

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

MARIONETAS VIRTUAIS

Animação Interactiva em Tempo Real

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para a
obtenção do grau de Mestre em Tecnologia Multimédia

Dissertação realizada sob a orientação científica de:

Aníbal Ferreira
(Professor Auxiliar da FEUP)

e co-orientação de

Rui Torres
(Professor Associado da Universidade Fernando Pessoa)

Luís Miguel Barbosa da Costa Leite

2007

Síntese

A animação interactiva de bonecos articulados por computador em tempo real tem sido um grande desafio para muitos investigadores. Apesar de se encontrarem cada vez mais soluções de hardware e software orientadas neste sentido, estas ainda se apresentam num patamar de utilização limitado ou de custo elevado.

Por outro lado, os modelos articulados para a animação com uma grande liberdade de movimento podem ter um número elevado de pontos de controlo que dificultam a sua manipulação em tempo real. Neste sentido, uma das questões centrais prende-se com a forma de interagir com os bonecos articulados, nomeadamente com o uso dos dispositivos de interacção. Os dispositivos que oferecem um maior poder de controlo não estão generalizados. Por outro lado, as interfaces mais comuns como o rato apresentam algumas limitações na manipulação de múltiplos pontos de controlo em simultâneo.

Com este projecto pretende-se desenvolver um protótipo de um boneco articulado por computador em tempo real com um elevado nível de controlo, recorrendo a interfaces de interacção comuns de elevada usabilidade e baixo custo como o rato e o *gamepad*. Para simplificar a manipulação do boneco articulado sem limitar muito a liberdade de movimento propõe-se adaptar para o universo virtual um modelo de marioneta tradicional, reduzindo assim o número de pontos de controlo.

A questão subjacente a esta adaptação é saber se uma marioneta virtual pode ter comportamentos e características semelhantes às de uma marioneta e se esta pode ser considerada uma marioneta do ponto de vista da proximidade com o seu operador.

Abstract

The interactive animation of articulated puppets in real time has been a great challenge to many researchers. Despite of many new hardware and software solutions guided in this direction, they are still presented in a limited level of use or high cost.

On the other hand, the articulated models for animation with a great degree of freedom of movement can have a large number of points of control making it difficult to manipulate in real time.

One of the main issues to control the articulated puppets concerns the interaction devices. Some of them offers great control but are less accessible, on the other hand devices that are very accessible like the mouse have many limitations in manipulating several control points simultaneously.

We propose to develop a prototype of an articulated puppet for real time animation with a great degree of control using accessible devices like the mouse or the game pad.

To simplify the puppet manipulation without diminish the degree of freedom we propose the adaptation of a marionette to the virtual world reducing the number of control points.

The underlying question to this adaptation is to know if the virtual marionette can have the same behaviours and similar features of the real marionette and if this can be considered one marionette from the point of view of the proximity with its operator.

Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que, directa ou indirectamente, proporcionaram, contribuíram e ajudaram no desenvolvimento deste projecto, em especial aos que me estão mais próximos, Sónia Barbosa e Vasco Barbosa por partilharem comigo os melhores momentos e me transmitirem toda a energia para superar os momentos mais complicados; aos meus orientadores por todo o apoio que me deram; ao Luís Félix pela sua grande contribuição na modelação 3D; a todos os elementos do Teatro de Marionetas do Porto em especial ao João Paulo Seara Cardoso, Sérgio Rolo, Rui Pedro e Inês Coutinho, por partilharem os segredos das suas marionetas; a todos os elementos do Teatro Limite Zero em especial ao Raul Constante Pereira, Filipe e Fernando pela sua disponibilidade e orientação; ao Rui Sousa não só pelas suas orientações e opiniões mas também por me ter ensinado a construir marionetas; ao Manuel Albino e ao Pedro Teixeira pelo contributo bibliográfico.

