

KIKO - Sistema de Animação para Representação de Movimento Humano

Marcus Guilherme de Amorim
Homero Luiz Píccolo

Universidade de Brasília
Departamento de Ciência da Computação
Laboratório de Computação Gráfica
70910, Brasília, DF, Brasil
homero@brunb.bitnet

Abstract. This article describes a general procedural system that defines the movement of an articulated structure similar to the human body. The system interfaces with the user through an animation script written in a programming language. The goal of the system is to serve as a basis for the representation and simulation of specific movements. The body model and the system architecture are presented. Also a movement generation experiment and its results are shown.

1. INTRODUÇÃO

A representação de movimento humano é uma das áreas que vem sendo largamente estudadas na computação gráfica. Sistemas com as mais variadas características têm sido desenvolvidos para a solução de problemas como: estudo do efeito de choques sobre o corpo humano, como em uma batida de automóveis; estudo da mobilidade de um corpo em situações específicas, como em uma cabine de avião ou em uma mesa de escritório [Dooley (1982); Clement-Coppin (1992)]; visualização e análise de movimentos de atletas ou deficientes físicos [Píccolo et al. (1992)]; criação de coreografias de dança [Calvert et al. (1991)]; ou simplesmente para a criação de animações artísticas realísticas.

Tais sistemas seguem as mais diversas filosofias de implementação, dependendo do tipo de problema a ser resolvido. Pode ser utilizada simulação [Calvert-Chapman (1982)] ou definição geométrica [Badler et al. (1987); Isaacs-Cohen (1987)] para a geração dos movimentos que compoem a animação final. Em um sistema de simulação, os movimentos são gerados a partir de parâmetros e leis de movimento aplicados ao corpo, considerando-se uma configuração inicial para o ambiente. Já em sistemas com definição geométrica, os movimentos são gerados a partir de dados obtidos de movimentos conhecidos de um determinado modelo.

Uma tendência de diversos sistemas é a de integrar em um mesmo ambiente ferramentas para a definição de sequências de animação a partir de métodos distintos. Esta filosofia permite a utilização da técnica adequada a partes específicas do problema global a ser resolvido, permitindo maior flexibilidade ao sistema [Isaacs-Cohen (1987)].

Neste artigo é descrito o sistema Manipulador de Corpos Articulados (KIKO), implementado como projeto

final de graduação do autor. O sistema consiste de um sistema de animação procedural de uso geral, não possuindo uma interface de alto nível com o animador. Possui uma série de comandos para o controle das articulações de um modelo simples de corpo humano. Estes comandos são ativados através de um script de animação em forma de linguagem de programação. O objetivo do sistema é servir de base para a implementação de sistemas mais específicos, com a possibilidade de adaptar qualquer um dos métodos de definição de animações.

Inicialmente são introduzidos, neste trabalho, alguns conceitos básicos sobre o movimento humano, seguidos da apresentação dos modelos utilizados para o corpo e suas articulações. Em seguida é apresentada a estrutura e funcionamento do sistema. Finalmente é descrita uma experiência de geração de movimentos realísticos com a utilização do sistema KIKO, a partir de imagens digitalizadas de um modelo real.

2. CONCEITOS BÁSICOS

Inicialmente, devem ser definidos alguns termos técnicos necessários para a descrição do sistema.

Chamaremos de *segmento* a qualquer corpo rígido e de *membro* a qualquer sequência de segmentos ligados dois a dois por articulações. Em um modelo de corpo humano, são encontrados membros lineares, como aquele formado por braço, antebraço e mão, e são encontrados membros em forma de árvore, como aquele formado por tronco, braços e cabeça.

Ao definir o posicionamento ou movimento de uma articulação ligando dois segmentos, um deles é considerado como sendo a *extremidade fixa* e o outro a

extremidade livre, sendo a posição da articulação definida pelo ângulo formado entre os eixos longitudinais dos dois segmentos. Considera-se que o segmento livre é que se move em relação ao segmento fixo. Como exemplo, considerando-se o membro formado pelos segmentos braço e antebraço, o braço é definido como a extremidade fixa e o antebraço como a extremidade livre do membro, sendo qualquer posicionamento do cotovelo resultante da movimentação do antebraço em relação ao braço.

A articulação de um segmento que se liga ao segmento fixo do membro formado pelos dois é chamada de articulação *proximal* e a articulação que se liga ao segmento livre é chamada de articulação *distal*. Usando esta terminologia, como exemplo, no membro formado por braço, antebraço e mão, o cotovelo é denominado a articulação proximal e o pulso a articulação distal do segmento mão. Sob o mesmo aspecto, o braço pode ser denominado o segmento proximal e a mão o segmento distal do membro.

