

**ADAPTAÇÃO DE UM ALGORITMO DE 'RAY-TRACING'  
AO SISTEMA MS(E)**

**João Emílio Almeida, DI.ISEP  
Vasco Branco, DI.ISEP/INESC.Norte**

**Primeiro Encontro Português de Computação Gráfica  
LNEC, JULHO de1988  
LISBOA**

## SUMARIO

Apresenta-se a implementação e adaptação de um algoritmo de 'Ray Tracing' a um sistema de modelação de objectos tridimensionais baseado em B-REPS.

### 1. INTRODUÇÃO

A síntese de imagens com elevado nível de realismo encontra nos algoritmos do tipo 'Ray Tracing', a par de uma relativa simplicidade conceptual, um meio poderoso de se obterem efeitos como: reflexões e refrações; sombras próprias e projectadas; luz ambiente, difusa e especular de uma ou mais fontes de luz, entre outros. O 'Ray Tracing' é uma técnica aditiva, isto é, a introdução de novos efeitos é sempre possível.

A essência desta técnica baseia-se num modelo extraído da realidade: os objectos revelam-se a um observador pelos raios de luz que refletem. A elementaridade deste conceito traduz-se, no entanto em termos computacionais, por um grande volume de cálculo sendo 75-95% do tempo, gasto no cálculo de intersecções entre os raios e objectos [Whi 80].

Todos os algoritmos de 'Ray Tracing' fazem o seguimento dos raios do observador para a fonte luminosa de forma a evitar cálculos associados a raios fora do campo de visão.

Uma versão simplificada do algoritmo poderá ser:

Para cada pixel

Gerar o raio (r) a seguir

Para cada objecto presente na cena

Calcular a intersecção (i) de r com o objecto

Se i for nulo

então pixel = cor do fundo

senão pixel = cor do objecto no ponto i

A cor atribuída a um 'pixel' é condicionada não só pelas características superficiais do objecto intersectado, mas também é dependente do grau de complexidade do modelo de iluminação utilizado. Assim, enquanto os

modelos de iluminação mais simples se confinam ao tratamento da reflexão, outros mais sofisticados incluem também a refração, sendo a cor de cada pixel determinada pelo seguimento de cada um dos raios resultantes.

O algoritmo usado para fazer o 'Ray Tracing' das cenas produzidas no MS(E) - Modelador de Sólidos Experimental [BrF88] - foi adaptado a partir da descrição presente em [Kuc87], tendo em conta as particularidades da representação de objectos utilizada nesse sistema.

## 2. AS ADAPTAÇÕES EFECTUADAS

### 1º Nível - Adaptação às limitações do computador utilizado

A máquina utilizada no desenvolvimento do sistema MS(E) (HP9000-320 com um 'frame buffer' de 1024 x 768 pontos e quatro planos de cor) é limitada no número de cores utilizáveis simultaneamente. No algoritmo base [Kuc87], o cálculo de cores é feito para 24 planos de cor o que obrigou a duas adaptações:

1. Utilização da paleta de cores em escala monotónica;
2. Determinar a intensidade luminosa (I) através da fórmula  
 $I = 0.3R + 0.59G + 0.11B$  [Sch87], compactando os valores em R, G e B de modo a seleccionar um valor entre 0 e 15.

### 2º Nível - Adaptação à descrição dos objectos no sistema MS(E)

O algoritmo apresentado por [Kuc87] permite a inclusão de vários tipos de objectos na descrição de uma cena. Este facto é visível no topo da estrutura de dados de suporte ao algoritmo onde numa lista ligada se descrevem os objectos sobre os quais o algoritmo pode operar (fig.1).