Índice

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Enquadramento	11
1.2	Motivações	12
1.3	Objectivos	12
1.4	Organização da dissertação	13
2	O UNIVERSO DAS MARIONETAS	15
2.1	Bonecos, máscaras e objectos performativos.....	23
2.2	Classificação das marionetas.....	27
2.3	Desenho de marionetas.....	32
2.4	Técnicas e métodos de construção e manipulação.....	36
2.4.1	Construção da cabeça.....	36
2.4.2	Marionetas de varetas.....	39
2.4.3	Marionetas de fios.....	41
2.4.4	O comando ou controlo.....	45
2.5	Marionetas no cinema e na televisão	50
2.6	Marionetas virtuais.....	52
3	ESTADO DA ARTE	59
3.1	Interfaces	59
3.1.1	Metáfora da Interface	59
3.1.2	Novos paradigmas das Interfaces.....	61
3.2	Arte, técnica, pedagogia e tecnologia.....	72
3.2.1	As tecnologias como novo paradigma na educação	73
3.3	Animação tradicional e animação digital.....	77
3.3.1	Processos de animação tradicional	78
3.3.2	Princípios e conceitos de animação.....	79
3.3.3	Estúdios de animação	81
3.3.4	Filmes de animação digital.....	82
3.3.5	Técnicas de animação digital	83
3.4	Animação interactiva em tempo real.....	84
3.4.1	Animação performativa.....	84
3.4.2	Articulação de personagens.....	87
3.5	Captura de movimento	88
3.5.1	Sistemas Mecânicos	90

3.5.2	Sistemas Acústicos.....	91
3.5.3	Sistemas Ópticos.....	92
3.5.4	Sistemas Inerciais.....	94
3.6	A voz e as expressões faciais.....	95
3.6.1	Reconhecimento da fala.....	95
3.6.2	Emoções e expressões.....	96
3.6.3	Animação facial e sincronismo labial.....	97
3.6.4	Técnicas de interacção com a voz.....	99
3.7	Trabalho relacionado.....	100
4	REALIZAÇÃO DO PROJECTO.....	106
4.1	Metodologia.....	106
4.1.1	Divulgação <i>on-line</i> do desenvolvimento do projecto.....	106
4.1.2	Trabalho de campo.....	108
4.1.2.1	Teatro de Marionetas do Porto.....	108
4.1.2.2	Teatro Limite Zero.....	111
4.1.2.3	Marionetas da Feira.....	113
4.1.2.4	Workshop de marionetas de fios.....	115
4.2	Tecnologias e ferramentas.....	117
4.2.1	Ambientes de autoria multimédia.....	117
4.2.2	Ambientes Tridimensionais.....	119
4.2.3	Motores de dinâmicas.....	122
4.2.4	Tecnologias de aceleração 3D.....	124
4.2.5	Seleção da plataforma de desenvolvimento.....	125
4.3	Implementação do projecto.....	126
4.3.1	Estrutura e definição do projecto prático.....	127
4.3.2	Construção da marioneta virtual.....	129
4.3.3	Expressões corporais e métodos de interacção.....	133
4.3.3.1	Manipulação directa.....	135
4.3.3.2	Manipulação por fios.....	136
4.3.3.3	Manipulação híbrida.....	140
4.3.4	Expressões faciais.....	141
4.4	Processos de trabalho e articulação de ferramentas.....	145
4.5	Resultados.....	151
4.6	Caracterização funcional da aplicação.....	153
4.6.1	Módulo Guião.....	155
4.6.2	Módulo Desenho.....	157
4.6.2.1	Desenho de luz.....	158
4.6.2.2	Desenho de câmara.....	159
4.6.2.3	Desenho de personagem.....	160
4.6.2.4	Desenho de cenário.....	161
4.6.3	Módulo Performativo.....	163
4.6.3.1	Performance Teatral.....	163
4.6.3.2	Performance Televisiva.....	164
4.6.3.3	Ensaio.....	166
4.6.3.4	Animação.....	167