Da anatomia, são utilizados alguns conceitos para a definição de movimentos do corpo humano. Qualquer movimento de um segmento em relação a outro, ligado ao primeiro por uma articulação, é definido levando-se em conta a posição relativa dos dois quando o corpo se encontra em uma posição de referência denominada *posição anatômica* (ver Figura 1). Para a definição dos movimentos das articulações, são utilizados três planos cardinais para orientação a partir da posição anatômica. O *plano sagital* é um plano vertical que divide o corpo em uma parte esquerda e uma direita. O *plano frontal* é um plano vertical que divide o corpo em uma parte *anterior* (frontal) e uma *posterior* (traseira). O *plano transversal* é um plano horizontal que divide o corpo em uma parte superior e uma inferior (ver Figura 1) [Hay-Reid (1982)].

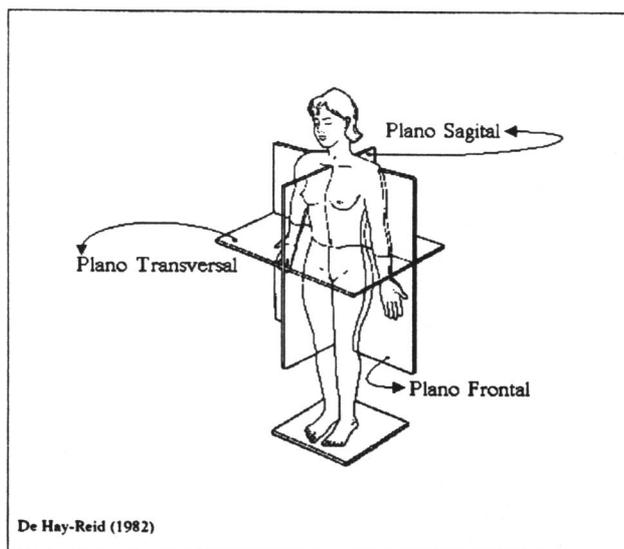


Figura 1: Posição Anatômica e Planos Cardinais

Para a definição dos movimentos há uma vasta nomenclatura que varia conforme o movimento e a articulação à qual é aplicado. Neste trabalho é feita uma adaptação da nomenclatura de modo que movimentos similares tenham o mesmo nome para a maioria das articulações do corpo.

Os movimentos em que o eixo de rotação é perpendicular ao plano sagital são chamados de *flexão*, quando há uma aproximação entre os dois segmentos, e *extensão*, quando há um afastamento. Os movimentos em que o eixo de rotação é o próprio eixo longitudinal do segmento livre são chamados de *rotação medial*, quando a face anterior do segmento se volta para o plano sagital, e de *rotação lateral*, quando a face posterior do segmento se volta para o plano sagital. Estes movimentos, para os segmentos que se encontram sobre o eixo longitudinal do corpo (pescoço, quadris, etc.), são chamados de *rotação para a esquerda* ou *para a direita*. Os movimentos em que o segmento se aproxima do plano sagital são chamados de *adução* e quando o segmento se afasta do plano sagital são chamados de *abdução*. Os movimentos similares para os segmentos longitudinais são chamados de *inclinação para a esquerda* e *para a direita*. Cada articulação possui um *limite anatômico* para cada um destes movimentos, que é definido como o ângulo máximo alcançável pelo movimento [Gowitzke-Milner (1980)].

As articulações utilizadas no sistema KIKO podem ter 1, 2 ou 3 graus de liberdade, sendo denominadas respectivamente de articulações *rotacionais*, *universais* e *esféricas* (ver Figura 2).

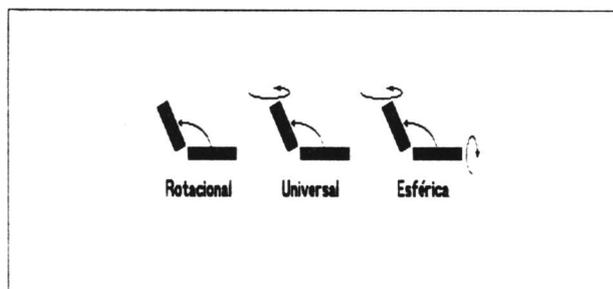


Figura 2: Tipos de articulações

3. MODELO DE ARTICULAÇÃO

Uma articulação esférica é representada como um vetor, centrado na origem do sistema de coordenadas, representando a articulação proximal e o eixo longitudinal do segmento (ver Figura 3).

A posição da articulação é definida pelas coordenadas angulares (α, β, γ) . O ângulo α é o ângulo entre o eixo Y do sistema de coordenadas e a projeção do eixo longitudinal do segmento no plano YZ . O ângulo β é o ângulo entre o eixo longitudinal do segmento e sua

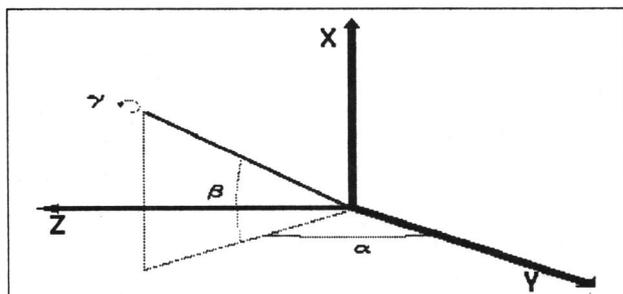


Figura 3: Modelo geométrico de articulação

projecção no plano YZ do sistema de coordenadas. O ângulo γ é o ângulo de rotação longitudinal do segmento. No caso de um vetor, as duas primeiras coordenadas bastariam para a definição de sua posição e orientação no espaço, considerando-se fixa uma das extremidades. Porém ao se representar corpos com algum volume, como os segmentos componentes de um corpo articulado, é necessária a utilização de uma terceira coordenada (γ), para a definição da rotação longitudinal.

