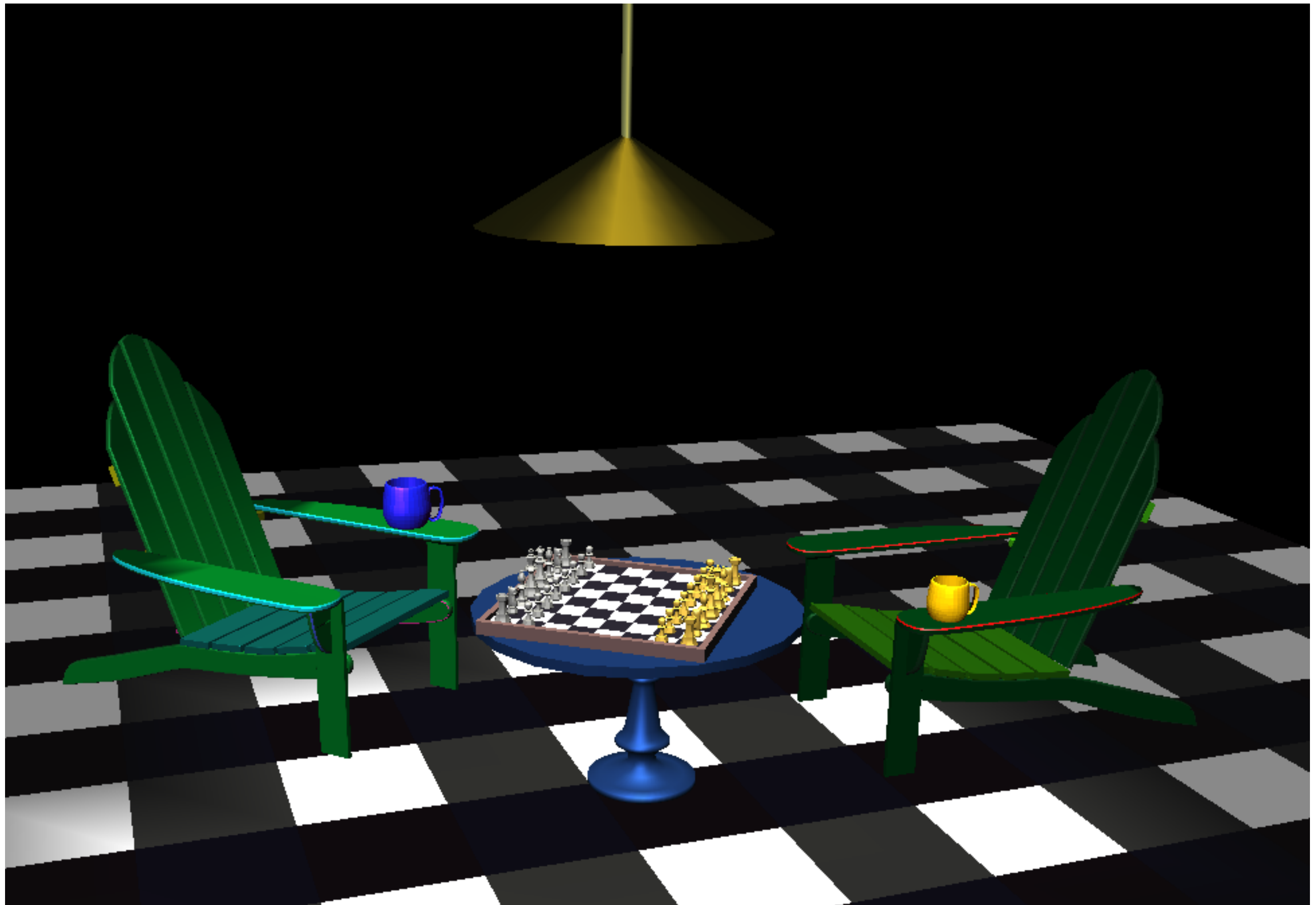


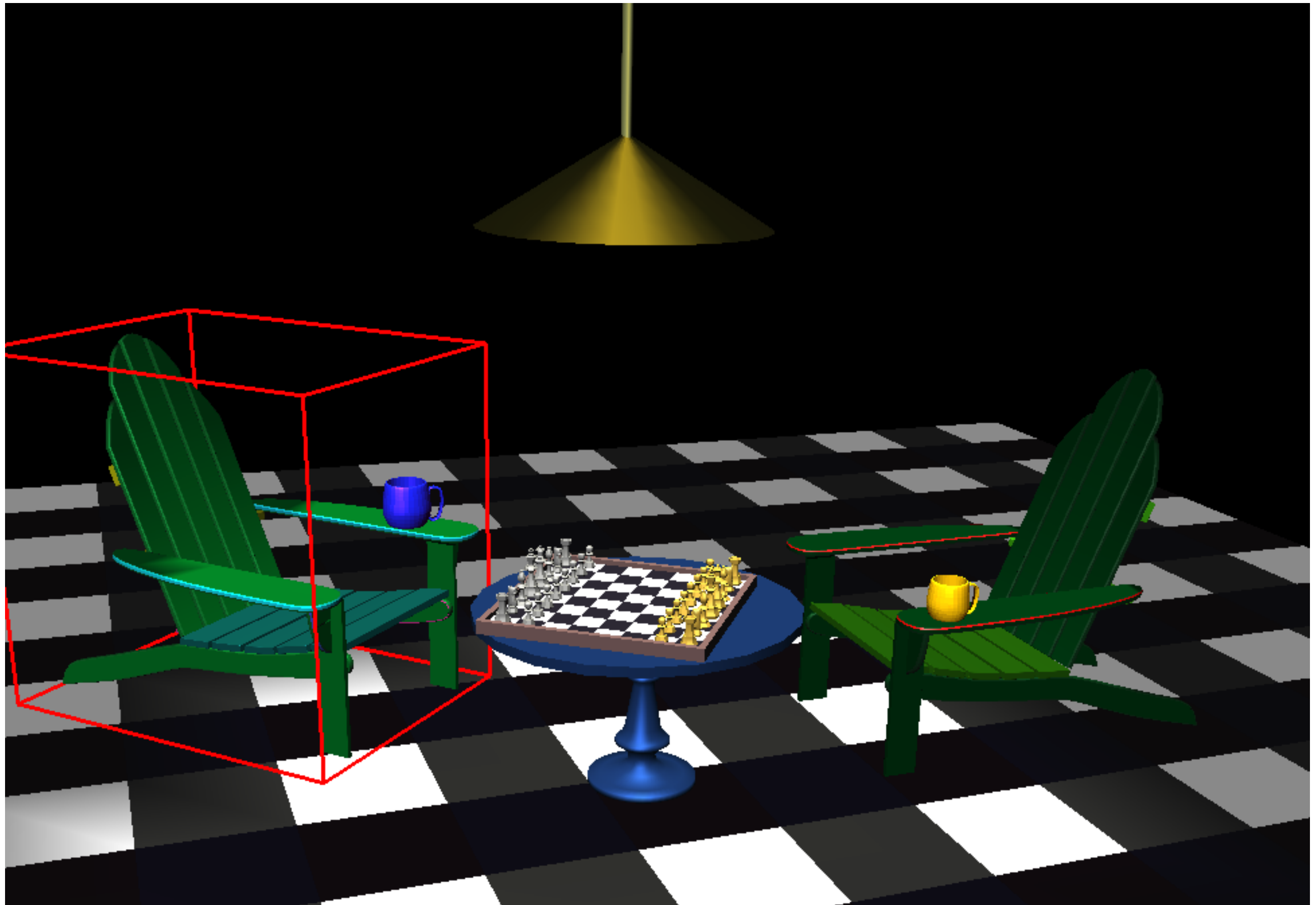
Modelação Hierárquica

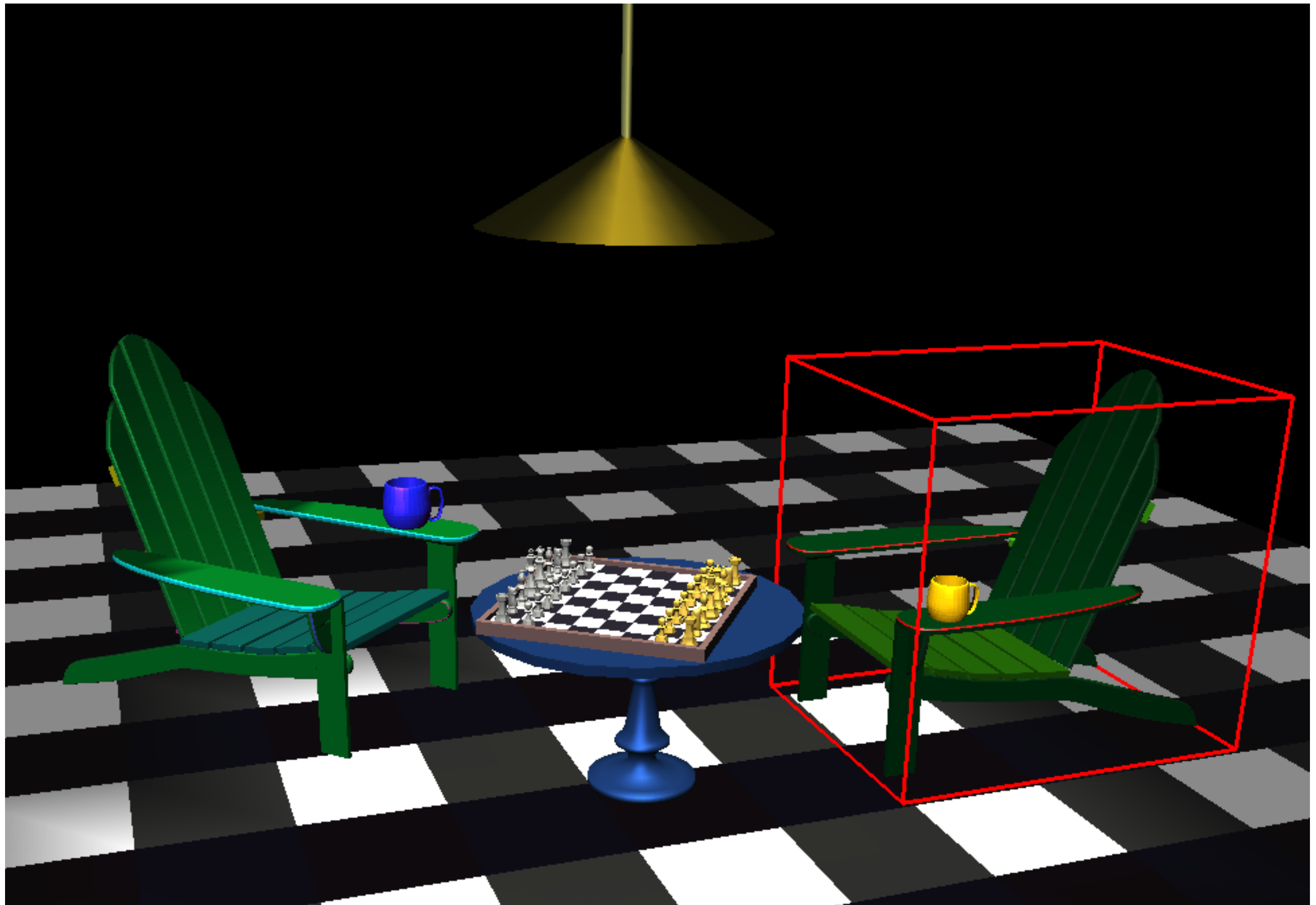
2019-2020
Fernando Birra

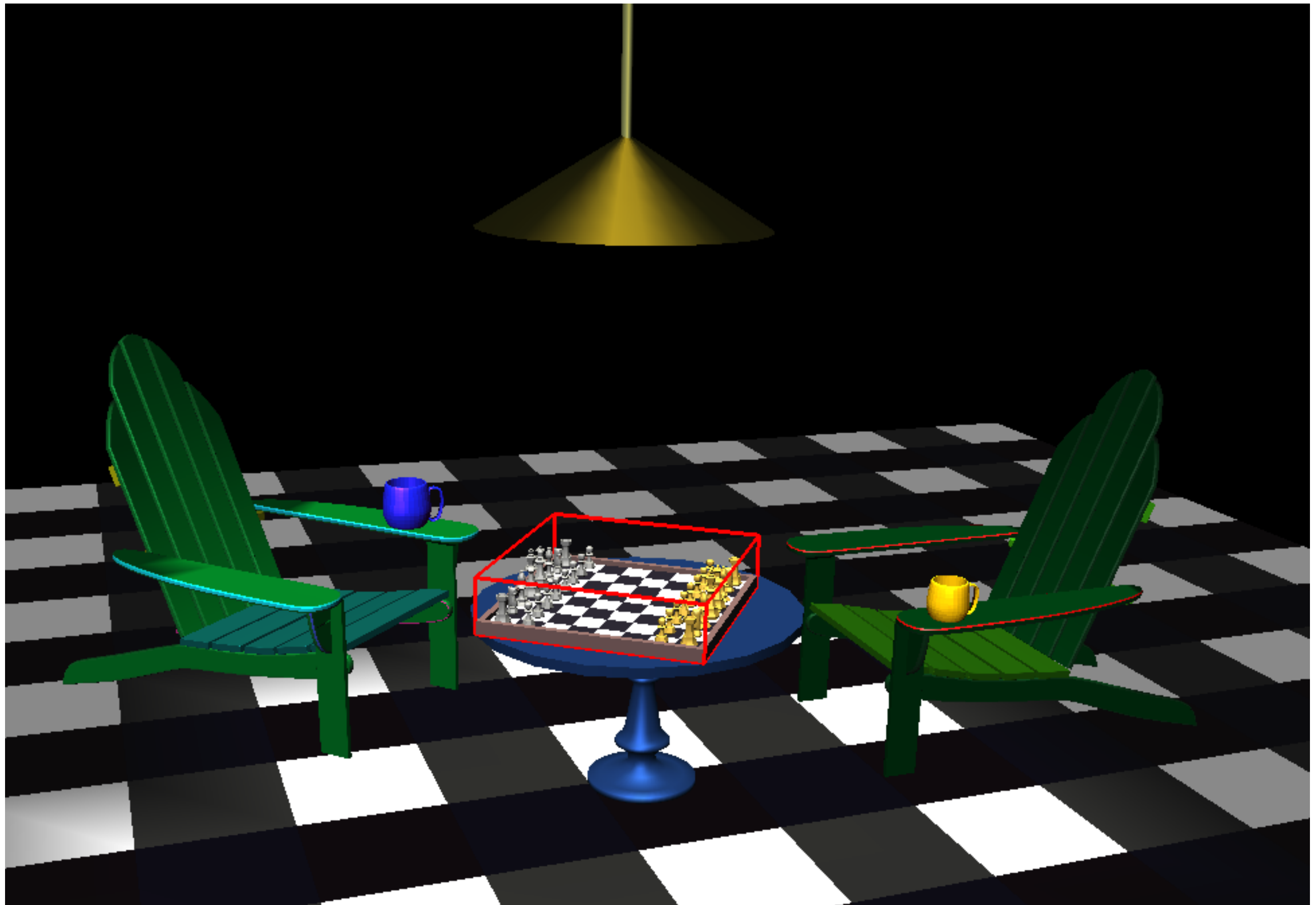
Objetivos

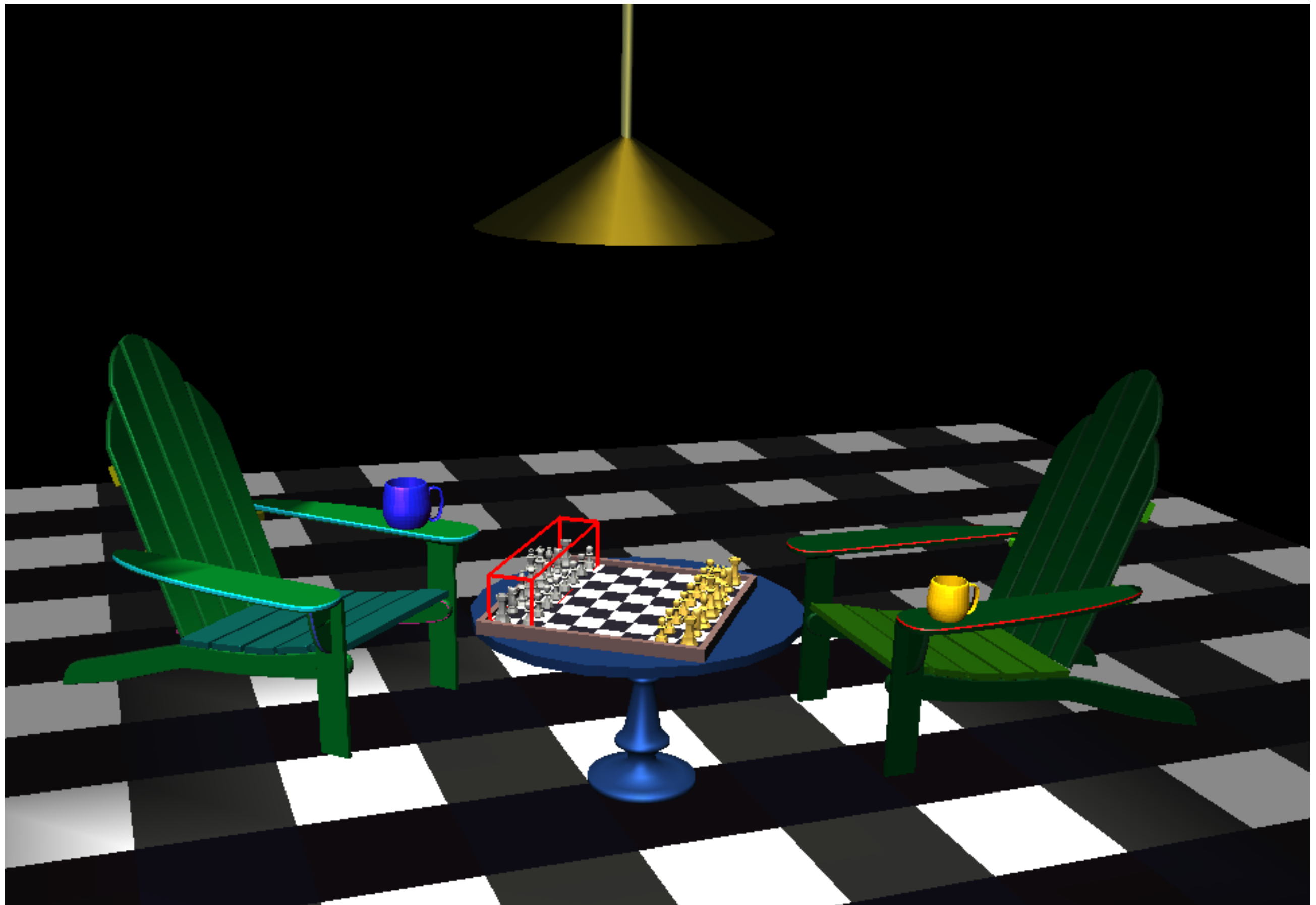
- Perceber as vantagens da modelação hierárquica de cenas
- Perceber a representação em forma de grafo da cena