4.6.4	Módulo Entretenimento	168
4.6.5	Módulo de Montagem	169
5	CONCLUSÃO	171
5.1	Trabalho futuro.....	172

Índice de figuras

<i>Fig. 1 – Figura de Polichinelle de 1650.</i>	17
<i>Fig. 2 – Wayang kulit, marioneta de sombras.</i>	18
<i>Fig. 3 – Wayang golek de Java, Indonésia.</i>	19
<i>Fig. 4 – Bonecos de Santo Aleixo, personagens Adão e Eva.</i>	21
<i>Fig. 5 – Sede da UNIMA em Praga.</i>	25
<i>Fig. 6 – Sombras chinesas.</i>	30
<i>Fig. 7 – Ilustração da manipulação de uma marioneta de bunraku</i>	31
<i>Fig. 8 – Proporções do corpo.</i>	34
<i>Fig. 9 – Divisão da cabeça.</i>	35
<i>Fig. 10 – Processo de construção de uma cabeça em papel.</i>	37
<i>Fig. 11 – Abertura do molde da cabeça.</i>	38
<i>Fig. 12 – Molde da perna.</i>	44
<i>Fig. 13 – Esquema de ligação de uma cruzeta horizontal.</i>	46
<i>Fig. 14 – Esquema de ligação de uma cruzeta vertical.</i>	48
<i>Fig. 15 – Comparação do ambiente de trabalho do BumpTop.</i>	63
<i>Fig. 16 – Organização e apresentação dos ícones do BumpTop.</i>	64
<i>Fig. 17 – Interação com o Isphere</i>	66
<i>Fig. 18 – Storyboard do filme “História de um Caramelo” dos estúdios Animago.</i>	79
<i>Fig. 19 – Guião e storyboard final do filme “História de um Caramelo”.</i>	79
<i>Fig. 20 – Animação bidimensional em tempo real.</i>	86
<i>Fig. 21 – Aplicação de marionetas no Comcastic.</i>	101
<i>Fig. 22 – Aplicação virtual marionettes.</i>	103
<i>Fig. 23 – Utilização da interface Sensable’s Omni para interagir com a aplicação.</i>	104
<i>Fig. 24 – Sítio aniMatic na Internet.</i>	107
<i>Fig. 25 – Oficina do Teatro de Marionetas do Porto.</i>	109
<i>Fig. 26 – Ensaio da peça “Leopoldina e a Tartaruga Bebé”</i>	113
<i>Fig. 27 – Rui Sousa com as suas marionetas da peça “Puppetologia”</i>	114
<i>Fig. 28 – Workshop de marionetas de fios.</i>	115
<i>Fig. 29 – Esqueleto da marioneta em polígonos.</i>	130
<i>Fig. 30 – Esqueleto da marioneta com os elásticos lineares e angulares nas respectivas articulações.</i>	134
<i>Fig. 31 – Marioneta virtual manipulada pelo comando pianoMatic</i>	137
<i>Fig. 32 – Atribuição dos movimentos ao gamepad.</i>	139
<i>Fig. 33 – Processo de calibração do microfone.</i>	144
<i>Fig. 34 – Associação das vogais e consoantes às poses da boca.</i>	144
<i>Fig. 35 – Ambiente de desenvolvimento tridimensional Discreet 3DStudioMax.</i>	145
<i>Fig. 36 – Ambiente de autoria Multimédia Macromedia Director.</i>	147
<i>Fig. 37 – Processo de calibração do gamepad.</i>	149
<i>Fig. 38 – Esboço do módulo “Guião”.</i>	156
<i>Fig. 39 – Esboço do módulo de desenho.</i>	157

Índice de esquemas

<i>Esquema 1 – Classificação das marionetas segundo os sistemas de manipulação.</i>	<i>28</i>
<i>Esquema 2 – Interfaces de interação.</i>	<i>152</i>
<i>Esquema 3 – Organização dos módulos da aplicação.</i>	<i>155</i>

Lista de abreviaturas

ANN – Artificial Neural Networks.