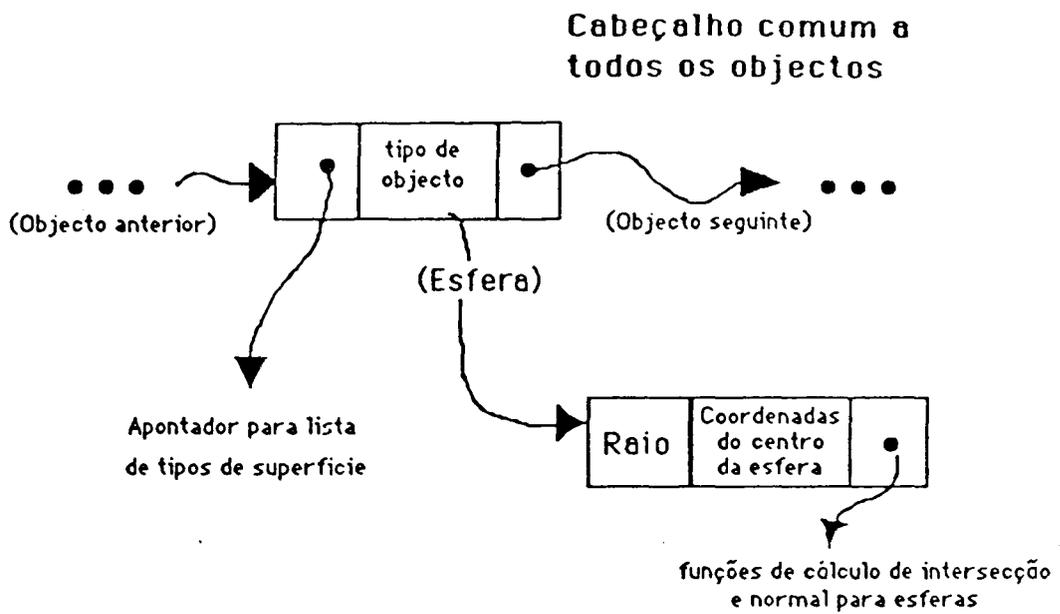


fig.1 - Estrutura de dados para esferas

A cada tipo de objecto estão associadas rotinas para o cálculo de intersecções e normais à superfície. Por exemplo, uma esfera é descrita por uma célula que contém o raio e coordenadas do centro da mesma, além de um apontador para as rotinas de cálculo de intersecção e normal.

Para a introdução de um novo tipo de objectos, é preciso criar uma estrutura de dados adequada e rotinas de cálculo específicas.

A representação pela 'fronteira' - B-REPS - (esquema base usado no sistema MS(E)) fixa a geometria dos objectos nos nós da hierarquia topológica, que no seu nível mais baixo se compõe de faces, arestas e vértices. A restrição dos modelos a objectos de faces planas, permite encarar cada um como um conjunto de polígonos. Assim, a adaptação do algoritmo cumpriu as tarefas:

**- Transformação da representação B-REP num conjunto de polígonos.** Esta transformação é efectuada através de uma descida em profundidade (DFS) ao grafo que descreve a cena segundo a hierarquia topológica. Ao atingir as faces, são criados, na estrutura de dados do 'Ray Tracing', os polígonos correspondentes, aos quais são atribuídos as características do tipo de superfície do objecto a que pertencem.

- Desenvolvimento de uma nova estrutura de dados. Foi preciso criar uma nova célula contendo, por polígono, um vector de vértices ordenados pela ordem correspondente ao percurso em sentido retrógrado do contorno da face; um ponteiro para o objecto a que pertence; além de outros valores visíveis na figura abaixo (fig. 2).