- Saber escrever o código para a visualização duma cena descrita por um grafo e vice-versa.

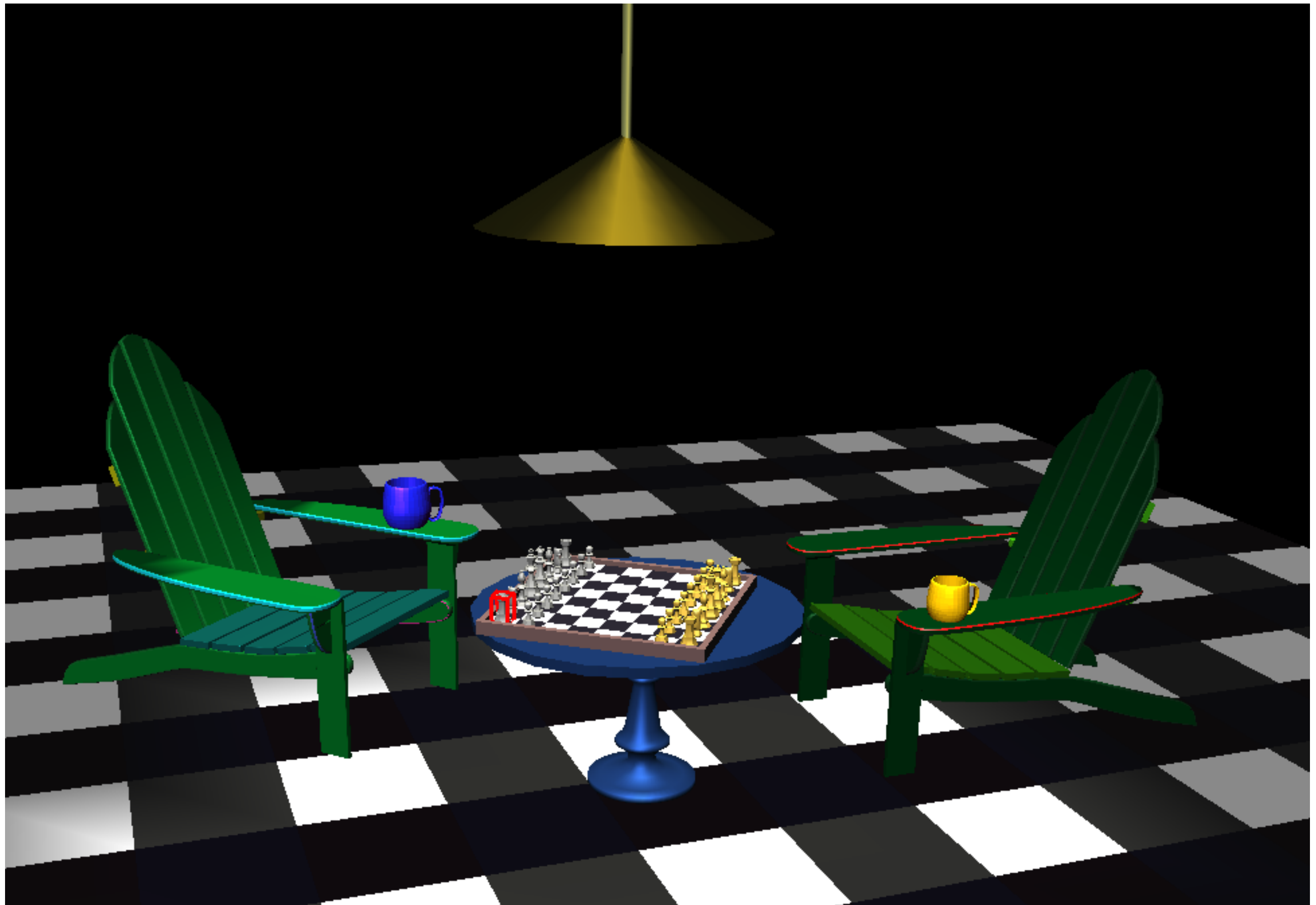






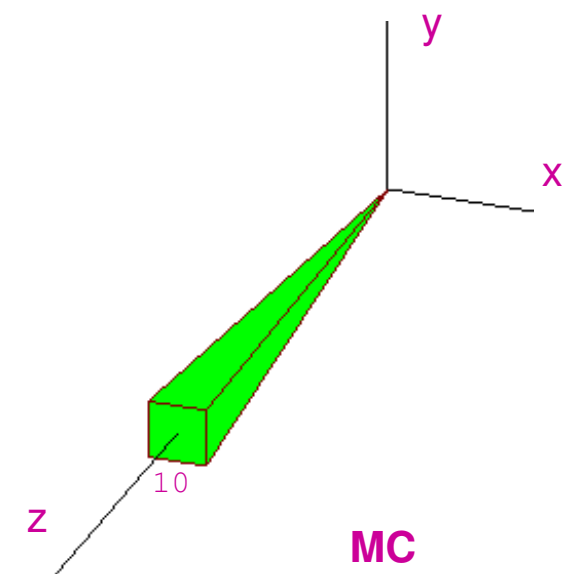
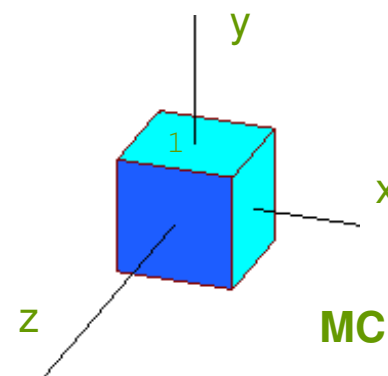
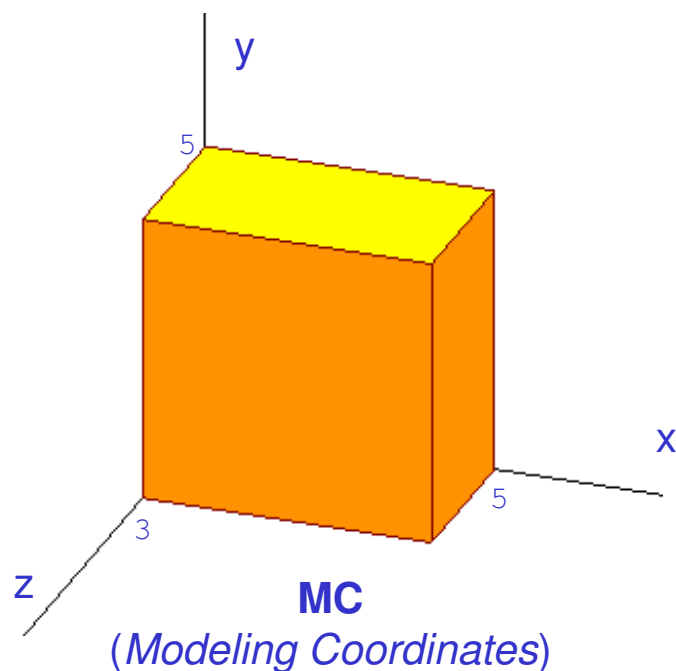






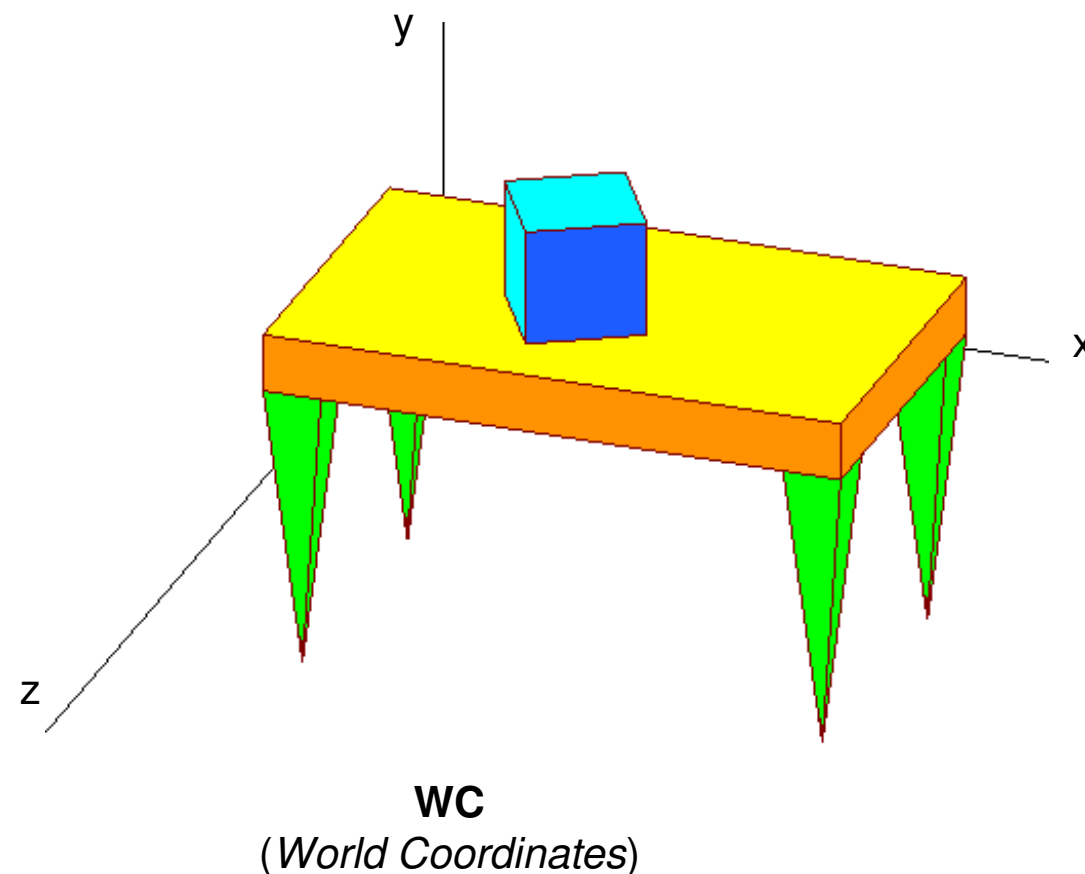
Sistemas de Coordenadas Locais, de Modelação ou do Objeto

- Cada objeto primitivo tem o seu próprio referencial, no qual foi feita a sua modelação.