API – *Application Programming Interface* (Interface de programação).

DOF – *Degree of freedom* (grau de liberdade de movimento e está relacionado directamente com os ângulos de rotação).

FACS – *Facial Action Coding System*.

FK – *Foward Kinematics* (Cinemática).

GUI – *Graphic User Interface* (Interface gráfica do utilizador).

HMM – *Hidden Markov Models* (modelos ocultos de Markov).

IMU – *Inertial Measurement Unit*.

INS – *Inertial Navigation Systems*.

IK – *Inverse Kinematics* (Cinemática Inversa).

KR – *Kernel Regression*.

KNN – *K-nearest Neighbors*.

PLATO – *Programmed Logic for Automatic Teaching Operations*.

MFCC – *Mel-frequency cepstral coefficients*.

MLB – *Maximum Likelihood Bayes Classifier*.

RF – Rádio Frequência.

TICCET – *Time-shared, Interactive, Computer-Controlled Educational Television*.

TICCIT – *Time-shared, Interactive, Computer-Controlled, Information, Television*.

TUI – *Tangible User Interface* (Interface tangível do utilizador).

WIMP – *Windows, Icons, Menus, Pointing device* (Janelas, icons, menus, apontador).

1 Introdução

“Marionetas virtuais” é um projecto multimédia que tem como base a animação digital. É uma proposta inovadora para a animação de bonecos articulados por computador em tempo real e apresenta-se como solução para a animação de esqueletos complexos. Este projecto parte da analogia da marioneta para o universo virtual como forma de encontrar a mesma flexibilidade e capacidade de operação de bonecos articulados. A animação interactiva de bonecos articulados em tempo real está condicionada aos dispositivos de interacção aplicados. Podendo ser aplicados dispositivos genéricos ou específicos, estes construídos de raiz para uma manipulação mais aproximada do real. No entanto, com a dificuldade de serem produzidos e distribuídos em larga escala podiam condicionar a utilização da aplicação a apenas um pequeno grupo. Por outro lado, os dispositivos genéricos, como o rato ou o *gamepad* são acessíveis a todos, mas não permitem uma manipulação idêntica à das marionetas reais, tornando-se um desafio adaptar estes dispositivos à sua manipulação.

Desta forma, propõe-se construir um protótipo de uma aplicação multimédia que permita a animação interactiva de uma marioneta em tempo real com dispositivos genéricos.

1.1 Enquadramento

A animação interactiva em tempo real tem assumido um papel de relevo no campo das tecnologias multimédia. Para isso, muito se deve às novas abordagens multidisciplinares que têm contribuído para a construção de uma nova mentalidade face às tecnologias promovendo a sua democratização. A simbiose entre as artes, a pedagogia e as tecnologias impulsionou a produção de uma nova cultura, mais aberta às novidades e que alimenta teorias emergentes sustentadas por investigações cada vez mais frequentes.

Actualmente, a animação digital assume elevada importância em mercados como os da televisão, do cinema ou dos computadores. Com o advento da animação interactiva em tempo real, a sua presença alarga-se a outras áreas artísticas e científicas, tais como a simulação física, o teatro, a dança, a música e a educação.

Este projecto enquadra-se num triângulo relacional entre as artes, a pedagogia e a tecnologia, servindo todas elas em diferentes níveis. Esta abordagem transversal é o factor impulsionador deste projecto na perspectiva de aproveitar as tecnologias multimédia como meio de produção de conteúdos artísticos com carácter pedagógico. Com esta visão multidisciplinar pretende-se construir um projecto de animação digital em tempo real com as seguintes características: possibilitar a animação de personagens de uma forma intuitiva através de interfaces

acessíveis e generalizados; potenciar a experimentação e a construção de narrativas traduzindo-se em peças artísticas; impulsionar o trabalho colaborativo em equipa e multidisciplinar como ferramenta pedagógica.