Uma articulação esférica pode ser subdividida em três articulações rotacionais, ligadas por segmentos de comprimento nulo, que podem ser movimentadas independentemente umas das outras. Esta aproximação é utilizada com frequência para divisão do problema de posicionamento de uma articulação [Korein-Badler (1982)]. No modelo apresentado, cada coordenada define a posição de uma das articulações rotacionais que constituem a articulação esférica, mantendo a condição de que o movimento de uma não altera a posição das outras

duas. Para a representação de articulações universais ou rotacionais, fixa-se uma ou duas das coordenadas da articulação esférica.

Para a adaptação do modelo descrito ao modelo do corpo humano, são seguidas as seguintes convenções, de modo a padronizar ao máximo os algoritmos de movimentação das diversas articulações:

- O ângulo α define a posição da articulação para os movimentos de flexão e extensão. Torna-se necessário, para tal, que o plano YZ do sistema de coordenadas do segmento proximal seja paralelo ao plano sagital do corpo.
- O ângulo β define a posição da articulação para os movimentos de adução e abdução ou inclinação lateral.
- O ângulo γ define a posição da articulação relativa aos movimentos de rotação longitudinal.
- Quando o corpo se encontra na posição anatômica, todos os segmentos possuem ângulo de flexão nulo, ou seja, ângulos $\alpha, \beta, \gamma = 0^\circ$; o plano XZ do sistema de coordenadas do segmento proximal deve ser paralelo ao plano transversal do corpo; e o plano XY deve ser paralelo ao plano frontal.

4. MODELO DO CORPO

O modelo de corpo utilizado no sistema KIKO é composto por 17 segmentos e 16 articulações. Os diversos segmentos são agregados através de uma árvore hierárquica (ver Figura 4), que é a estrutura provida pelo sistema de animação em que é apoiado.