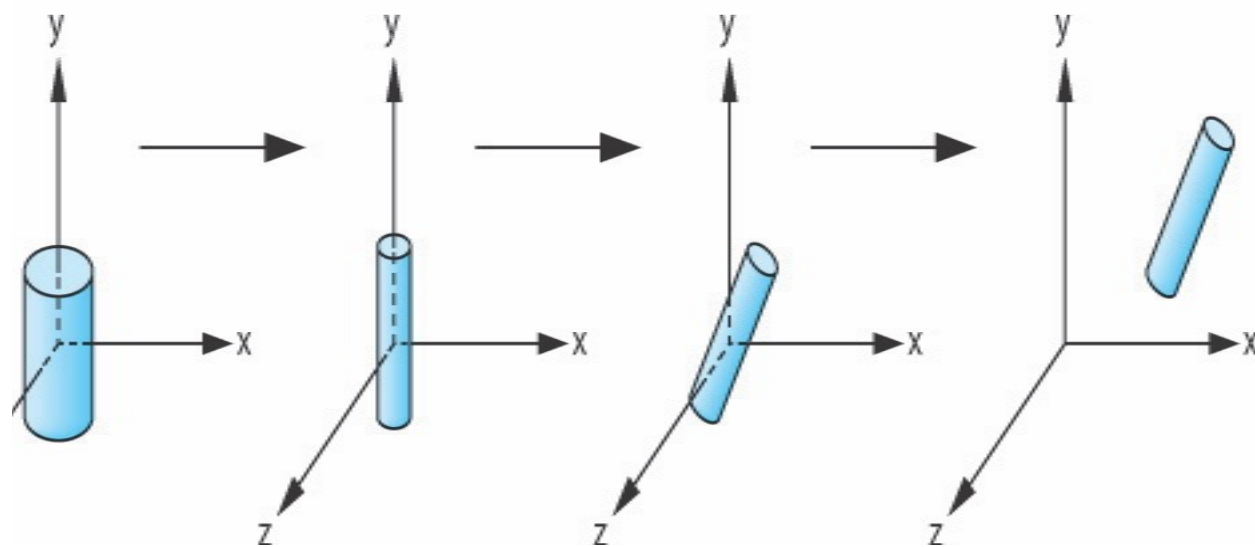
Sistema de Coordenadas do Mundo (Globais)

- A modelação duma cena consiste em aplicar aos objetos primitivos um conjunto de transformações geométricas para os instanciar na cena



Composição de Transformações

- Uma solução consiste em pensar isoladamente em cada instância de objeto primitivo e determinar isoladamente, uma composição de transformações do tipo: T.R.S

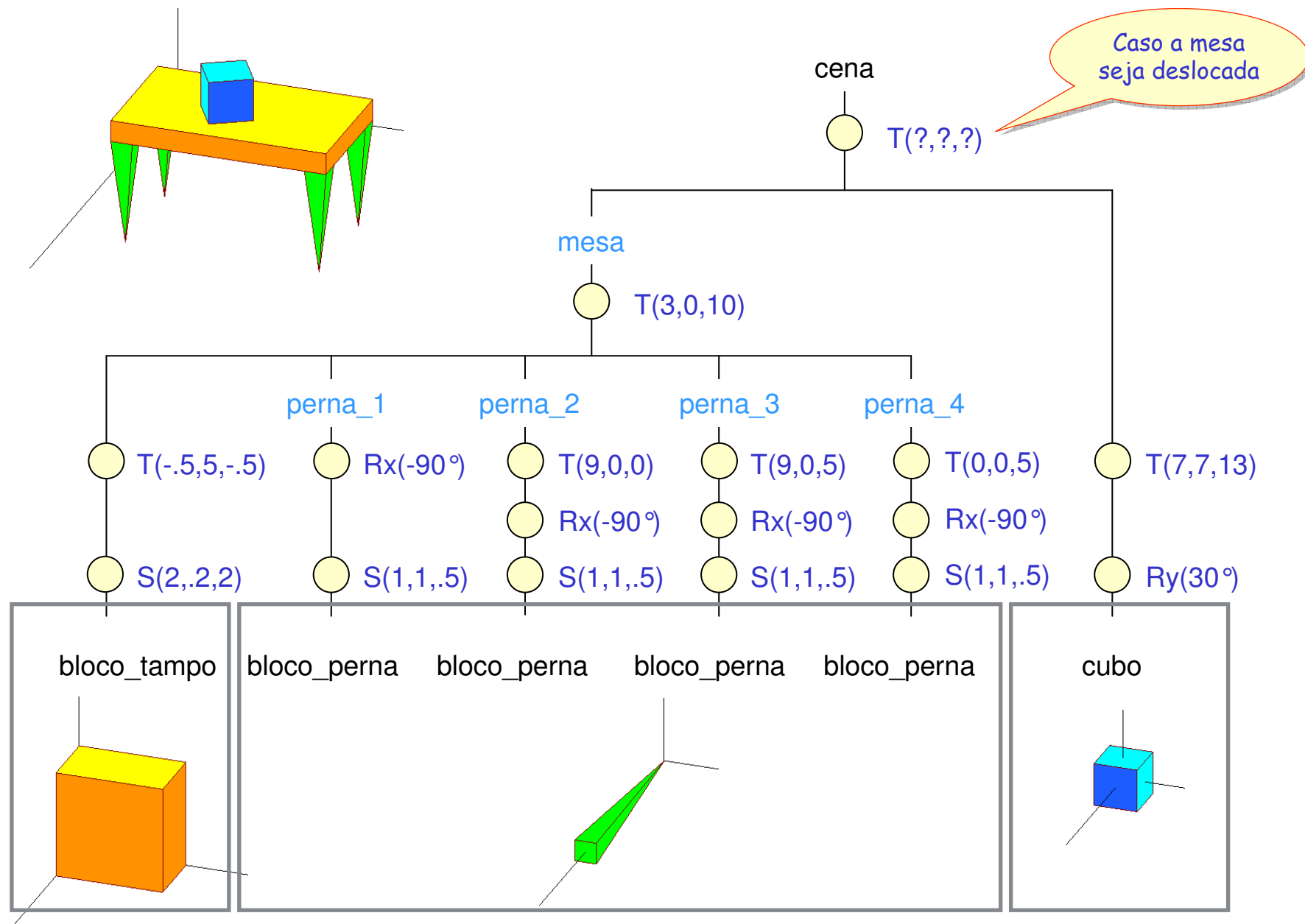


Como cada instância é pensada de forma isolada, não é fácil modificar seletivamente a cena. Exemplo: mudar o tamanho ou a posição da mesa do slide anterior.

Composição de Transformações

- A alternativa consiste em modelar a cena de forma hierárquica. Agrupando instâncias de objetos primitivos, eventualmente já transformados, para assim formar objetos mais complexos.
- Estes objetos complexos poderão ser também eles transformados e agregados a outros.
- No final, ter-se-á apenas um conjunto final, representando toda a cena.