1.2 Motivações

A grande motivação deste projecto foi o desafio de desenvolver um projecto inovador cruzando diversas áreas do saber, nasce na determinação de encontrar uma nova abordagem para a animação de bonecos em tempo real. Neste sentido, surge na perspectiva de criar uma aplicação que incentive a criatividade, experimentando uma abordagem de interacção diferente para este tipo de aplicações, com o intuito de tornar a animação de bonecos articulados em tempo real mais facilitada. A marioneta tradicional servirá como inspiração ao desenvolvimento deste projecto, tendo como base a interacção do manipulador com a marioneta.

A tentativa de transposição do real para o virtual alimenta a expectativa do imprevisto e a procura incessante de conhecimento para transpor a incerteza dos resultados finais desencadeia toda uma dinâmica de aprendizagem.

Por outro lado, a possibilidade de contribuir para o desenvolvimento de uma nova ferramenta de apoio à pedagogia serve também como motivação, especialmente num momento em que surgem novas configurações sobre o relacionamento entre o aluno, o professor e as ferramentas de ensino.

1.3 Objectivos

O objectivo teórico desta dissertação é o de reflectir acerca deste novo paradigma da animação digital interactiva em tempo real e em que medida este pode suscitar novos conteúdos artísticos e novas experiências pedagógicas.

Como objectivo prático, pretende-se desenvolver numa primeira fase um protótipo de aplicação da marioneta virtual totalmente articulada e interactiva em tempo real.

O protótipo servirá como ponto de partida para o desenvolvimento de uma aplicação lúdica que funcionará igualmente como ferramenta pedagógica.

A aplicação poderá suportar várias marionetas controladas por várias interfaces que interagem entre si e com o ambiente em seu redor, de forma a ser possível uma pequena equipa de utilizadores controlar a acção e criar um teatro de marionetas virtuais.

Esta ferramenta deverá incentivar a experimentação, promover o trabalho colaborativo, desenvolver as capacidades criativas e a coordenação motora, explorar o imaginário, suscitar a partilha de experiências e privilegiar a comunicação.

Ao privilegiar a comunicação e a interacção entre os intervenientes, estão a criar-se condições para a produção de peças de teatro de marionetas virtuais de elevada coordenação e de grande valor expressivo e artístico. A interface deverá proporcionar uma grande aproximação com o utilizador, permitindo-lhe um elevado nível de controlo.

Para atingir estes objectivos, será necessário o estudo de sistemas e motores de animação em tempo real interactivos, bem como fazer uma investigação do estado da arte e do desenvolvimento das interfaces homem-máquina (HCI), das técnicas e métodos de animação. Implica ainda analisar as técnicas de sincronismo labial e expressão facial a partir da voz, fazer um levantamento exaustivo do universo das marionetas de forma a perceber como estas funcionam e qual a forma de as transpor para o universo virtual. Finalmente, implica estruturar e conceber um sistema multimédia capaz de gerar animações de bonecos em tempo real através de dispositivos de interacção acessíveis.

1.4 Organização da dissertação

Esta dissertação apresenta uma estrutura dividida em quatro capítulos, nomeadamente, o capítulo do universo das marionetas, do estado da arte, da realização do projecto e da conclusão.

O estudo das marionetas é essencial para enquadrar e fundamentar esta dissertação. O enquadramento histórico permite perceber a sua evolução e a sua relação com a sociedade. A investigação das técnicas de construção e dos métodos de manipulação é muito importante servindo como orientação à adaptação de uma possível marioneta virtual. Igualmente importante é o a investigação das teorias e correntes das marionetas e de que forma estão organizadas.

