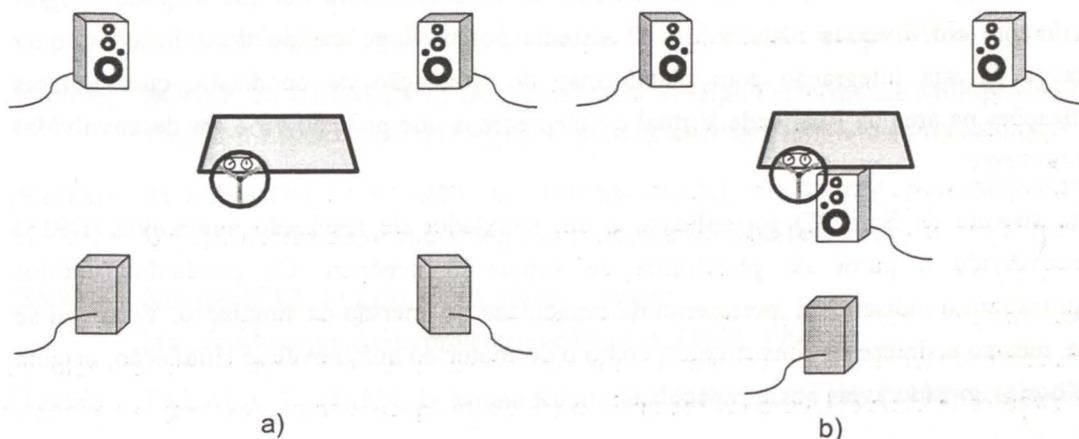


Fig. 6 - Configuração das colunas de som no simulador de condução automóvel.  
a) Configuração quadrifónica. b) Configuração com coluna de efeitos.

A configuração quadrifónica, das mais utilizadas comercialmente, permite obter bons resultados. As quatro colunas são colocadas num círculo à volta do condutor a uma determinada distância deste. O ângulo de orientação das colunas é configurável, mas tipicamente a configuração mais comum é a da figura 6.a, com um ângulo de abertura de 90° entre as colunas. Noutra configuração possível (figura 6.b), são utilizadas duas colunas de som na frente do condutor (uma à esquerda e outra à sua direita), uma coluna atrás e outra

por baixo da sua cadeira com os efeitos sonoros do veículo de simulação. Um ângulo de abertura de 120° nos microfones associados às três primeiras colunas permite uma cobertura igual de todo o espaço auditório envolvente. Alternativamente é possível adicionar uma coluna de efeitos à configuração da figura 6.a colocando uma placa de som adicional noutra computador pessoal controlado por outra instância da aplicação de síntese de Som 3D.

Os sons que povoam o ambiente da simulação foram gravados a partir de sons reais e depois amostrados e armazenados em formato digital. Estas amostras de som foram posteriormente tratadas e agregadas num banco de sons. Em seguida foi criado um ficheiro, modelando as fontes sonoras a partir dos sons amostrados e sua instanciação aos objectos que povoam a base de dados do simulador.

Este processo simples, ilustrado para este caso particular, permite a adaptação do sistema de síntese de Som 3D a diversos simuladores de condução.

## **7. Conclusão**

Numa simulação de condução, ou em qualquer outro ambiente de realidade virtual, a síntese de Som 3D permite aumentar de forma substancial a percepção que o utilizador tem do ambiente que o envolve, bem como a sensação de imersão nesse mesmo ambiente.

Neste contexto, foi desenvolvido um sistema de síntese de Som 3D que se pode integrar facilmente em diversas plataformas. O sistema possui largo campo de aplicações, quer através da sua integração com plataformas de simulação de condução, quer noutras aplicações na área da Realidade Virtual e Telepresença que poderão vir a ser desenvolvidas futuramente.

Este sistema de Som 3D foi aplicado a um simulador de condução automóvel (DRIS) desenvolvido a partir da plataforma de simulação genérica. Os resultados obtidos demonstram o indiscutível incremento da capacidade de imersão na simulação. Verificou-se que, mesmo a síntese de sons simples, como o do motor do automóvel de simulação, origina melhorias consideráveis nessa capacidade.

Dado que apenas é possível instalar duas placas de som por computador, a espacialização sonora do sistema está limitada à utilização de quatro canais. A utilização simultânea da aplicação de síntese de Som 3D em diversos computadores permite obviar este problema, sendo necessário desenvolver algum trabalho a nível da sua sincronização. Uma vez que o controlo do hardware de síntese de som é realizado através do protocolo MIDI, outra solução possível seria a utilização de sintetizadores adicionais ligados ao interface MIDI das placas de som.

## Agradecimentos

Ao Prof. Augusto Sousa pelos comentários preciosos durante a elaboração deste artigo.

## Referências

- [Bar93] BARREAU, D.; MCGOFF, K.; Immersion;  
<http://www.cs.umd.edu/projects/eve/eve-main.html>, 1993.
- [Bla83] BLAUERT, J.; Spatial Hearing; Massachusetts Institute of Technology Press, 1983.
- [Coe96] COELHO, A.; Integração de Som 3D em Simulação; Tese de Mestrado, FEUP, 1996.
- [Cre] CREATIVE TECHNOLOGY LTD; Sound Blaster AWE32 PnP Features and Specifications;  
<http://www.sle.creaf.com/wwwnew/products/sound/awe32pnp.html>
- [Ing] INGUILIZIAN, A.; Synchronized Structured Sound: Real-Time 3-Dimensional Audio Rendering;  
[http://araz.www.media.mit.edu/people/araz/sss/Sound\\_Localization.htm](http://araz.www.media.mit.edu/people/araz/sss/Sound_Localization.htm).
- [Lei97] LEITÃO, J.; COELHO, A.; F. FERREIRA; DriS - A Virtual Driving Simulator, International Seminar Human Factors in Road Traffic II, Braga 1997.
- [Roh96] ROHLF, J.; HELMAN J.; IRIS Performer: A High Performance Multiprocessing Toolkit for Real-Time 3D Graphics; SIGGRAPH'96 Conference Proceedings.
- [Rum91] RUMBAUGH, J.; BLAHA, M.; PREMERLANI, W.; EDDY, F.; LORENSEN, W.; Object-Oriented Modelling and Design; Prentice-Hall, 1991.
- [Ste93] STEINMETZ, J.; LEE, G.; Auditory System;  
<http://www.cs.umd.edu/projects/eve/eve-main.html>, 1993.
- [Tak92] TAKALA, T.; HAHN, J.; Sound Rendering; SIGGRAPH '92, (1992) 211-220.
- [Par89] PARK, D.; Doppler Effect, Colliers Encyclopedia, (1989) 350-351.