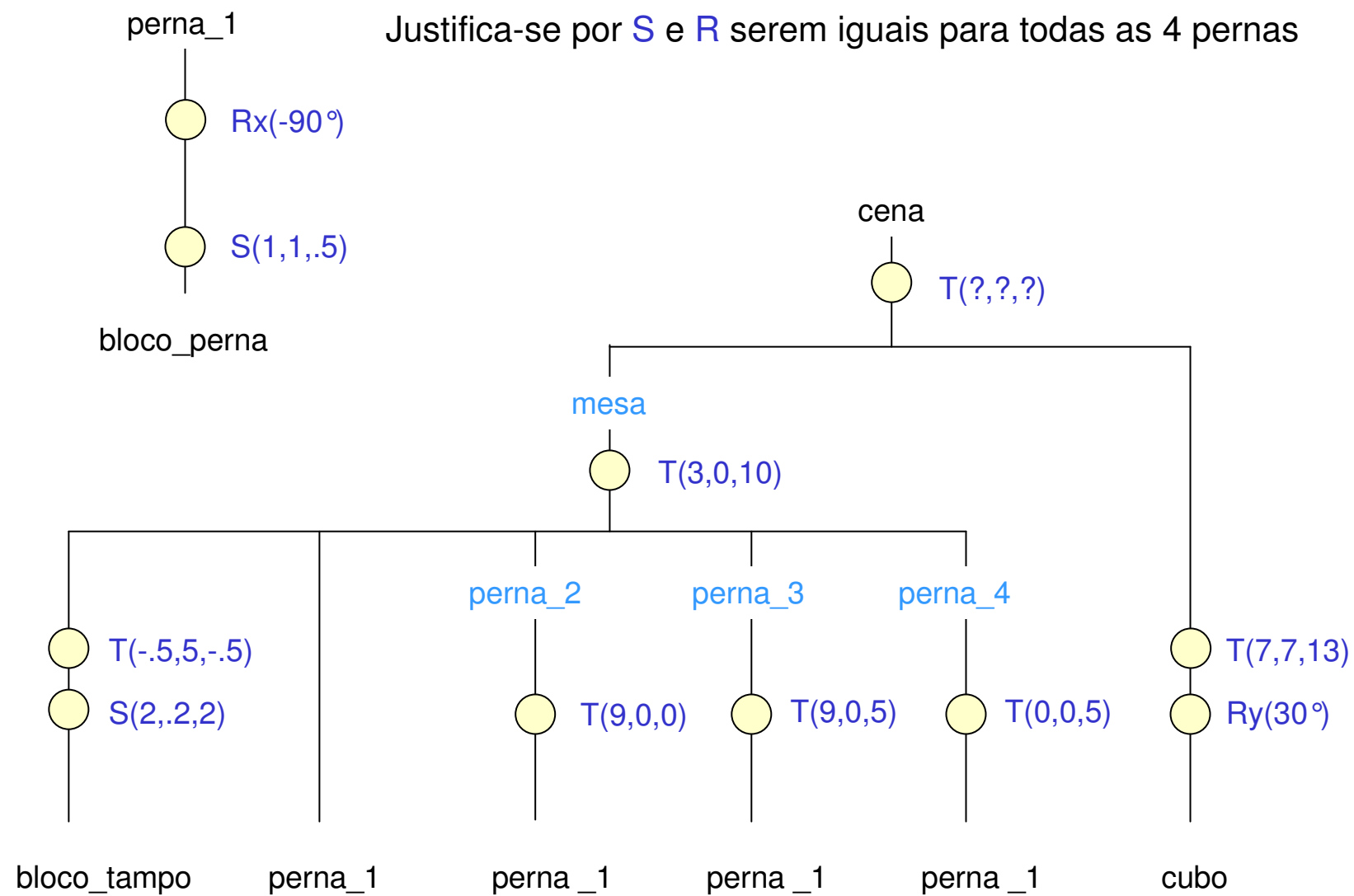
Grafo da Cena



M.Próspero

Grafo da Cena

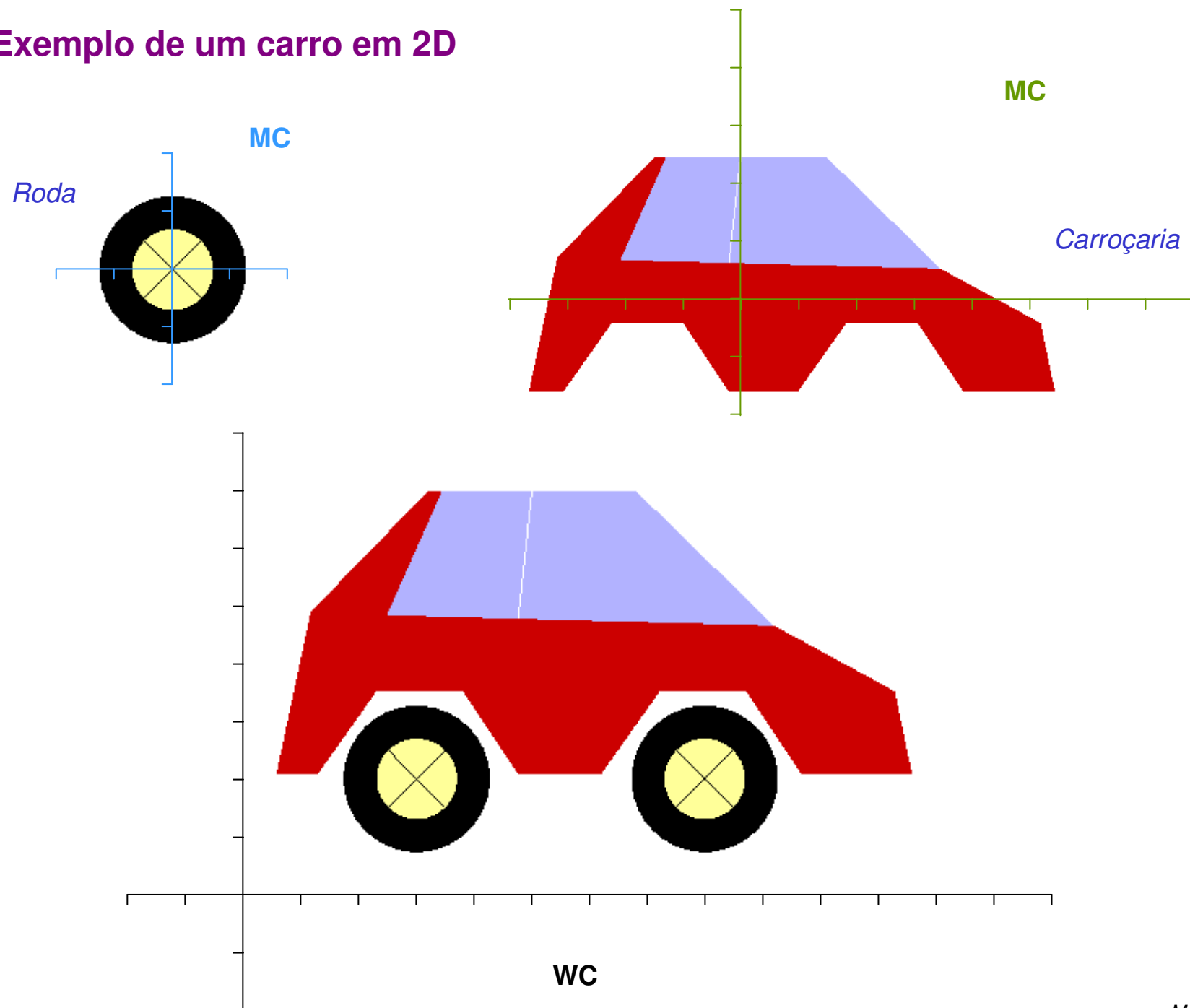
Uma alternativa possível, com base na análise do modelo, usando-se um subgrafo auxiliar:



M.Próspero

Exemplo - Carro

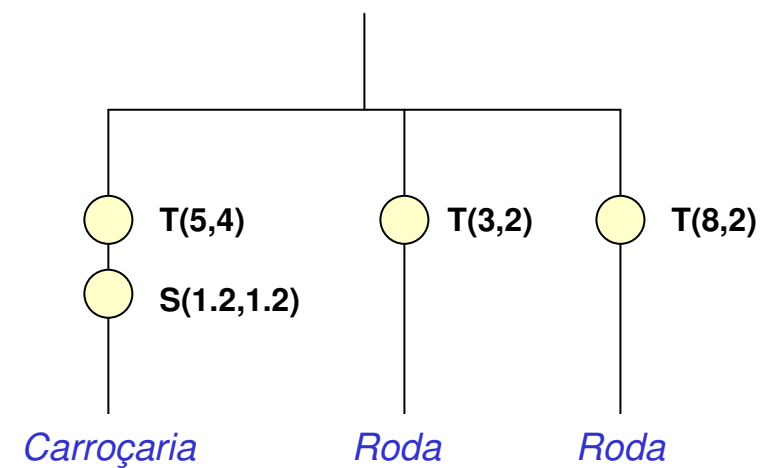
Exemplo de um carro em 2D



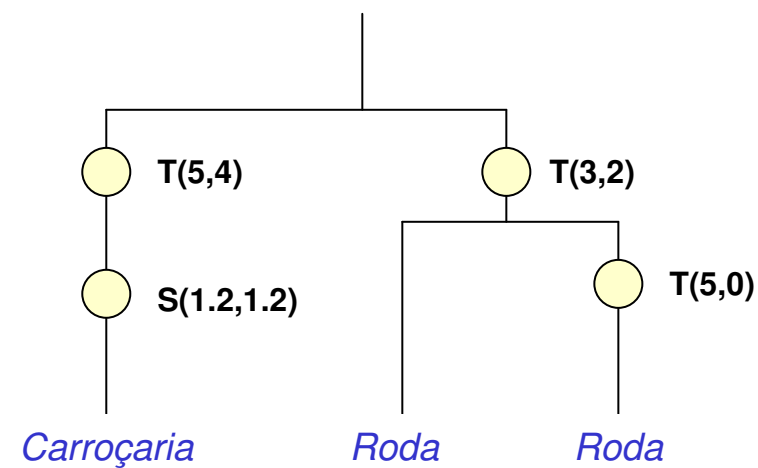
M.Próspero

Exemplo - Carro

GRAFO DA CENA



Solução alternativa:

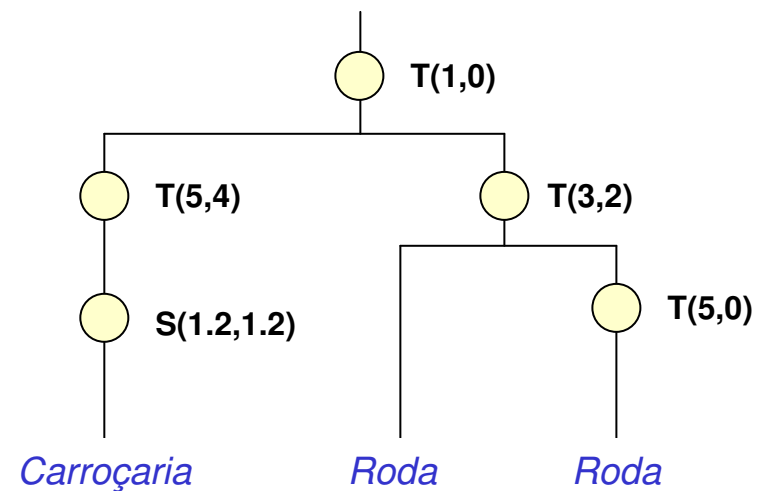


Como fazer avançar o automóvel de 1 unidade?

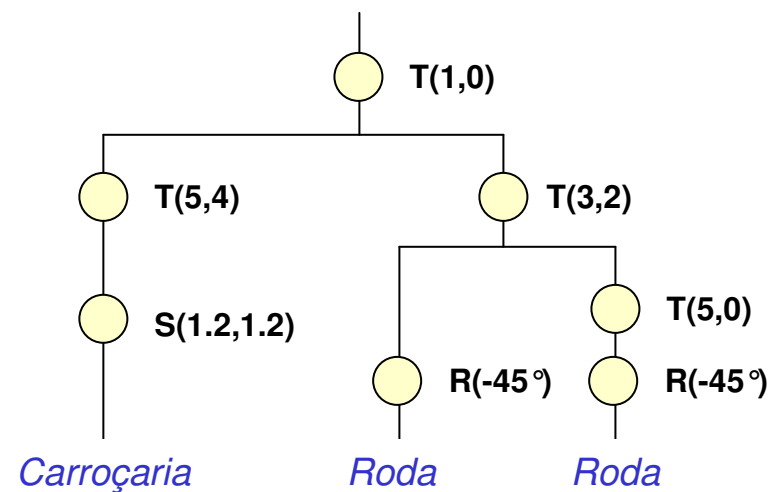
M.Próspero

Exemplo - Carro

GRAFO DA CENA



E como fazer girar as rodas,
de acordo com esse movimento?

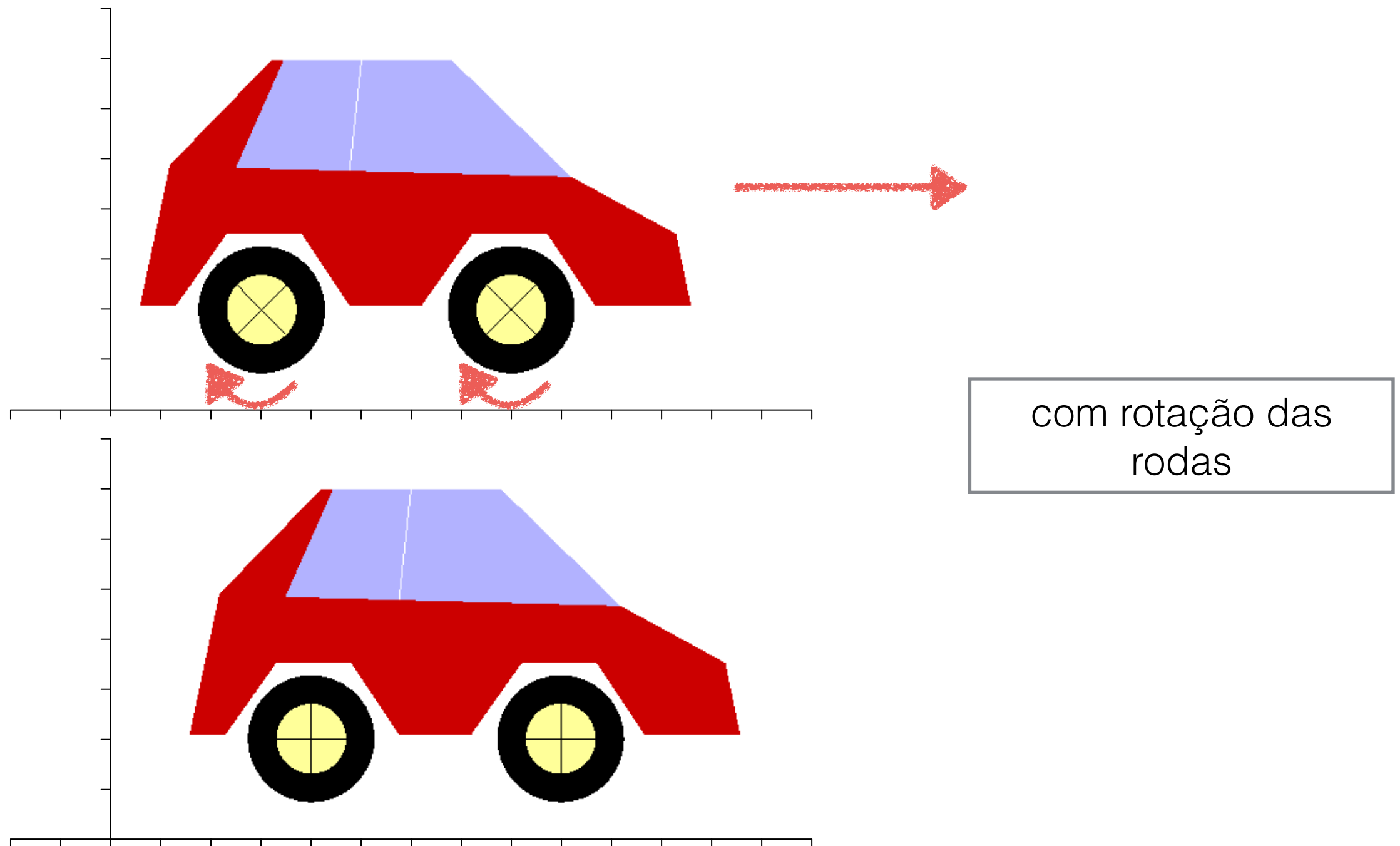


Poder-se-ia construir
um subgrafo com a
roda e a rotação

Exercício proposto: Qual seria a
diferença no caso de um trator agrícola?

M.Próspero

Exemplo - Carro



M.Próspero

Pilha de transformações

- As transformações que afetam um determinado ramo do grafo (uma primitiva) são aplicadas à respetiva primitiva pela ordem obtida lendo as transformações de baixo para cima
- Em cada ramificação, todas as transformações desde a raiz têm efeito sobre todos os ramos descendentes desse ponto.
- Seja M a composição de transformações $M_1, M_2, \dots, M_n$, encontradas num percurso descendente, desde a raiz até uma primitiva, então $M = M_1.M_2...M_n$ e, para um ponto P , dessa primitiva, o ponto transformado será $M.P = M_1.M_2...M_n.P$

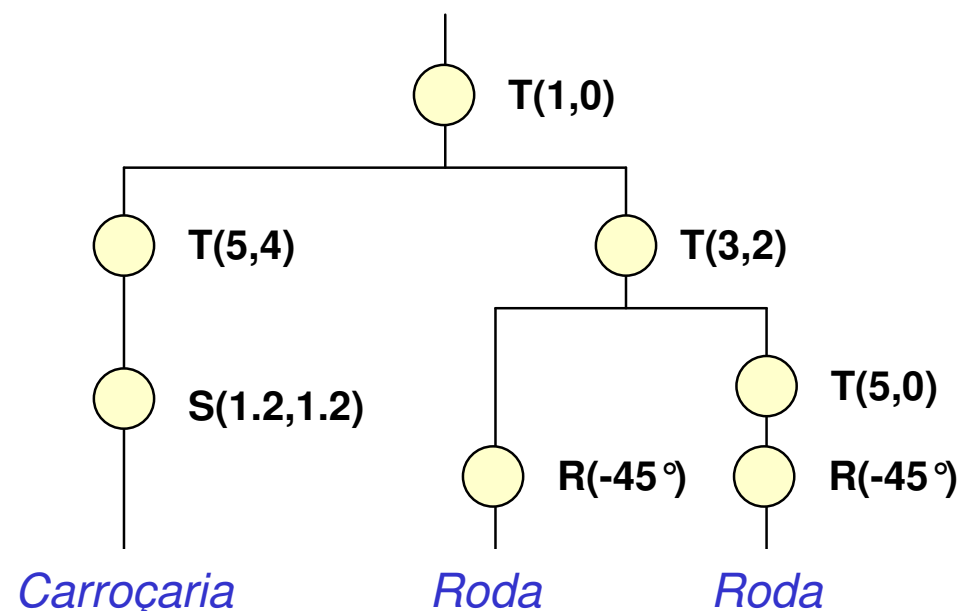
Pilha de transformações

- A geração do código poderá ser feita através dum percurso prefixado no grafo, acumulando na matriz ModelView, por multiplicação à direita, cada uma das transformações que se vão encontrando.
- Nos pontos de bifurcação, poderemos preservar o valor atual da matriz ModelView empilhando-a numa pilha de transformações
- Num determinado nível do grafo, ao regressar-se dum ramo, recupera-se o valor anterior da matriz ModelView desempilhando-o da pilha, antes de prosseguir para um ramo irmão.