No capítulo do estado arte são abordadas várias temáticas relacionadas com o universo das tecnologias multimédia e dos processos de animação que servem de fundamento ao projecto. O estudo do desenvolvimento das interfaces e as suas direcções futuras na perspectiva das suas contribuições para a animação digital. A análise da transição da animação tradicional para a digital como forma de contextualizar técnicas e processos de animação. Averiguar as necessidades educativas no âmbito das novas ferramentas pedagógicas, especialmente numa altura em que são feitos grandes investimento nas tecnologias multimédia para equipar as

escolas, sendo igualmente necessário, perceber qual o espaço para as novas aplicações de carácter educacional, de forma a colmatar um certo vazio e a poder desenhar uma aplicação orientada à pedagogia. Conhecer o estado da arte, de técnicas, métodos e tecnologias relacionadas com a captura de movimento e das expressões faciais, com o objectivo de entender como é que estas podem ajudar na animação interactiva em tempo real, ou na animação performativa.

O estudo e a análise do estado actual de determinadas matérias é essencial para compreender as orientações e o contexto do projecto e relacioná-lo com outras abordagens.

O capítulo da realização do projecto aborda todas as opções, reflexões e decisões tomadas durante o processo de desenvolvimento. Começando pelo trabalho de campo, por toda a investigação de técnicas e métodos, passando pela selecção das tecnologias e dos processos, até à definição da arquitectura, das funcionalidades e da implementação da aplicação. Este é um capítulo descritivo dos processos de desenvolvimento desde a etapa da concepção ao desenvolvimento do protótipo. O último capítulo é o da conclusão, onde se faz uma síntese das ilações e reflexões de todo o projecto, apresentando os argumentos finais sobre aquilo que foi proposto.

2 O universo das Marionetas

Máscaras, marionetas e objectos teatrais performativos têm raízes profundas numa vasta matriz de práticas e performances muito antigas. A análise destas práticas e a utilidade da escrita sobre estas matérias, com as teorias que as sustentam, permitem aumentar a capacidade de ligar as tradições com as inovações, contextualizando assim a investigação deste projecto.

Os espectáculos de fantoches ou marionetas são uma forma popular de entretenimento. A sua utilização tem sido cada vez mais abrangente, servindo como ferramenta de experimentação para artistas contemporâneos, para fins educacionais e até mesmo terapêuticos.

Não existe uma definição clara para descrever fantoche, marioneta, ou boneco. David Currell [1] apresenta uma definição muito genérica, descrevendo-os como objectos inanimados que se movimentam de uma maneira dramática através da acção humana. O termo boneco é usado genericamente e é transversal aos vários géneros e técnicas.

As raízes do termo marioneta são difusas e pouco consensuais, dividindo pensadores, investigadores, e até mesmo nações. Muitos especulam que o termo deriva do nome de um indivíduo chamado Marion que teria introduzido as marionetas em França no reinado de Carlos IX (século XVI); outros pretendem que será um diminutivo de Marion, nome que era dado, familiarmente, na Idade Média, à Virgem Maria. Nessa época, com efeito, a mãe de Cristo era representada muitas vezes por um manequim, mais ou menos bem articulado. Com os adeptos desta etimologia vêm ombrear, igualmente, os que fazem remontar a origem desta palavra a *Maria di legno* (o que significa Maria-de-madeira ou estátua da Virgem Maria) e aqueles que reivindicam para a França o nome de Marionetas, dadas antigamente às mesmas estátuas.

De qualquer modo, marioneta é uma palavra que nos transporta para um universo de ilusão. É um objecto mas também um actor, uma vez que representa. Actor de uma só personagem, que apenas vive enquanto o manipulador o acciona. E, ao contrário do actor de carne e osso, a marioneta nunca despe a sua personagem, conservando as características visíveis, estáticas e imutáveis da personagem que é, ou que quiseram que fosse. A sua vida, a sua respiração são *aquela* que nunca se mostra, o que esconde a sua técnica. Neste sentido, o manipulador é o intermediário entre o visível e o invisível, entre o real e o fantástico, entre a imagem e o imaginário. A marioneta pertence ao mesmo tempo aos domínios culturais, sócio-psicológicos e lúdicos. Desta polivalência nasce a ambiguidade, a fascinação e o divertimento. A marioneta é arte e folclore, rito e magia, ensino e diversão: ela inquieta, fascina ou dis-

traí. Independentemente da sua origem ou classificação, o termo marioneta é utilizado genericamente para descrever bonecos manipulados por operadores como forma de arte visual e dramática. Constitui-se, deste modo, numa forma de entretenimento para adultos e crianças.