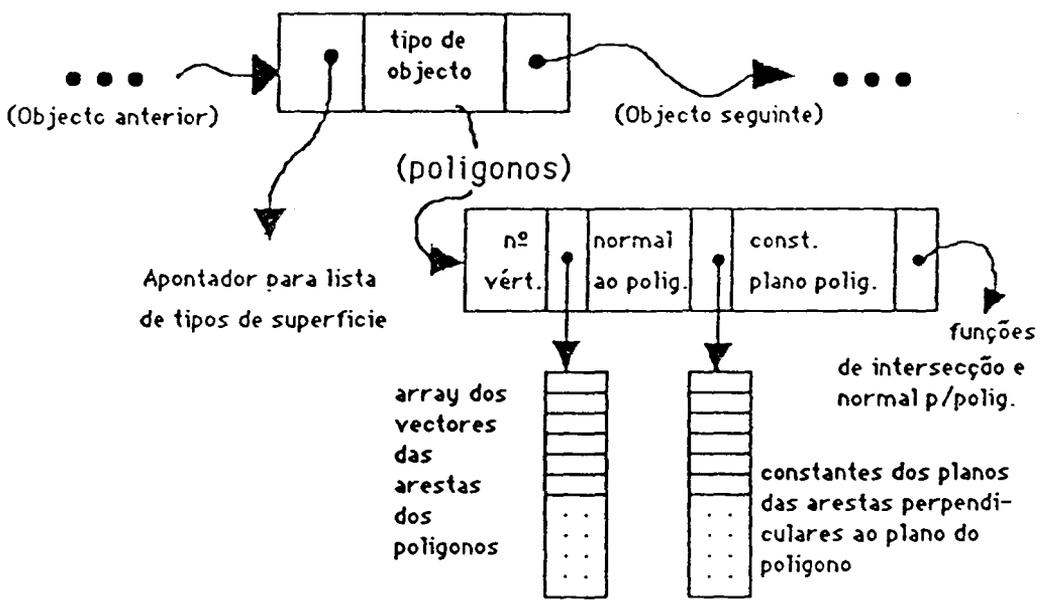


fig.2 - Estrutura de dados para polígonos

A interação com o utilizador confina-se à definição das fontes de luz (identificação, localização espacial e intensidade), das características dos vários tipos de superfície e à atribuição de um tipo de superfície aos objectos presentes na cena. Estes parâmetros, necessários ao algoritmo, assumem, inicialmente, valores por defeito sendo a sua alteração opcional. A alteração destes parâmetros pode ser feita através de um comando apropriado, ou da edição de um ficheiro ( características de superfícies).

Como o tempo de cálculo de uma única imagem pode ser longo, adoptou-se a estratégia de permitir, opcionalmente, a gravação automática de um ficheiro em disco com a imagem, no final da sua produção. Um comando de leitura desse tipo de ficheiros e afixação da imagem, foi igualmente desenvolvido.

### 3º Nível - Introdução de melhoramentos (volumes envolventes)

Como já se referiu, a parte computacionalmente mais 'pesada' do 'Ray Tracing', é o cálculo das intersecções. A utilização de caixas envolventes por objecto, composto e cena, permitiu acelerar todo o processo em dois aspectos:

- Limitação do numero de raios a lançar

A projecção da 'enclosing box' da cena permite limitar o número de raios a uma zona de dimensão inferior à do 'frame buffer' (fig.3). Fora desta zona é atribuída a todos os 'pixel' a cor do fundo.