Tradução para pseudo código (direta)

A inicialização de MV é geralmente efetuada chamando a função lookAt (Mview)

MV representa a matriz ModelView corrente. Presume-se que cada invocação dum primitiva usa a matriz MV para transformar os vértices.

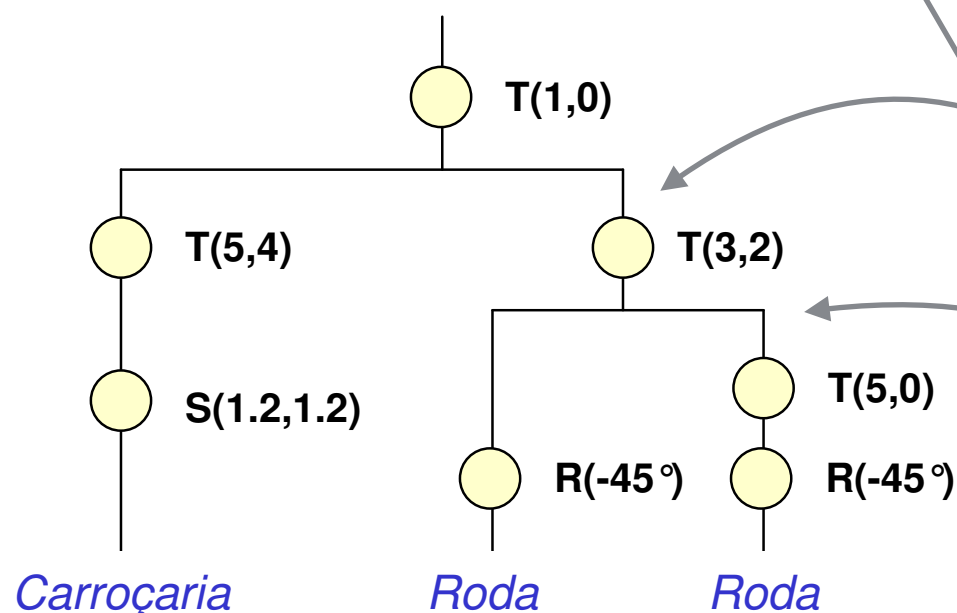


(Travessia prefixada do grafo)

```
MV = I
MV = MV.T(1,0)
Push(MV)
  MV = MV.T(5,4)
  MV = MV.S(1.2, 1.2)
  Carrocaria
MV = Pop()
Push(MV)
  MV = MV.T(3,2)
  Push(MV)
    MV = MV.R(-45)
    Roda
  MV = Pop()
  Push(MV)
    MV = MV.T(5,0)
    MV = MV.R(-45)
    Roda
  MV = Pop()
MV = Pop()
```

Tradução para pseudo código (otimizada)

Não há necessidade de preservar a composição de transformações atual, contida na matriz ModelView, sempre que se vai descer pelo ramo mais à direita!

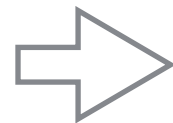


(Travessia prefixada do grafo)

```
MV = I
MV = MV.T(1,0)
Push(MV)
  MV = MV.T(5,4)
  MV = MV.S(1.2, 1.2)
  Carroçaria
MV = Pop()
Push(MV)
  MV = MV.T(3,2)
  Push(MV)
    MV = MV.R(-45)
    Roda
  MV = Pop()
  Push(MV)
    MV = MV.T(5,0)
    MV = MV.R(-45)
    Roda
  MV = Pop()
MV = Pop()
```

Tradução para código WebGL (com MV.js)

```
MV = I
MV = MV.T(1,0)
Push(MV)
  MV = MV.T(5,4)
  MV = MV.S(1.2, 1.2)
  Carroçaria
MV = Pop()
Push(MV)
  MV = MV.T(3,2)
  Push(MV)
    MV = MV.R(-45)
    Roda
  MV = Pop()
  Push(MV)
    MV = MV.T(5,0)
    MV = MV.R(-45)
    Roda
  MV = Pop()
MV = Pop()
```



```
var matrixStack=[];

modelView = mat4();
modelView = mult(modelView, translate(1,0,0));
matrixStack.push(modelView);
  modelView = mult(modelView, translate(5,4,0));
  modelView = mult(modelView, scale(1.2,1.2,1));
  Carroçaria();
modelView = matrixStack.pop();
modelView = mult(modelView, translate(3,2,0));
matrixStack.push(modelView);
  modelView = mult(modelView, rotateZ(-45));
  Roda();
modelView = matrixStack.pop();
modelView = mult(modelView, translate(5,0,0));
modelView = mult(modelView, rotateZ(-45));
Roda();
```

Nota: As primitivas, aqui representadas por funções, terão que enviar ao vertex shader o valor atual da matriz modelView, para que os respectivos pontos que as compõem possam ser transformados corretamente.

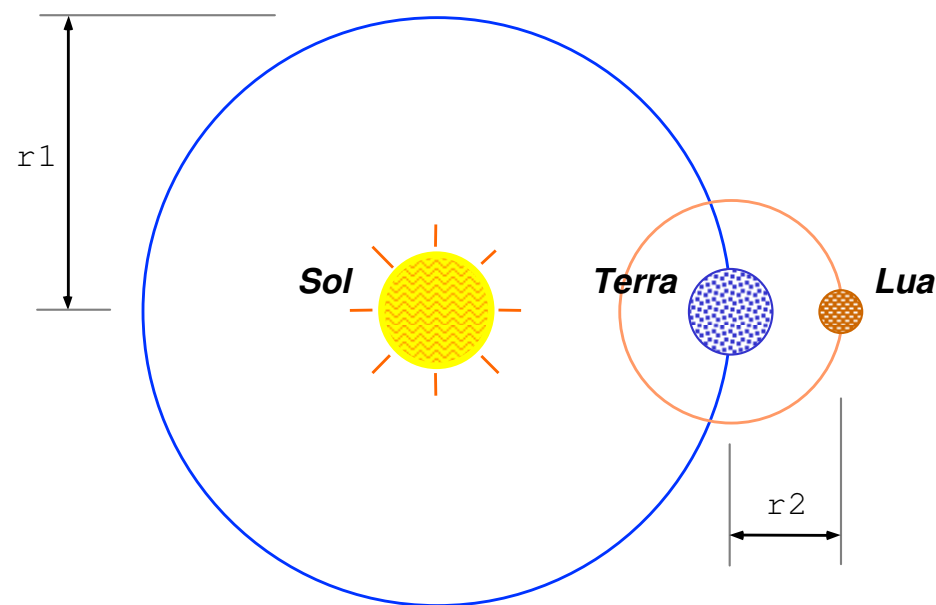
Exemplo de funções auxiliares para usar com MV.js

```
var matrixStack = [];  
var modelView = mat4();  
  
// Stack related operations  
function pushMatrix() {  
    mat4 m(modelView[0], modelView[1],  
           modelView[2], modelView[3]);  
    matrixStack.push(m);  
}  
function popMatrix() {  
    modelView = matrixStack.pop();  
}  
// Append transformations to modelView  
function multMatrix(m) {  
    modelView = mult(modelView, m);  
}  
function multTranslation(t) {  
    modelView = mult(modelView, translate(t));  
}  
function multScale(s) {  
    modelView = mult(modelView, scalem(s));  
}  
function multRotationX(angle) {  
    modelView = mult(modelView, rotateX(angle));  
}  
function multRotationY(angle) {  
    modelView = mult(modelView, rotateY(angle));  
}  
function multRotationZ(angle) {  
    modelView = mult(modelView, rotateZ(angle));  
}
```

```
}  
  
multTranslation([1,0,0]));  
pushMatrix();  
    multTranslation(5,4,0);  
    multScale(1.2,1.2,1);  
    Carroçaria();  
popMatrix();  
multTranslation(3,2,0));  
pushMatrix();  
    multRotationZ(-45));  
    Roda();  
popMatrix();  
multTranslation(5,0,0));  
multRotationZ(-45));  
Roda();
```

Exemplo anterior, feito usando as funções auxiliares aqui definidas.

Exemplo - Sistema Planetário Simplificado

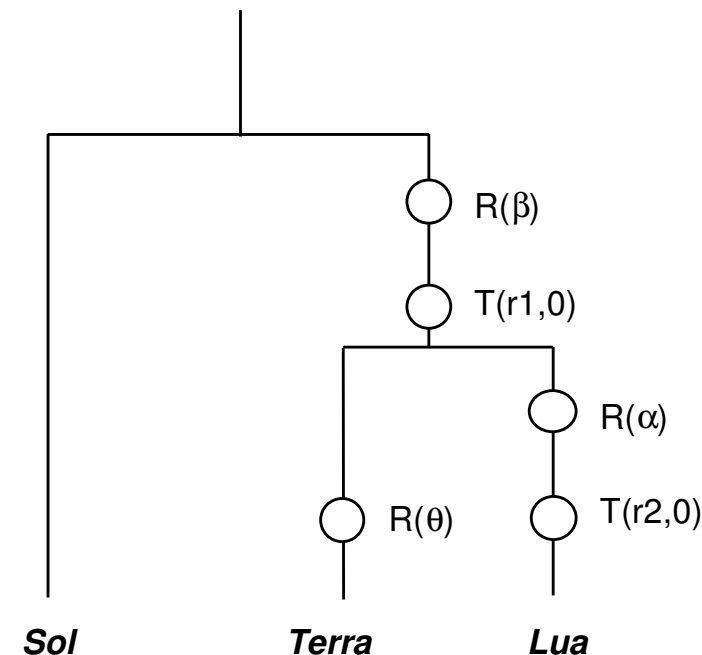


Admite-se que:

- Os objetos primitivos (2D) serão modelados com centro na origem.
- As órbitas dos planetas são circulares e encontram-se no plano XY.

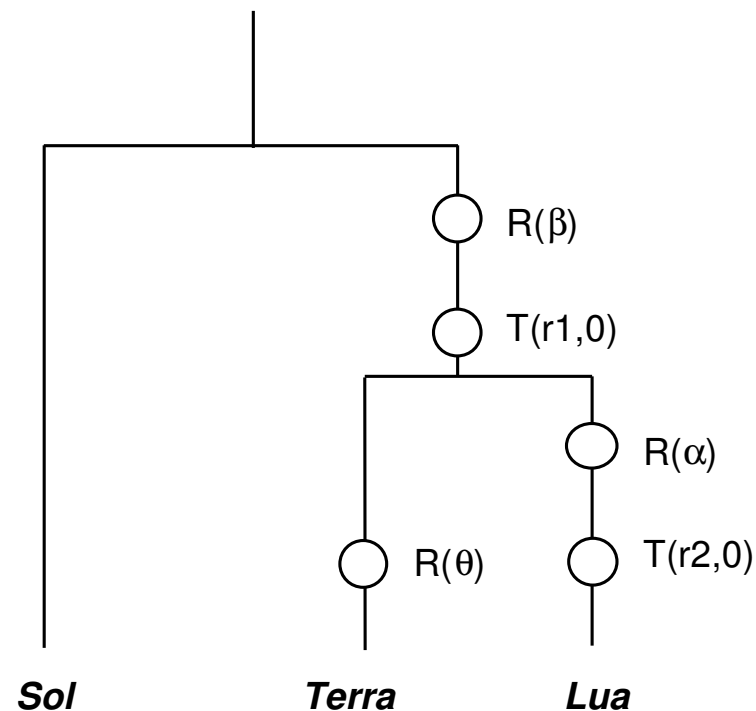
Colocado na
origem de WC

GRAFO DA CENA



M.Próspero

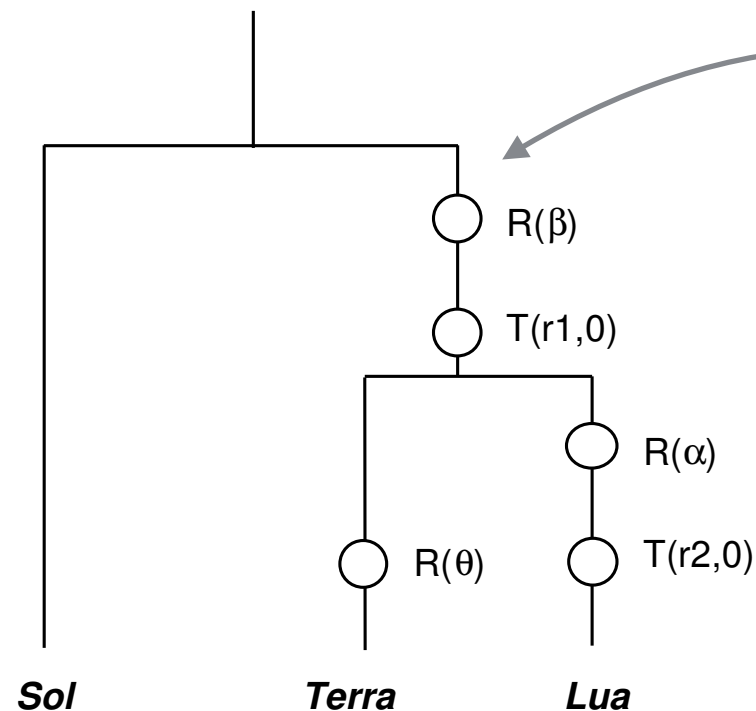
Tradução direta



Esta solução foi escrita supondo que **nada se conhece** sobre a programação dos objetos primitivos, não sendo de excluir que aí possam ter sido utilizadas **transformações geométricas** (ver as instruções Push e Pop como parênteses de cada um desses objetos).

```
pushMatrix();
  pushMatrix();
    Sol();
  popMatrix();
popMatrix();
pushMatrix()
  multRotationZ(beta);
  multTranslation([r1,0,0]);
  pushMatrix();
    multRotationZ(theta);
    pushMatrix();
      Terra();
    popMatrix();
  popMatrix();
  pushMatrix();
    multRotationZ(alpha);
    multTranslation([r2,0,0]);
    pushMatrix();
      Lua();
    popMatrix();
  popMatrix();
popMatrix();
```