Por seu lado, o bonecreiro ou marionetista é um artista e é o resultado de uma combinação única de várias artes e ofícios, como as de escultor, modelador, pintor, electricista, carpinteiro, actor, escritor, produtor, designer e inventor. Ele pode assumir todas estas tarefas ou, simplesmente, um conjunto de algumas que sejam necessárias ao espectáculo.

A marioneta ou o fantoche em si são essencialmente arte popular. As suas origens como utilização dramática não são muito claras. Apesar de não haver provas em concreto, especula-se que a utilização dramática de bonecos ou máscaras mais remota foi na Índia, há quatro mil anos atrás [2, p.163]. Na Grécia, as marionetas começaram a ser usadas como forma de entretenimento a partir do século IV antes de Cristo e o primeiro bonecreiro conhecido pelo seu nome foi Potheinos, um grego que actuou no teatro de Dionísio, em Atenas, e que ficou referenciado pelo escritor grego Athenaeus no século II [1, p.7]. Também em Roma a sua utilização ficou registada em literaturas que remontam ao ano 400 antes de Cristo. De acordo com o escritor Romano Apuleius, no ano 200 antes de Cristo já havia marionetas que viravam os olhos [3, p.18].

As máscaras, bonecos e marionetas foram surgindo em diferentes locais em diferentes épocas e foram crescendo com o contributo de várias culturas e tradições. No final do século XV apareceu em Itália uma forma de drama conhecida por *Commedia dell'arte*. Havia actores que faziam pantominas e que assumiam os nomes de *Pulcinello*, *Arlecchino*, *Scaramuccia* e *Burattino*¹. Os actores geralmente interpretavam com máscaras representativas das personagens.

No final do século XV, as marionetas já se tinham estabelecido em Itália como uma forma popular de entretenimento, no final do século XVII, surgiram as peças de *fantoccini* (fantoques).

As marionetas sicilianas são muito conhecidas pelas suas produções que dramatizam o conflito entre o cristianismo e o islamismo. Uma das peças mais famosas é *Orlando Furioso*² [1, p.9].

Há duas formas tradicionais e populares de apresentação com marionetas na Sicília, ambas com forte influência normanda e provençal. As marionetas sicilianas são feitas de madeira e

¹ O termo *burattini* significa boneco de luva.

² Orlando derivado de um cavaleiro do século XVIII chamado de Rolando.

as suas figuras representam cavaleiros com armaduras, escudos e espadas. São adornadas carroças com intrincada decoração, representando cenas de poemas franceses, como *La Chanson de Roland*. Também são apresentados os mesmos contos em teatrinhos de bonecos tradicionais, caracterizados pelas marionetas feitas artesanalmente em madeira. Estes últimos recebem o nome de *Opéra di Pupi* (ou "ópera de bonecos"), em dialecto siciliano. Estes teatrinhos, bem como a secular tradição siciliana dos *Cantastori* (literalmente: contadores de histórias), têm as suas raízes nos trovadores provençais, que foram proeminentes ali durante o reinado de Frederico II da Germânia, na primeira metade do século XVIII. A cidade de Palermo é um dos lugares que conservaram esta tradição.



Fig. 1 – Figura de *Polichinelle* de 1650 [4].