Nesta estrutura hierárquica, cada nó possui seu

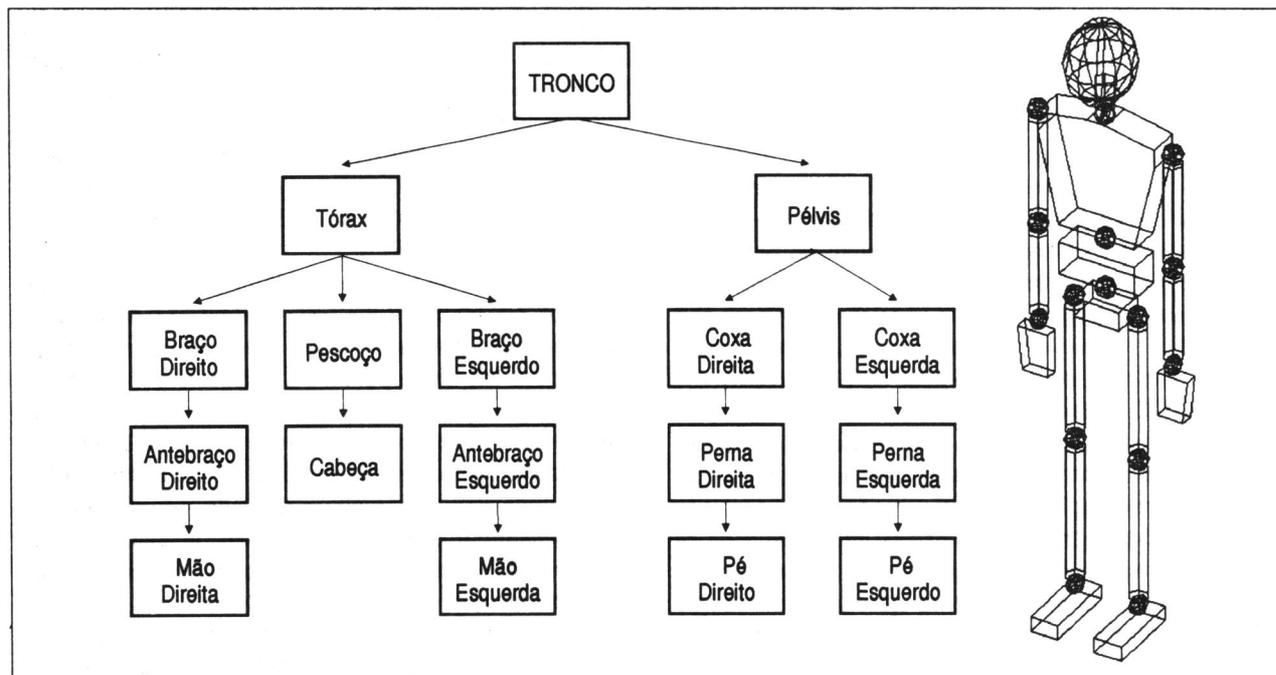


Figura 4: Árvore hierárquica e modelo do corpo

próprio sistema de coordenadas (Sistema Local de Coordenadas - SLC), sendo cada um posicionado em relação ao sistema de coordenadas do nó pai na hierarquia (Sistema Pai de Coordenadas - SPC). Esta estrutura é ideal para a representação de um corpo humano, pela própria topologia das duas entidades. Do mesmo modo que na estrutura descrita, no corpo humano dois segmentos estão ligados dois a dois por articulações e o estado de uma articulação é sempre definido como o posicionamento do segmento livre relativamente ao segmento fixo. A relação entre o modelo de corpo e a estrutura hierárquica é intuitiva e leva à seguinte representação: cada nó da hierarquia representa um segmento do corpo; a aresta de ligação entre dois nós representa a articulação que liga os dois segmentos; e em cada dupla de nós, ligados por arestas, o nó pai representa o segmento fixo (ou proximal) e o nó filho representa o segmento livre (ou distal) do membro representado.

Em cada nó, são armazenadas informações geométricas e funcionais relacionadas ao segmento e sua articulação proximal. Algumas das informações armazenadas são:

- Descrição geométrica da envoltória do segmento.
- Posição da articulação proximal em relação ao sistema de coordenadas do segmento pai.
- Limites anatômicos para os três tipos de movimentos.
- Posição instantânea de cada uma das três articulações rotacionais componentes da articulação representada.
- Massa do segmento.
- Posição do centro de massa do segmento.

Sendo os dois últimos dados disponíveis para funções de simulação dinâmica de movimentos.

O nó raiz da árvore é utilizado para o posicionamento de toda a hierarquia no sistema de coordenadas global (Sistema Universal de Coordenadas - SUC). No caso do sistema KIKO, o segmento denominado TRONCO foi escolhido como raiz, por ser o segmento que se encontra mais próximo do centro de gravidade do corpo.

O ponto mais crítico na modelagem de um corpo articulado para a representação de um corpo humano é a definição das articulações. Uma restrição inerente a tais modelos é a definição de todas as articulações como esféricas, como é feito no modelo de corpo utilizado pelo sistema KIKO. Inicialmente, todas são definidas como articulações esféricas. Depois, são definidos os limites anatômicos de modo a fixar uma ou duas das coordenadas, para a representação das articulações universais e rotacionais. Esta representação não reflete a realidade de um corpo humano real, onde articulações como o ombro ou o joelho são mais complexas que uma articulação esférica, tendo seus centros de rotação alterados conforme a posição dos membros.

Outro ponto que merece atenção é a definição de

quais as articulações reais serão representadas no modelo e quais serão agrupadas e representadas por uma única articulação. A seguir são descritas as principais simplificações utilizadas no modelo implementado:

- A articulação do *pulso* foi definida como uma articulação universal e o movimento de rotação longitudinal do antebraço foi transferido para a articulação do cotovelo.
- O *ombro*, que possui vários centros de rotação, foi definido como uma articulação esférica, com centro localizado em um ponto médio [Dyson (1977)].
- A *coluna vertebral* do corpo humano é formada por 33 vértebras, das quais 25 articuladas, estando dividida em quatro regiões chamadas de curvaturas (cervical, torácica, lombar e sacral). As amplitudes de movimento de cada vértebra é muito pequena, se considerada isoladamente, sendo comum definir os movimentos de cada região de curvatura como um todo [Kapandji (1970)]. Seguindo esta linha, a coluna do modelo implementado foi definida por 4 articulações representando as 4 curvaturas da coluna.

Essas simplificações são feitas em função de uma maior eficiência nos cálculos dos movimentos e da simplicidade do modelo, não chegando a prejudicar significativamente a representação dos movimentos.

5. ARQUITETURA DO SISTEMA

O sistema está implementado em linguagem "C" e roda em uma SPARC Station SUN, utilizando como software de base, a Linguagem de Animação para Figuras Tridimensionais (LAFIT), desenvolvido na Universidade de Brasília. Na fase inicial foi desenvolvido em linguagem Pascal, sendo depois integrado ao Modelador e Animador Geométrico e Hierárquico (MAGHO), desenvolvido como projeto final de graduação na mesma universidade. Uma descrição detalhada dos dois sistemas pode ser encontrada em [Lobão et al. (1990); Lobão et al. (1991); Lobão-Martinelli (1992)].