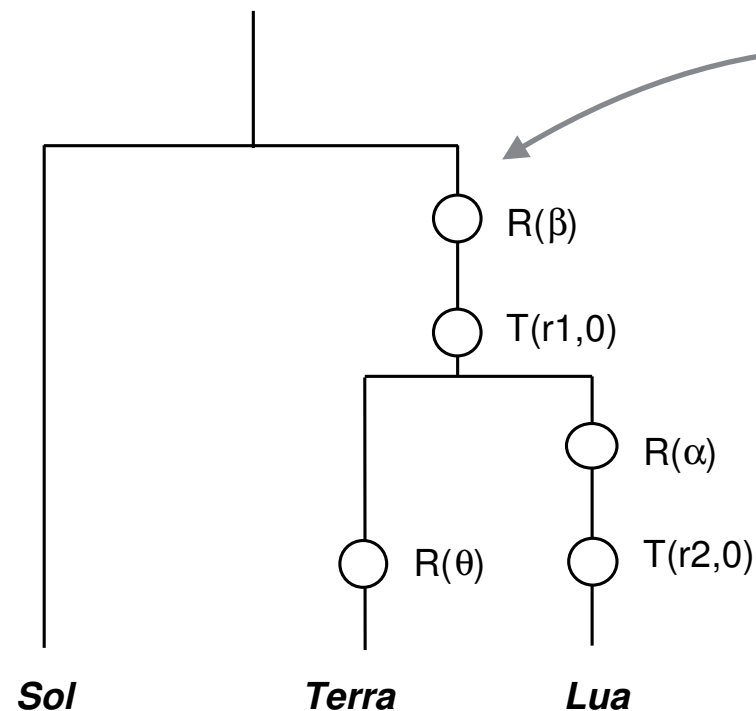
Tradução otimizada (I)



Esta solução foi escrita supondo que **nada se conhece** sobre a programação dos objetos primitivos, não sendo de excluir que aí possam ter sido utilizadas **transformações geométricas** (ver as instruções Push e Pop como parênteses de cada um desses objetos).

```
pushMatrix();
pushMatrix();
  Sol();
popMatrix();
pushMatrix();
  multRotationZ(beta);
  multTranslation([r1,0,0]);
pushMatrix();
  multRotationZ(theta);
pushMatrix();
  Terra();
popMatrix();
popMatrix();
pushMatrix();
  multRotationZ(alpha);
  multTranslation([r2,0,0]);
pushMatrix();
  Lua();
popMatrix();
popMatrix();
popMatrix();
popMatrix();
```

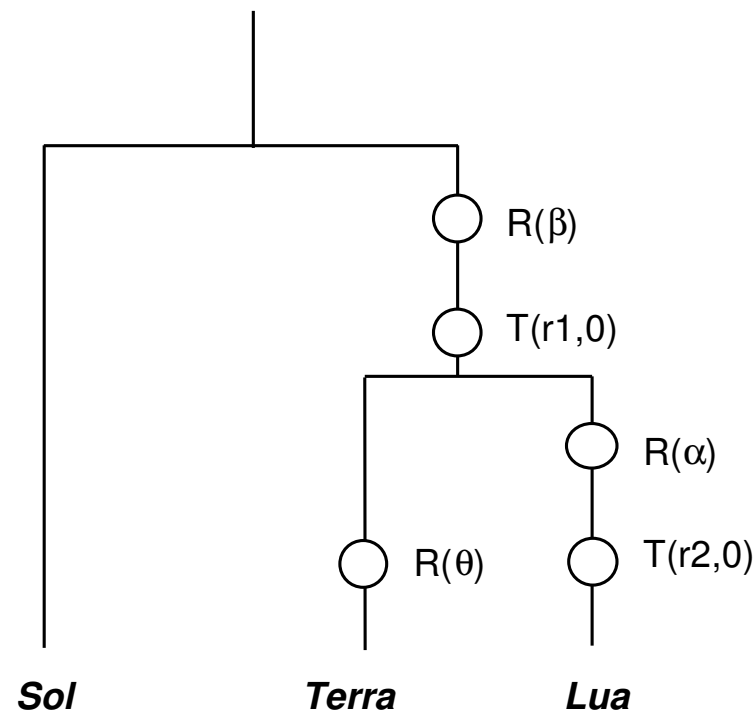
Tradução otimizada (I)



Esta solução foi escrita supondo que **nada se conhece** sobre a programação dos objetos primitivos, não sendo de excluir que aí possam ter sido utilizadas **transformações geométricas** (ver as instruções Push e Pop como parênteses de cada um desses objetos).

```
pushMatrix();
pushMatrix();
  Sol();
popMatrix();
pushMatrix();
  multRotationZ(beta);
  multTranslation([r1,0,0]);
  pushMatrix();
    multRotationZ(theta);
    pushMatrix();
      Terra();
    popMatrix();
  popMatrix();
  pushMatrix();
    multRotationZ(alpha);
    multTranslation([r2,0,0]);
    pushMatrix();
      Lua();
    popMatrix();
  popMatrix();
popMatrix();
popMatrix();
```

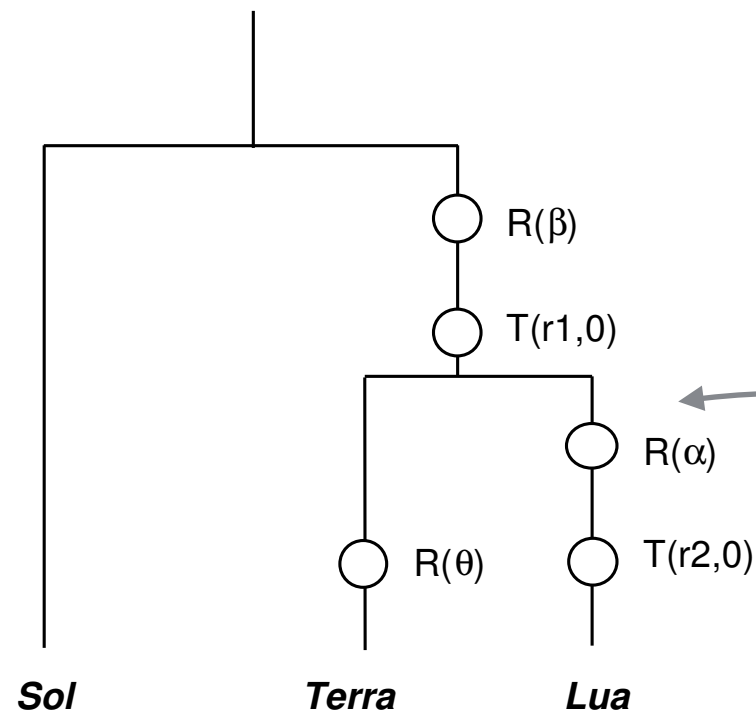
Tradução otimizada (I)



Esta solução foi escrita supondo que **nada se conhece** sobre a programação dos objetos primitivos, não sendo de excluir que aí possam ter sido utilizadas **transformações geométricas** (ver as instruções Push e Pop como parênteses de cada um desses objetos).

```
pushMatrix();
pushMatrix();
  Sol();
popMatrix();
pushMatrix();
  multRotationZ(beta);
  multTranslation([r1,0,0]);
  pushMatrix();
    multRotationZ(theta);
    pushMatrix();
      Terra();
    popMatrix();
  popMatrix();
  pushMatrix();
    multRotationZ(alpha);
    multTranslation([r2,0,0]);
    pushMatrix();
      Lua();
    popMatrix();
  popMatrix();
popMatrix();
popMatrix();
```

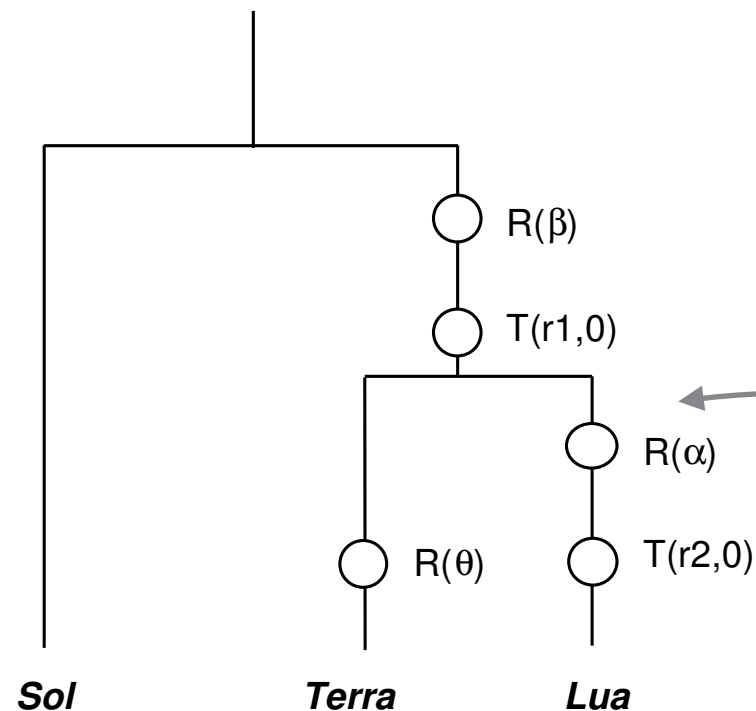
Tradução otimizada (II)



Esta solução foi escrita supondo que **nada se conhece** sobre a programação dos objetos primitivos, não sendo de excluir que aí possam ter sido utilizadas **transformações geométricas** (ver as instruções Push e Pop como parênteses de cada um desses objetos).

```
pushMatrix();
pushMatrix();
  Sol();
popMatrix();
pushMatrix();
  multRotationZ(beta);
  multTranslation([r1,0,0]);
  pushMatrix();
    multRotationZ(theta);
    pushMatrix();
      Terra();
    popMatrix();
  popMatrix();
  pushMatrix();
    multRotationZ(alpha);
    multTranslation([r2,0,0]);
    pushMatrix();
      Lua();
    popMatrix();
  popMatrix();
popMatrix();
popMatrix();
```

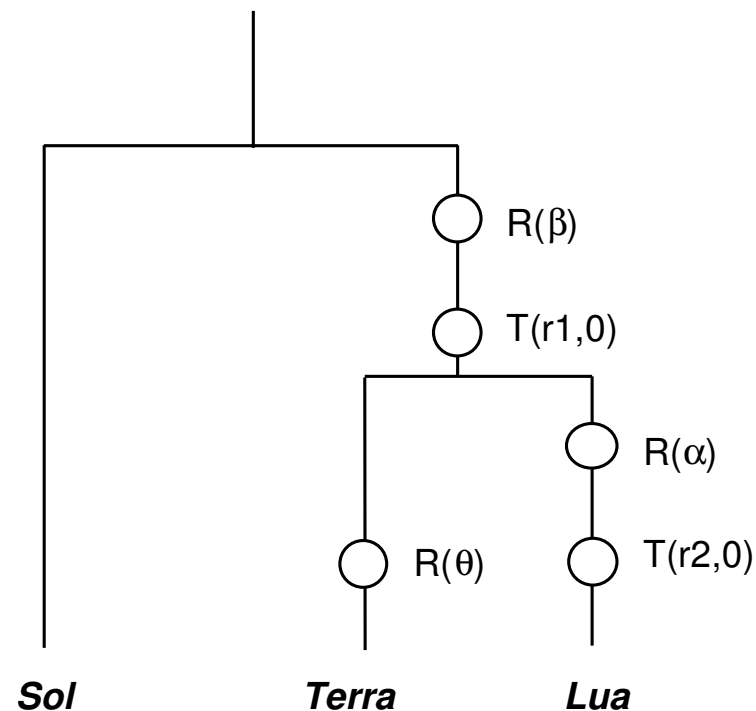
Tradução otimizada (II)