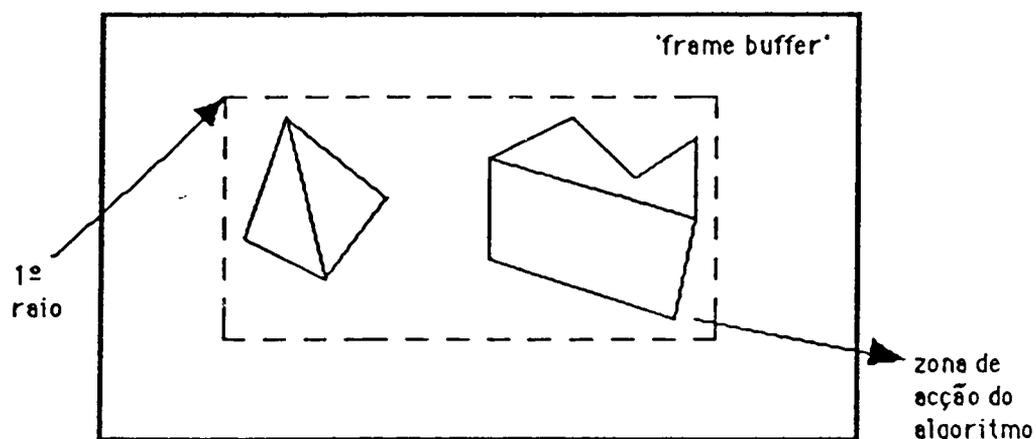


fig.3 - Limitação da zona de acção do algoritmo

Como é visível, em cenas em que os objectos se apresentem dispersos, é vantajoso utilizar as 'enclosing box' por objecto simples e composto para limitar ainda mais a acção do algoritmo (fig.4).

A velocidade passa assim a variar com a distancia do observador à cena, obtendo-se resultados na redução de tempos na ordem de 1:3.

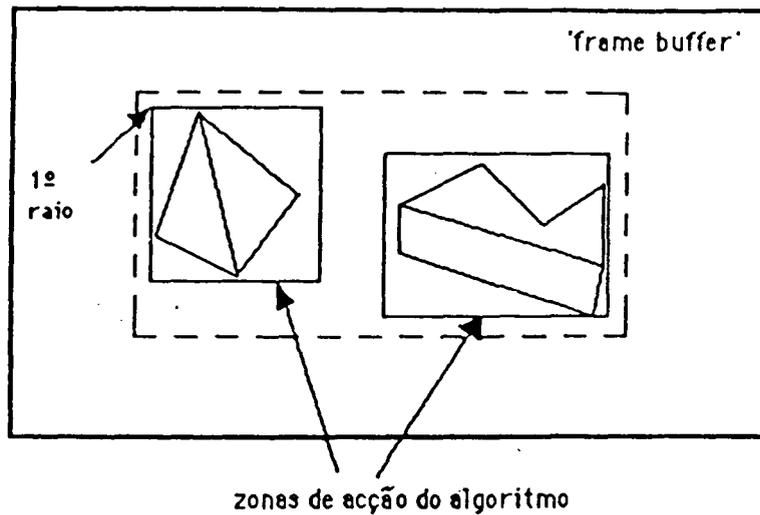


fig.4 - Limitação através de 'enclosing box' por objecto

• Coerência por objecto simples e composto no teste de intersecções

Aproveitando a informação contida na hierarquia topológica que descreve as cenas no sistema MS(E), torna-se possível fazer o teste de intersecções primeiro contra a 'enclosing box' do objecto ou composto (6 polígonos) evitando ou não, o teste de intersecção contra todos os polígonos associados à descrição desse objecto (fig.5).

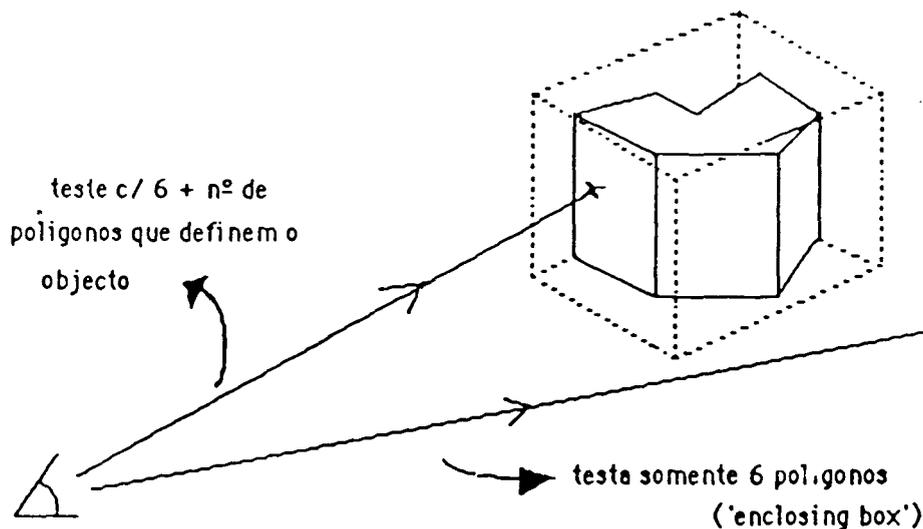


fig.5 - Teste de intersecções com 'enclosing box'

Como é obvio este tipo de teste torna-se tanto mais vantajoso quanto maior for a complexidade dos objectos presentes na cena.