O sistema KIKO permite a definição de movimentos para um ou mais corpos, que podem ser dotados de características pessoais, como peso, altura ou limites anatômicos das articulações. Para cada corpo podem ser levados em conta os limites anatômicos de cada articulação ou estes podem ser simplesmente desprezados. No caso em que os limites anatômicos são considerados, a amplitude dos movimentos de cada articulação fica restrita aos ângulos limite que lhes foram atribuídos. Neste caso, o movimento da articulação é interrompido no momento em que o limite é atingido.

Pode também ser representada a interação entre um corpo e um solo virtual, definido pela sua altura em relação ao sistema universal de coordenadas. Com o auxílio desta

rotina, pode-se simular a impulsão do corpo resultante da movimentação dos pés em relação ao solo.

Conforme foi introduzido anteriormente, o objetivo do sistema é prover uma ferramenta de base para a manipulação de corpos articulados, sendo providas apenas funções básicas para a movimentação direta das articulações, a partir de ângulos fornecidos. A definição de funções que realizem a simulação ou representação realística de movimentos é vinculada à implementação dos sistemas, especializados em problemas mais específicos, que farão uso desta ferramenta. Estas funções, normalmente, definem ações complexas como caminhar, apanhar um objeto, ou realizar um salto, e abstraem o usuário da definição de ângulos de articulações, que são bem menos intuitivos do que parâmetros como frequência e amplitude dos passos em uma caminhada, por exemplo.

Na figura 5 está representado o fluxo de controle do sistema, com a visualização de seus módulos principais.

A interface com o usuário é feita através de um script fornecido pelo usuário na forma de um programa escrito em linguagem "C". Um script é dividido em duas partes distintas. Na primeira parte são definidos os parâmetros para animação, como tempo de duração, taxa de geração de telas para reprodução em *play back* e características de visualização da cena. Também nesta parte, são inicializadas as estruturas dos corpos que serão animados, e é feito o posicionamento inicial dos corpos e demais objetos que servirão de atores para a animação. A segunda parte do script é escrita em forma de uma ou mais funções onde são descritas as ações que devem ser realizadas, i.e., onde é feita a descrição da animação propriamente dita.

Para a descrição da animação, são providas funções básicas de animação, como rotação, translação e escala, definidas no LAFIT e funções para a manipulação do modelo de corpo implementado. Estas funções são agrupadas conforme o escopo de tempo da animação em que estarão atuantes, definido pelos delimitadores *tempo* e *fim_tempo*. O conjunto de funções contidas entre dois

delimitadores de escopo de tempo é denominado bloco de tempo. Junto com o delimitador *tempo*, são definidos os instantes inicial e final de atuação do bloco, relativamente ao início da animação. Os tempos de dois, ou mais, blocos de tempo podem coincidir total ou parcialmente, de modo que as ações destes blocos possam atuar simultaneamente, relativamente ao curso da animação.

Para cada tipo de movimento definido para os diversos segmentos do corpo, está disponível uma função para acioná-lo. Como parâmetros, devem ser informados, para cada movimento, o nome do corpo e do segmento ao qual o movimento será aplicado e o ângulo, em graus, do movimento total a ser executado.

Como exemplo, é apresentada a sintaxe de um comando que define uma abdução de 90° do braço esquerdo do modelo e o resultado do movimento (ver Figura 6). O movimento é executado a partir do primeiro segundo de animação e tem duração de 2 segundos.

Junto ao script, são fornecidos os arquivos com a descrição do modelo hierárquico do corpo e os dados funcionais de cada corpo. Estes dados incluem massa, altura e limites anatômicos de cada articulação.

Depois que o ambiente de animação é inicializado com os dados fornecidos pelo animador, as funções com a descrição da animação são ativadas pelo comando *anima*, que realiza a divisão das ações em frações relativas a cada frame a ser gerado.

O módulo de simulação é responsável pela definição de movimentos complexos e pela simulação dos efeitos da interação entre os corpos tratados pelo sistema e o ambiente. Este módulo é utilizado como ponte entre o sistema KIKO e o sistema especializado que fará uso do primeiro, sendo utilizado para a implementação das funções que resolverão os problemas a serem tratados. Atualmente, somente está implementada, de uma maneira simplificada, a simulação de atrito entre os pés dos modelos e o solo virtual.