Esta solução foi escrita supondo que **nada se conhece** sobre a programação dos objetos primitivos, não sendo de excluir que aí possam ter sido utilizadas **transformações geométricas** (ver as instruções Push e Pop como parênteses de cada um desses objetos).

```
pushMatrix();
pushMatrix();
  Sol();
popMatrix();
pushMatrix();
  multRotationZ(beta);
  multTranslation([r1,0,0]);
  pushMatrix();
    multRotationZ(theta);
    pushMatrix();
      Terra();
    popMatrix();
  popMatrix();
pushMatrix();
    multRotationZ(alpha);
    multTranslation([r2,0,0]);
    pushMatrix();
      Lua();
    popMatrix();
  popMatrix();
popMatrix();
popMatrix();
```

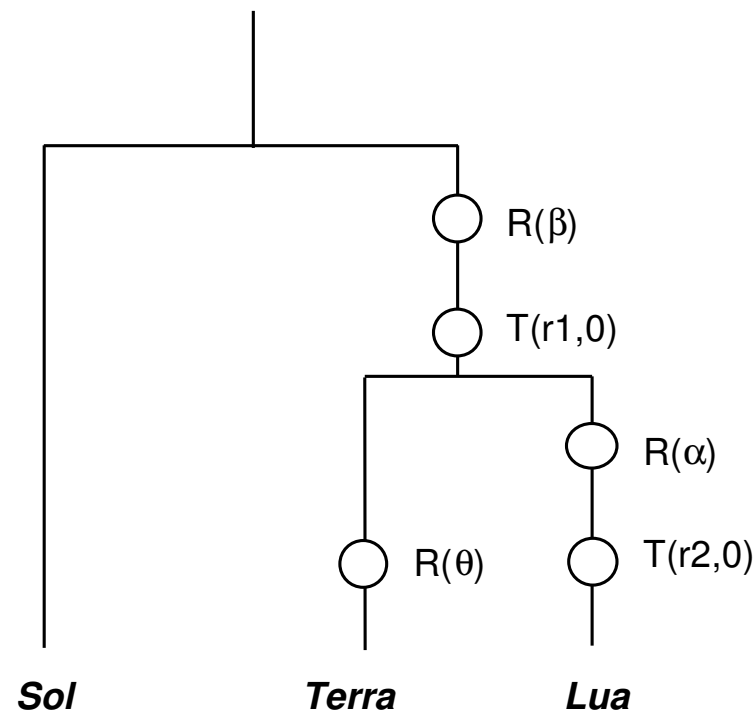
Tradução otimizada (II)



Esta solução foi escrita supondo que **nada se conhece** sobre a programação dos objetos primitivos, não sendo de excluir que aí possam ter sido utilizadas **transformações geométricas** (ver as instruções Push e Pop como parênteses de cada um desses objetos).

```
pushMatrix();
pushMatrix();
  Sol();
popMatrix();
pushMatrix();
  multRotationZ(beta);
  multTranslation([r1,0,0]);
  pushMatrix();
    multRotationZ(theta);
    pushMatrix();
      Terra();
    popMatrix();
  popMatrix();
pushMatrix();
    multRotationZ(alpha);
    multTranslation([r2,0,0]);
    pushMatrix();
      Lua();
    popMatrix();
popMatrix();
popMatrix();
popMatrix();
```

Tradução otimizada (III)

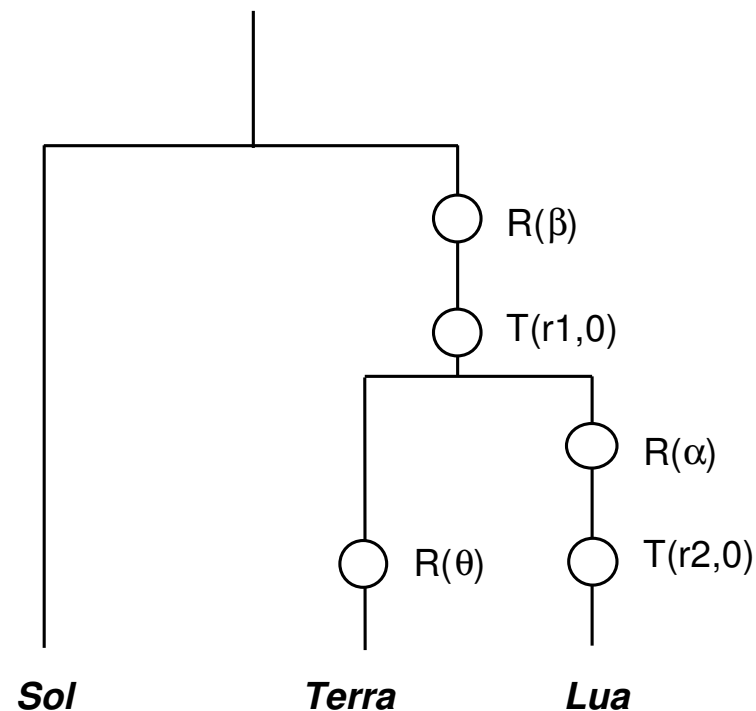


Esta solução foi escrita supondo que **nada se conhece** sobre a programação dos objetos primitivos, não sendo de excluir que aí possam ter sido utilizadas **transformações geométricas** (ver as instruções Push e Pop como parênteses de cada um desses objetos).

```
pushMatrix();
pushMatrix();
  Sol();
popMatrix();
pushMatrix();
  multRotationZ(beta);
  multTranslation([r1,0,0]);
pushMatrix();
  multRotationZ(theta);
pushMatrix();
  Terra();
popMatrix();
popMatrix();
pushMatrix();
  multRotationZ(alpha);
  multTranslation([r2,0,0]);
pushMatrix();
  Lua();
popMatrix();
popMatrix();
popMatrix();
popMatrix();
```

Inútil, devido ao PopMatrix() imediatamente a seguir!

Tradução otimizada (III)

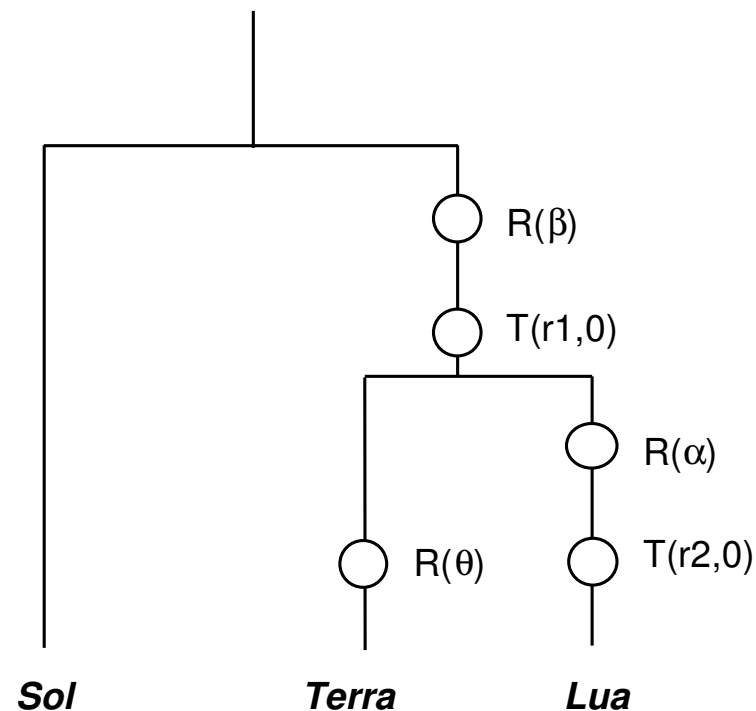


Esta solução foi escrita supondo que **nada se conhece** sobre a programação dos objetos primitivos, não sendo de excluir que aí possam ter sido utilizadas **transformações geométricas** (ver as instruções Push e Pop como parênteses de cada um desses objetos).

```
pushMatrix();
pushMatrix();
  Sol();
popMatrix();
pushMatrix();
  multRotationZ(beta);
  multTranslation([r1,0,0]);
  pushMatrix();
    multRotationZ(theta);
    pushMatrix();
    | Terra();
    popMatrix();
  popMatrix();
pushMatrix();
  multRotationZ(alpha);
  multTranslation([r2,0,0]);
  pushMatrix();
    Lua();
  popMatrix();
popMatrix();
popMatrix();
popMatrix();
```

Inútil, devido ao PopMatrix() imediatamente a seguir!

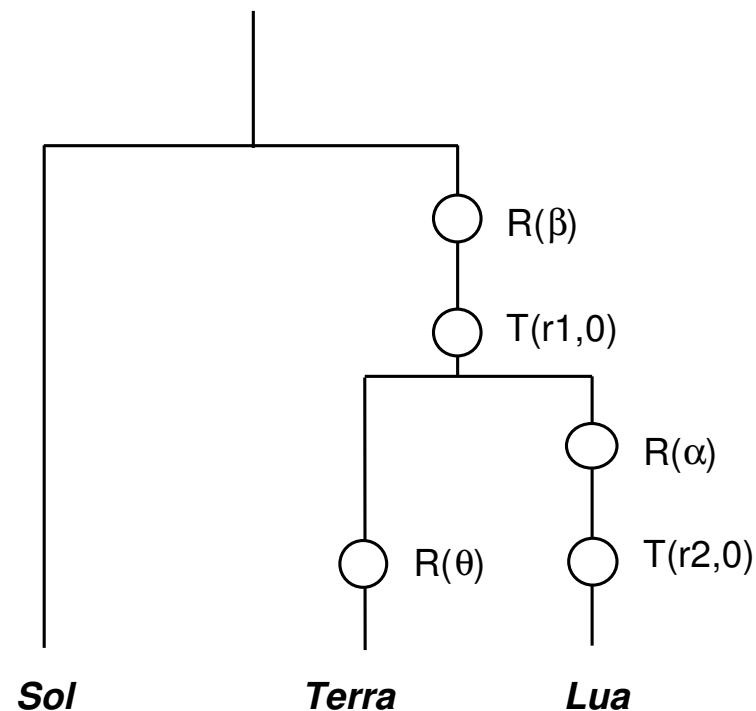
Tradução otimizada (III)



Esta solução foi escrita supondo que **nada se conhece** sobre a programação dos objetos primitivos, não sendo de excluir que aí possam ter sido utilizadas **transformações geométricas** (ver as instruções Push e Pop como parênteses de cada um desses objetos).

```
pushMatrix();
pushMatrix();
  Sol();
popMatrix();
pushMatrix();
  multRotationZ(beta);
  multTranslation([r1,0,0]);
  pushMatrix();
    multRotationZ(theta);
    pushMatrix();
      Terra();
      popMatrix();
    popMatrix();
    pushMatrix();
      multRotationZ(alpha);
      multTranslation([r2,0,0]);
      pushMatrix();
        Lua();
        popMatrix();
      popMatrix();
    popMatrix();
  popMatrix();
```

Tradução otimizada (IV)

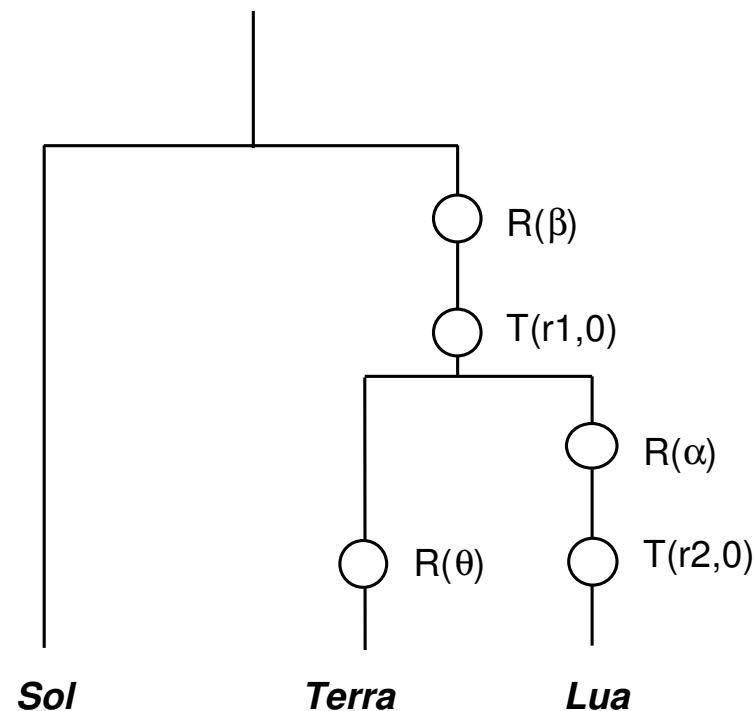


Esta solução foi escrita supondo que **nada se conhece sobre a programação dos objetos primitivos**, não sendo de excluir que aí possam ter sido utilizadas **transformações geométricas** (ver as instruções Push e Pop como parênteses de cada um desses objetos).

```
pushMatrix();
pushMatrix();
  Sol();
popMatrix();
pushMatrix();
  multRotationZ(beta);
  multTranslation([r1,0,0]);
  pushMatrix();
    multRotationZ(theta);
    pushMatrix();
      Terra();
      popMatrix();
    popMatrix();
    pushMatrix();
      multRotationZ(alpha);
      multTranslation([r2,0,0]);
      pushMatrix();
        Lua();
        popMatrix();
      popMatrix();
    popMatrix();
  popMatrix();
```

Inútil, devido ao PopMatrix() imediatamente a seguir!