### 3. CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu estudar o funcionamento de um algoritmo de 'ray tracing' adaptando-o a um ambiente de representação de objectos de características B-REP. Os melhoramentos conseguidos aumentaram a eficiência do algoritmo, de forma significativa.

O algoritmo pode ser invocado pelo modelador de movimento para a obtenção de sequências de imagens mais realistas [CoB88], ainda que na versão actual (e na máquina utilizada) os tempos envolvidos ainda estejam muitos elevados.

O posicionamento das fontes de luz e do observador por um método interactivo, será um dos próximos esforços a realizar.

### BIBLIOGRAFIA

[Ama87] John Amanatides

Realism in Computer Graphics: A Survey

IEEE CG&A, Jan 87

[BSF87] V.A.Branco, Antonio A. Sousa, F. Nunes Ferreira

Modelação e Visualização de Objectos Tridimensionais

1<sup>as</sup> Jornadas de PPPAC da Ordem dos Engenheiros, Lisboa, 1987

[BrF88] Vasco A.Branco, F. Nunes Ferreira

Um modelador de sólidos experimental: o sistema MS(E)

(a apresentar neste Encontro)



[Cob88] R.F.Costa, V.A.Branco  
Modelação de Movimento no Sistema MS(E)  
(a apresentar neste encontro)

[FTI86] Akira Fujimoto, Takayuki Tanaka, Kansey Iwata  
ARTS: Accelerated Ray-Tracing System  
IEEE CG&A

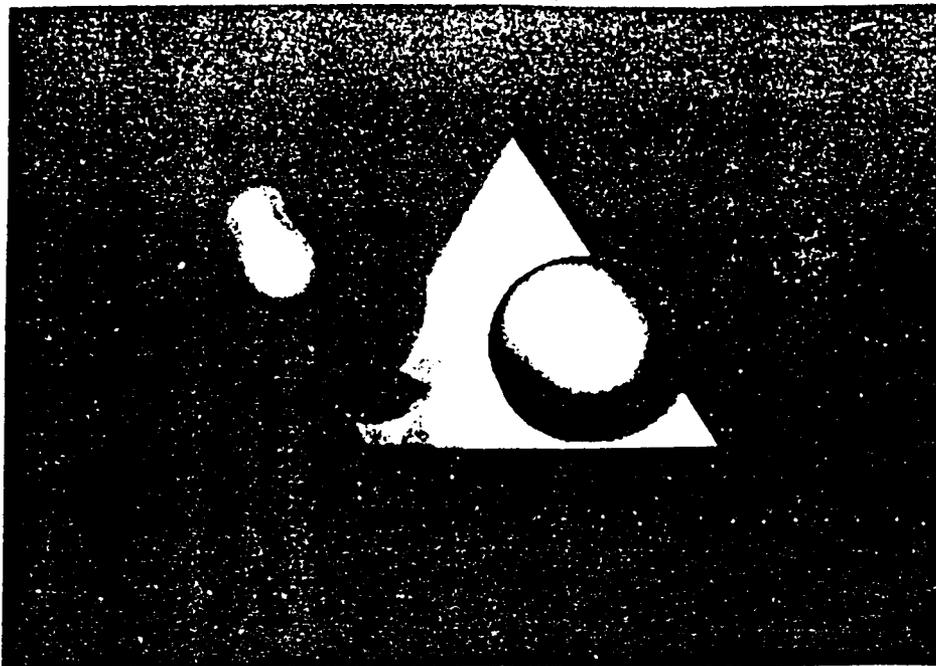
[Kuc87] Roman Kuchkuda  
An Introduction to Ray-Tracing  
IEEE GG&A, Aug 87