Para a execução dos movimentos de cada articulação,

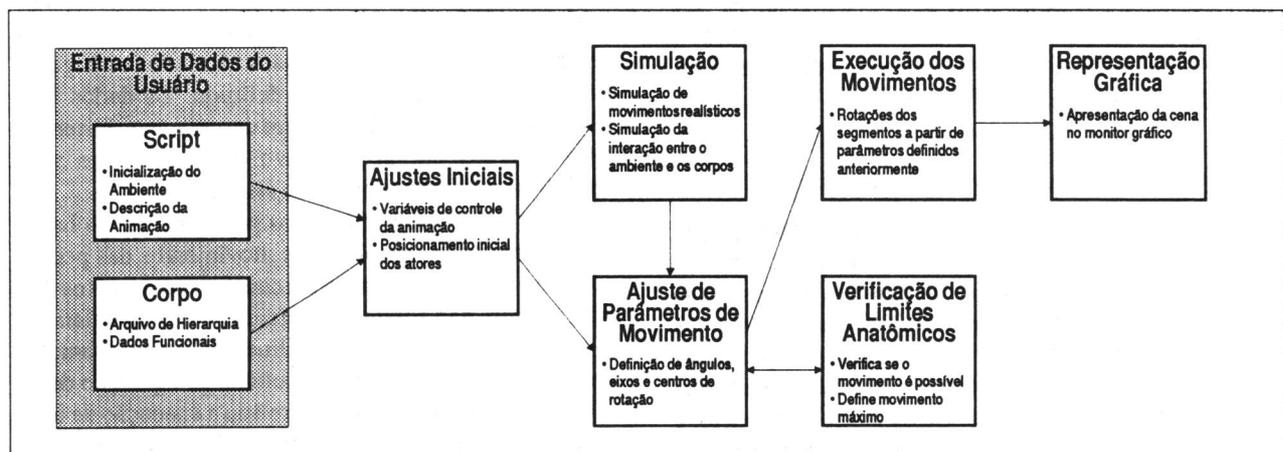


Figura 5: Fluxo de controle do Sistema KIKO

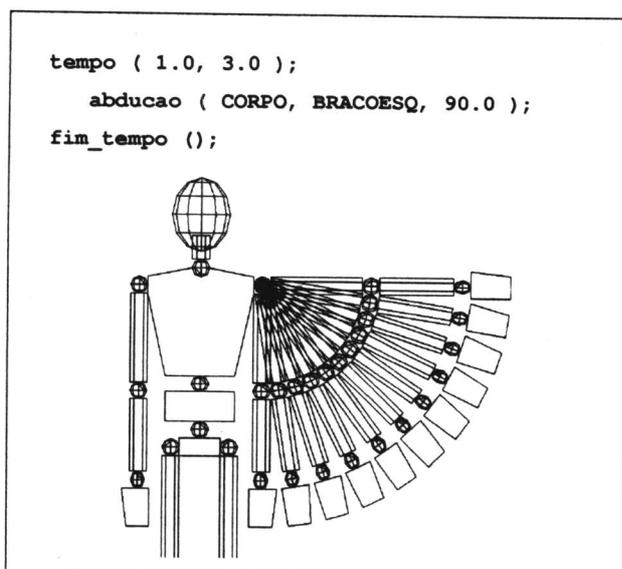


Figura 6: Movimento de Abdução de 90° do braço esquerdo

os parâmetros de cada movimento são verificados e ajustados de modo a definir a porção do movimento a ser realizada para cada frame de animação gerado. Este ajuste consiste basicamente no cálculo do eixo de rotação e da fração do ângulo total do movimento a ser aplicado para cada frame. Também nesta fase, são chamadas rotinas para a verificação dos limites anatômicos de cada articulação.

Os procedimentos do módulo de controle dos limites anatômicos recebem, como parâmetro, o ângulo do movimento que se deseja aplicar a uma articulação. Este ângulo é comparado ao limite anatômico da articulação para o movimento especificado e, como resposta, é informada a fração máxima do ângulo original que é possível aplicar à articulação.

Depois de definidos os parâmetros para o movimento de cada articulação, são ativados os comandos de rotação contidos na linguagem LAFIT. São informados, aos procedimentos responsáveis, o centro, o eixo de rotação e o ângulo total a ser aplicado, relativos a cada frame a ser gerado pela animação.

6. EXPERIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO

Um dos usos da computação gráfica para a representação de movimento humano se dá na área ortopédica, para a visualização do movimento de deficientes físicos e sua comparação com o movimento de pessoas normais. Os movimentos são filmados de vários ângulos. A partir das imagens, são calculadas as posições de cada articulação, através de marcas reflexivas fixas ao corpo do modelo, e são gerados gráficos, para cada articulação, representando seu ângulo de posicionamento em função do tempo.

A experiência descrita a seguir foi motivada de um estudo sobre um sistema para a visualização de movimentos de deficientes físicos. O sistema é intitulado ACHILLES [Piccolo et al. (1992)] e recebe a colaboração do Laboratório de Movimento do hospital ortopédico Sarah Kubitscheck. O laboratório utiliza o sistema VICON (marca registrada de *Oxford Medlog Systems*) para a geração dos gráficos de ângulos em função do tempo. Para o experimento, foram fornecidos os gráficos para um ciclo de caminhada (de uma pessoa normal), que será repetido para a geração de vários passos do modelo.

Foi criado um módulo para a interpretação dos dados contidos nos gráficos e sua utilização para a animação do modelo de corpo. Com este objetivo, foi definida uma linguagem de definição de movimentos (LDM), em que cada comando é definido por três códigos:

- Identificador do segmento a ser movimentado;
- Identificador do tipo de movimento;
- Valor do ângulo de movimentação.