Tradução otimizada (IV)

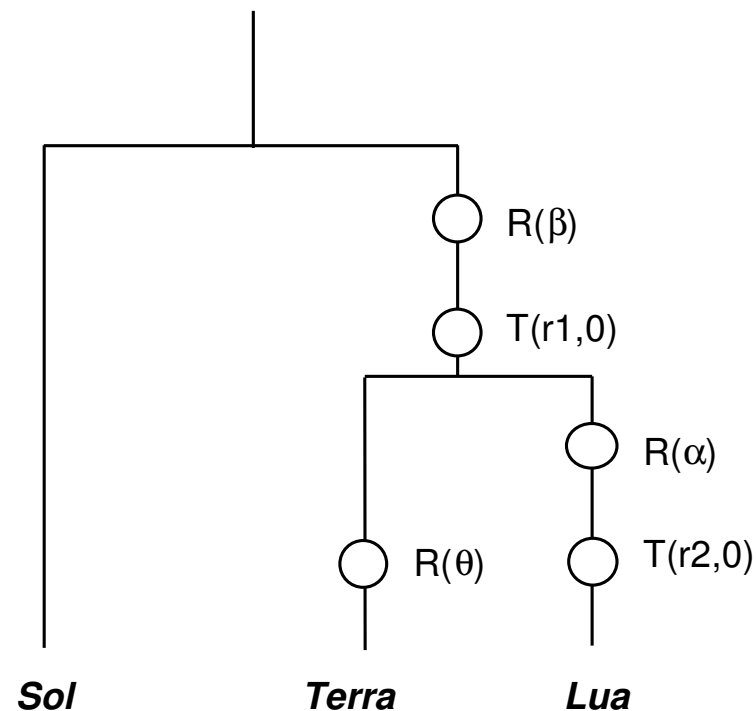


Esta solução foi escrita supondo que **nada se conhece sobre a programação dos objetos primitivos**, não sendo de excluir que aí possam ter sido utilizadas **transformações geométricas** (ver as instruções Push e Pop como parênteses de cada um desses objetos).

```
pushMatrix();
pushMatrix();
  Sol();
popMatrix();
pushMatrix();
  multRotationZ(beta);
  multTranslation([r1,0,0]);
  pushMatrix();
    multRotationZ(theta);
    pushMatrix();
      Terra();
      popMatrix();
    popMatrix();
  pushMatrix();
    multRotationZ(alpha);
    multTranslation([r2,0,0]);
    pushMatrix();
      Lua();
      popMatrix();
    popMatrix();
  popMatrix();
popMatrix();
```

Inútil, devido ao PopMatrix() imediatamente a seguir!

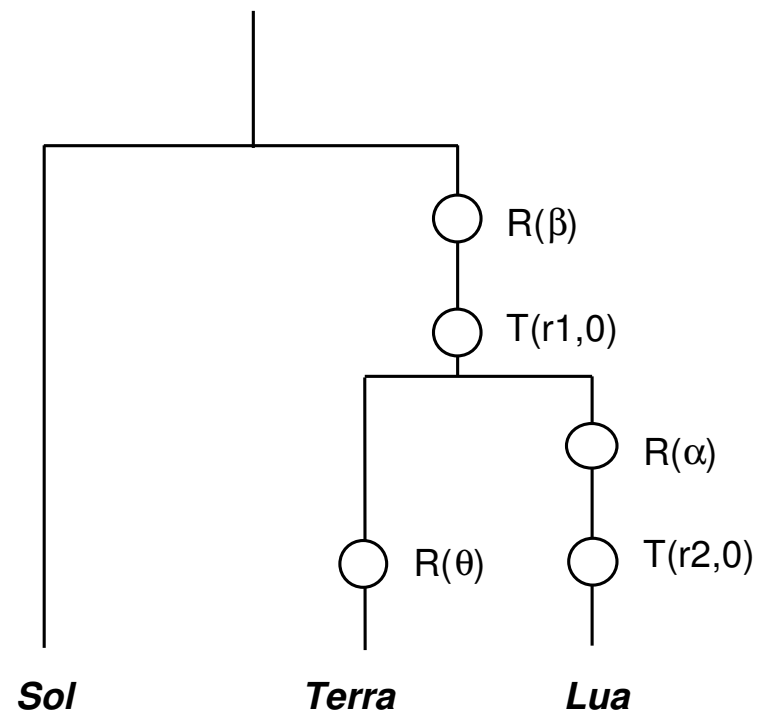
Tradução otimizada (IV)



Esta solução foi escrita supondo que **nada se conhece** sobre a programação dos objetos primitivos, não sendo de excluir que aí possam ter sido utilizadas **transformações geométricas** (ver as instruções Push e Pop como parênteses de cada um desses objetos).

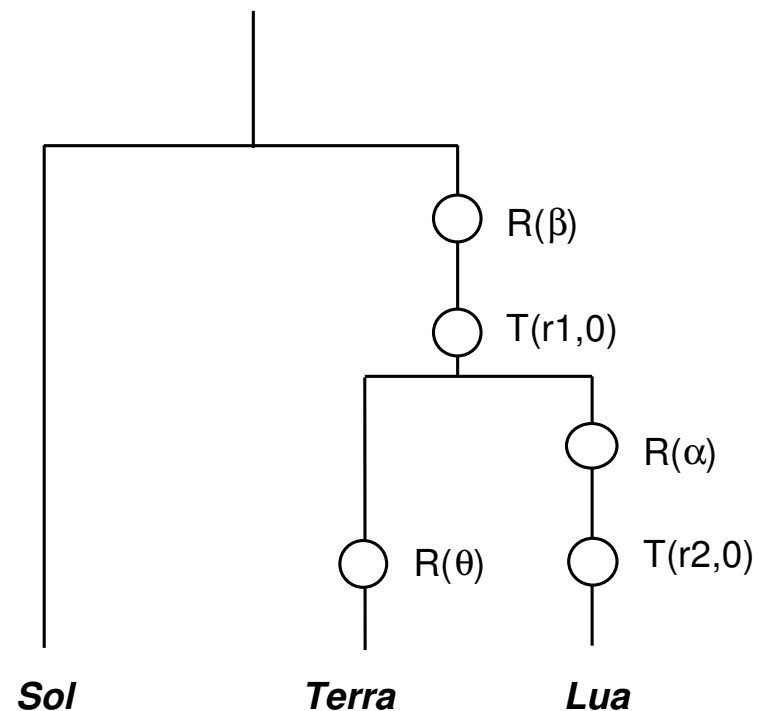
```
pushMatrix();
pushMatrix();
  Sol();
popMatrix();
pushMatrix();
  multRotationZ(beta);
  multTranslation([r1,0,0]);
  pushMatrix();
    multRotationZ(theta);
    pushMatrix();
      Terra();
      popMatrix();
    popMatrix();
    pushMatrix();
      multRotationZ(alpha);
      multTranslation([r2,0,0]);
      pushMatrix();
        Lua();
        popMatrix();
      popMatrix();
    popMatrix();
  popMatrix();
```

Tradução otimizada



```
pushMatrix();
  pushMatrix();
    Sol();
  popMatrix();
  multRotationZ(beta);
  multTranslation([r1,0,0]);
  pushMatrix();
    multRotationZ(theta);
    Terra();
  popMatrix();
  multRotationZ(alpha);
  multTranslation([r2,0,0]);
  Lua();
popMatrix();
```

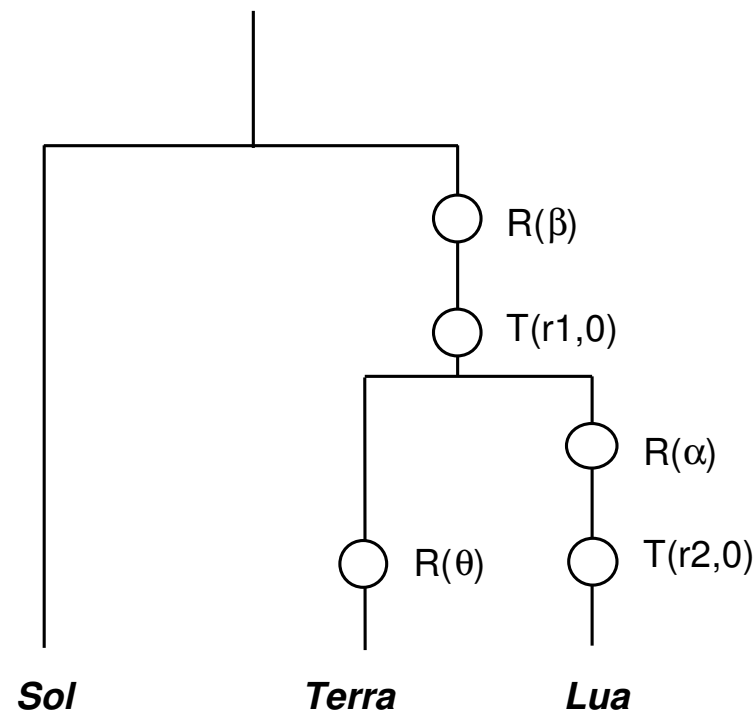
Tradução otimizada



```
pushMatrix();
  pushMatrix();
    Sol();
  popMatrix();
  multRotationZ(beta);
  multTranslation([r1,0,0]);
  pushMatrix();
    multRotationZ(theta);
    Terra();
  popMatrix();
  multRotationZ(alpha);
  multTranslation([r2,0,0]);
  Lua();
popMatrix();
```

Se nada mais houver para desenhar, o par PushMatrix()-PopMatrix() mais exterior também será desnecessário...

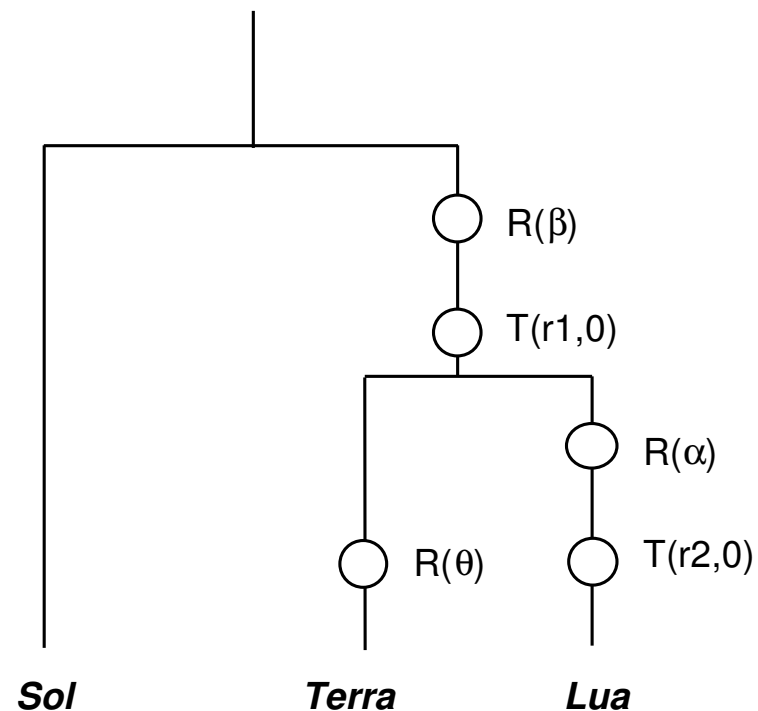
Tradução otimizada



```
pushMatrix();  
pushMatrix();  
  Sol();  
popMatrix();  
multRotationZ(beta);  
multTranslation([r1,0,0]);  
pushMatrix();  
  multRotationZ(theta);  
  Terra();  
popMatrix();  
multRotationZ(alpha);  
multTranslation([r2,0,0]);  
  Lua();  
popMatrix();
```

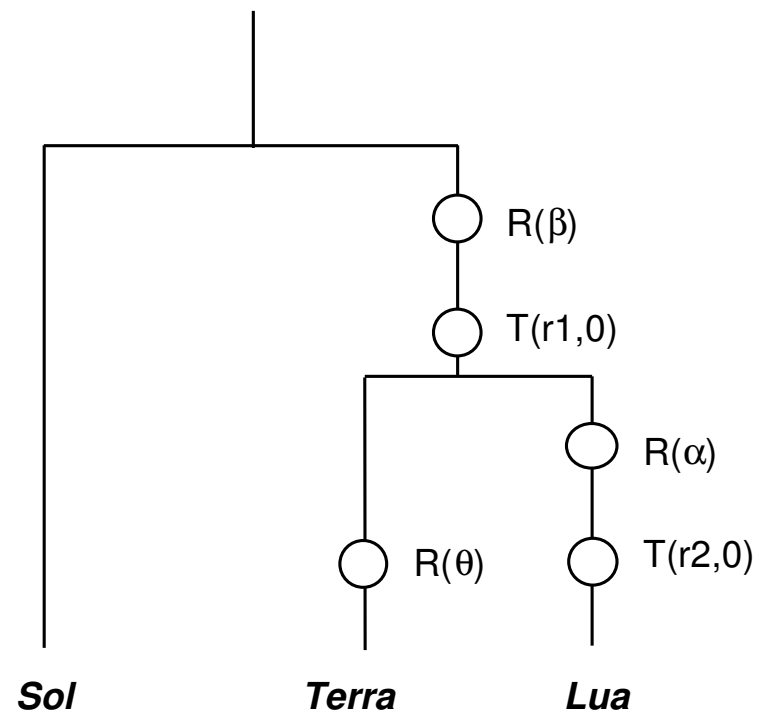
Se nada mais houver para desenhar, o par
PushMatrix()-PopMatrix() mais exterior
também será desnecessário...

Tradução otimizada



```
pushMatrix();  
pushMatrix();  
  Sol();  
popMatrix();  
multRotationZ(beta);  
multTranslation([r1,0,0]);  
pushMatrix();  
  multRotationZ(theta);  
  Terra();  
popMatrix();  
multRotationZ(alpha);  
multTranslation([r2,0,0]);  
  Lua();  
popMatrix();
```

Tradução otimizada



```
pushMatrix();  
  Sol();  
popMatrix();  
multRotationZ(beta);  
multTranslation([r1,0,0]);  
pushMatrix();  
  multRotationZ(theta);  
  Terra();  
popMatrix();  
multRotationZ(alpha);  
multTranslation([r2,0,0]);  
Lua();
```