[Rog85] David F.Rogers  
Procedural Elements for Computer Graphics  
McGraw-Hill, 1985 pp.296-305, 311-322, 363-381

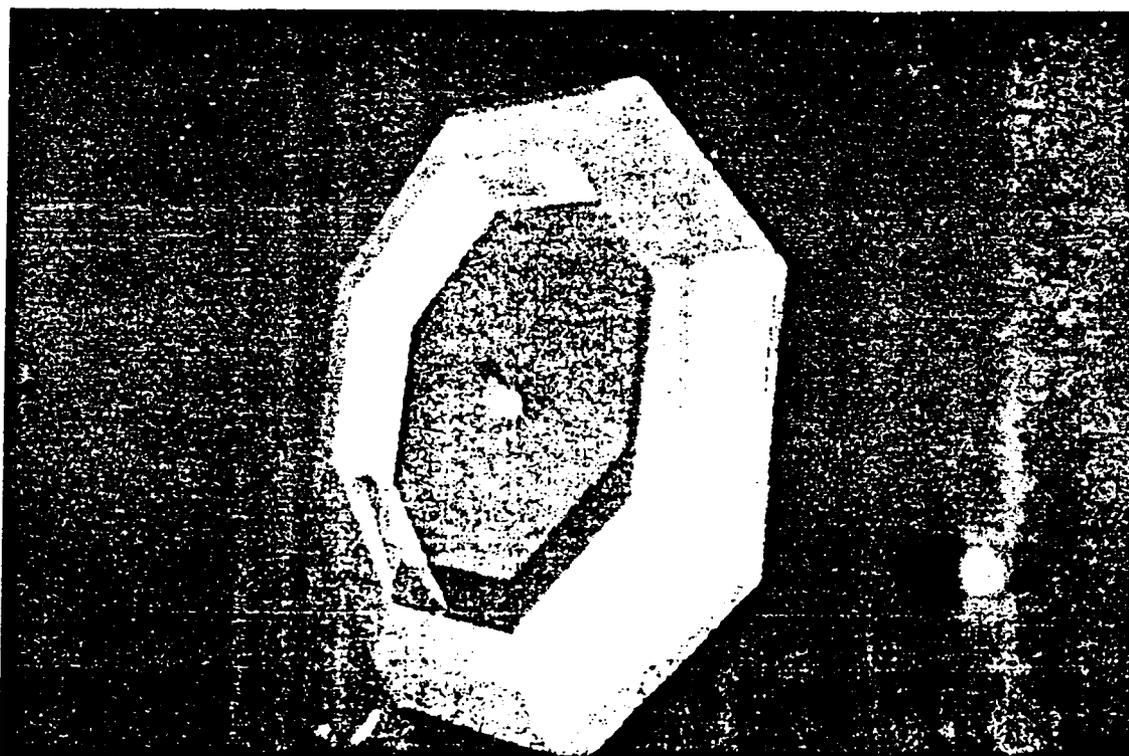
[Sch87] Philippe Schweitzer  
Infographie II  
Presses Polytechniques, 1987 pp.832-833

[ThT87] Nadia Thalmann, Daniel Thalmann  
IEEE CG&A, Aug 87

[Whi80] Turner Whitted  
An Improved Illumination Model for Shaded Display  
ACM Communications, Jun 80, Vol.23, N.6



Ray Tracing de duas esferas (uma opaca e outra translucida) e um triângulo. Tempo de processamento: cerca de 45 minutos utilizando o algoritmo original de Kuchkuda.



Objecto criado no MS(E)- por rotação - com cerca de 300 polígonos. Tempo de processamento: cerca de 5 Horas já com o algoritmo adaptado.