Comandos para um conjunto de articulações são agrupados em blocos que definem o movimento do modelo para cada frame de animação. Os blocos de comandos são armazenados sequencialmente em um arquivo de dados, conforme a ordem em que devem ser executados. O primeiro bloco do arquivo define a posição inicial do corpo, relativamente à posição anatômica. Os blocos seguintes definem, cada um, o movimento relativo à posição do corpo após a execução do bloco anterior.

O arquivo de dados contendo os blocos de comandos é lido por um interpretador responsável pela execução dos movimentos descritos. Para cada frame de animação a ser gerado, o interpretador lê um bloco de comandos e reposiciona o modelo, conforme a descrição contida no arquivo.

Para este teste, não foi implementada nenhuma interface para a leitura dos dados contidos nos gráficos. Os gráficos são trabalhados manualmente, sendo divididos em intervalos, conforme a taxa de amostragem de frames que se deseja gerar e são calculados os ângulos de rotação para cada intervalo definido. Os dados são, então, traduzidos para a linguagem descrita anteriormente e armazenados em um arquivo de dados, que será posteriormente interpretado pelo sistema.

Entre os gráficos fornecidos pelo laboratório havia uma representação completa dos movimentos das pernas e pélvis, e uma representação parcial dos movimentos dos braços. Porém não foram conseguidos os dados relativos aos movimentos do tronco (inclinação lateral, frontal e rotação). A figura 7 mostra o resultado da repetição deste ciclo aplicada ao modelo, que permitiu a execução de uma caminhada, com o auxílio da simulação de atrito com o solo. A figura 8 mostra uma imagem do corpo durante a

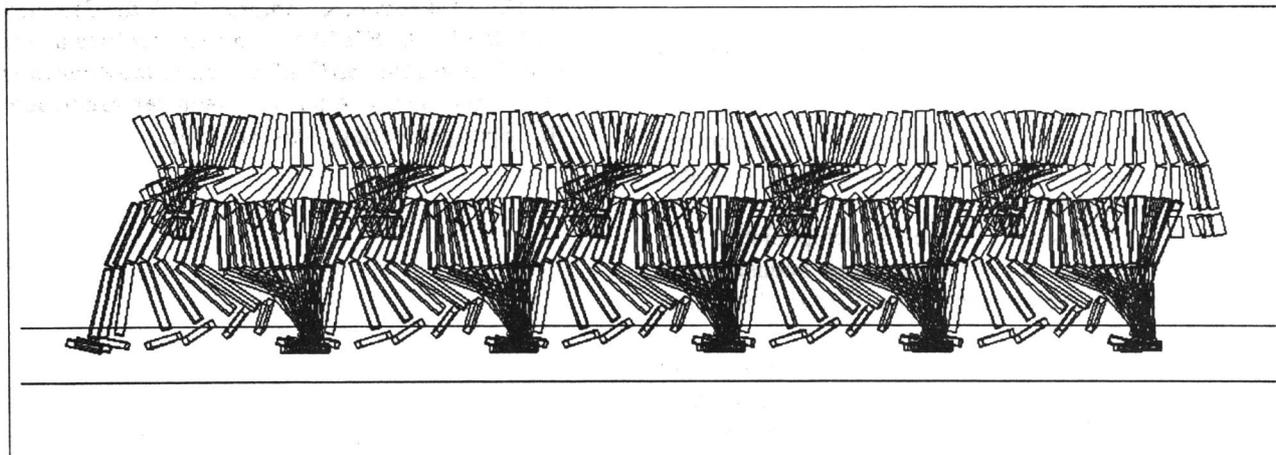


Figura 7: Ação de caminhar, a partir de um arquivo LDM

caminhada. O resultado, conforme se esperava, não é uma representação perfeita da ação de caminhar, devido incompletude dos dados e à visível imprecisão do método de tradução dos gráficos para a linguagem de definição. Porém, permite uma visão bem próxima da realidade da ação de caminhar, sendo considerado plenamente satisfatório, considerando-se a precariedade do método de aquisição de dados.

Com a utilização de um método mais preciso para a entrada de dados, os resultados seriam bem próximos da realidade. Existem duas propostas de interface entre o sistema KIKO e um sistema de digitalização dos movimentos. Na primeira, os dados seriam obtidos a partir dos gráficos, com a utilização de uma mesa digitalizadora.

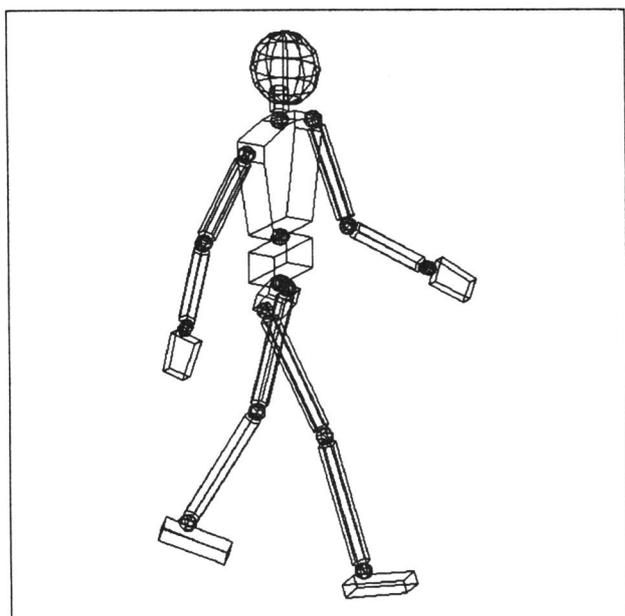


Figura 8: Posição do corpo durante uma caminhada

Seriam marcados os pontos críticos, como os pontos de parada dos movimentos e os pontos de mudança de curvatura, que seriam utilizados por uma função de interpolação. Esta função geraria o arquivo de dados com a descrição do movimento para intervalos regulares de tempo. A segunda proposta consiste na ligação direta entre o sistema de digitalização dos movimentos e o sistema KIKO, onde seriam gerados diretamente os arquivos com a descrição dos movimentos, em lugar dos gráficos de ângulos.

7. CONCLUSÕES

O sistema descrito neste artigo não tem a pretensão de ser considerado como um sistema para simulação de movimento humano, mas, como foi mostrado, foi implementado com o objetivo de servir de base para sistemas especializados, voltados a problemas específicos. A experiência descrita na seção 6 mostrou que, com a utilização da interface adequada para aquisição de dados, o sistema pode ser utilizado com eficiência para a visualização de movimentos capturados de um modelo real.

A área da simulação de movimento é bem mais complexa do que a simples reprodução de um movimento, devendo necessitar de uma carga teórica maior e "algo mais" que uma interface para sua implementação.

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar seus agradecimentos ao professor Aluizio Arcela, pela utilização dos equipamentos para a conclusão do trabalho.

REFERÊNCIAS

- Badler, N.I.; Manoocheri, K.H.; Walters, G. - "Articulated Figure Positioning by Multiple Constraints", *CG&A*, 28-38, junho, 1987
- Calvert, T.W.; Chapman, J. - "Aspects of the Kinematic Simulation of Human Movement", *CG&A*, 41-50, novembro, 1982
- Calvert T.W.; Welman, C.; Gaudet, S.; Schiphorst T.; Lee, C. - "Composition of Multiple Figure Sequences for Dance and Animation", *The Visual Computer*, 7(2-3), 1991
- Clement, A.; Coppin, O. - "FAERIE: A CAD/CAN Tool for Voluntary Movement and Ergonomic Simulation", *Creating and Animating the Virtual World (Anais do Computer Animation' 92)*, Springer-Verlag, 117-134, maio, 1992
- Dooley, M. - "Anthropometric Modeling Programs - A Survey" - *CG&A*, 17-25, novembro, 1982
- Dyson, G.H.G. - *The Mechanics of Athletics*, Homes & Meier Publishers, 1977
- Gowitzke, B.A.; Milner, M. - *Understanding the Scientific Bases of Human Movement*, Williams & Wilkins, 1980
- Hay, J.G.; Reid, J.G. - *As Bases Anatômicas e Mecânicas do Movimento Humano*, Prentice-Hall do Brasil, 1982
- Isaacs, P.M.; Cohen, M.F. - "Controlling Dynamic Simulation With Kinematic Constraints, Behavior Functions and Inverse Dynamics", *Computer Graphics*, Vol. 21, nº 4, 215-224, 1987
- Kapandji, I.A. - *The Physiology of the Joints - vol. 3 - The Trunk and the Vertebral Column*, Churchill Livingstone, 1970
- Korein, J.U.; Badler, N.I. - "Techniques for Generating the Goal-Directed Motion of Articulated Structures" - *CG&A*, 71-81, novembro, 1982
- Lobão, A.S.; Amorim, M.G. de; Píccolo, H.L. - "LAFIT - Linguagem de Animação para Figuras Tridimensionais", *Anais da Jornada EPUSP/IEEE em Computação Visual*, 201-212, 1990
- Lobão, A.S.; Martinelli, E. de O.; Amorim, M.G. de; Píccolo, H.L. - "LAFIT - Animation Language for Tridimensional Figures", *Anais da COMPUGRAPHICS' 91*, Vol. 1, 163-170, 1991
- Lobão, A.S.; Martinelli, E. de O.; Píccolo, H.L. - *MAGHO - Modelador e Animador Geométrico Hierárquico (Projeto final de Graduação)*, Departamento de Ciência da Computação, Universidade de Brasília, 1992
- Píccolo, H.L.; Takahashi, K.; Amorim, M.G. de; Carneiro, A.C. de Sá - "ACHILLES - A System for Visualizing Non Standard Human Gait", *Creating and Animating the Virtual World (Anais do Computer Animation' 92)*, Springer-Verlag, 105-116, 1992