Em França, as *Marionnettes à la planchette* eram usadas antes do século XVI e os teatros de marionetas surgiram em Paris no início do século XVII. Um século depois, as óperas de marionetas eram tão populares que rivalizavam com o teatro de sombras, ou as sombras chinesas, que por sua vez eram muito apreciados pelos franceses, que em 1776 inauguraram um teatro exclusivo para este género de espectáculos. Em 1630, um artista itinerante italiano leva a peça *Pulcinello* para França, acabando por se transformar em *Polichinelle* e adquirindo gradualmente uma forma física exagerada. No entanto, o seu sucesso foi superado pelo *Guignol*, um fantoche que acabou por emprestar o seu nome à definição de marioneta de luva ou fantoche em Francês. Actualmente, a França possui grandes talentos na área das marionetas, sejam elas de estilo mais tradicional, ou mesmo experimental e foi estabelecido

neste país o Instituto Internacional da Marioneta de Charleville-Mézières, o maior centro internacional de estudo e investigação do teatro de marionetas [5].

Na cultura oriental, o teatro de marionetas está muito ligado à dança e ao drama abordando as temáticas da literatura clássica e religiosa. Aí podem encontrar-se todos os tipos de marionetas e fantoches com particularidades únicas.



Fig. 2 – Wayang kulit, marioneta de sombras [4].

Na Índia, por outro lado, os bonecos e as marionetas variam consoante a região em que estão inseridos. No sudeste do país podemos encontrar um estilo de marionetas no qual as figuras são feitas de madeira, com cerca de um metro e meio de altura, e com um arranjo de fios pouco habitual. As marionetas de *Kathputli*, da província de Rajastão, têm um controlo muito simples. As silhuetas de *tolu bommalata* podem ser encontradas na região de Andhra e podem ter sido a origem das marionetas de Java, as *Wayang kulit*. As peças são geralmente adaptadas dos épicos hindus, como *Mahabharata* e *Ramayana*, ambas escritas há cerca de dois mil anos.

As marionetas de Burma são reconhecidas como uma forma de arte muito importante e podem ter até 15 ou 16 fios. As personagens são sempre as mesmas e o palco é uma plataforma de bambu com cortinas para esconder os marionetistas. As peças têm normalmente como tema as encarnações de Buda, tanto em animal como em humano.

As marionetas chinesas são geralmente pequenas mas muito elaboradas. Esculpidas em madeira ou osso, podem ter por vezes até catorze fios. A utilização de marionetas de varetas na china foi aumentando como resultado da influência russa. No entanto são as sombras chi-

nessas que predominam, existindo dois tipos tradicionais de silhuetas: as sombras *Peking*, feitas com cabedal proveniente da barriga do burro, com apenas 30 centímetros de largura; e as sombras Cantonesas, com um couro mais fino e largo. O couro serve como tela translúcida, produzindo um delicado espectro cromático. As figuras, que são estilizadas, estão sempre de perfil e são controladas por três varetas.



Fig. 3 – *Wayang golek* de Java, Indonésia [4].

As marionetas japonesas têm séculos de antiguidade, sendo possivelmente originárias da Coreia. As suas primeiras utilizações eram representações religiosas, mas a partir de meados do século XVI os espectáculos de marionetas assumiram a forma dramática e captaram as audiências com as peças de *noh* e *kyogen*. Em meados do século XVIII as marionetas de *Bunraku* fizeram esquecer as de *kabuki* como entretenimento popular. Também, as marionetas de Java assumiram grande popularidade e são famosas pelas suas figuras, muito apreciadas, de *wayang*. Este é um termo geral para referir uma performance teatral que associado a uma outra palavra define o tipo de marioneta: *Wayang golek*, marionetas de varetas feitas de madeira; *Wayang klitik*, marionetas de varetas feitas de madeira com braços de cabedal, em que as figuras são esculpidas em baixo relevo e pintadas com detalhe; *Wayang kulit*, silhuetas, entre as figuras mais comuns de todas as *wayang*.

Em Portugal foi adoptado o termo “bonecro” que significa actor de madeira e trapos, não devendo ser confundido com boneco, entendido enquanto simples brinquedo, mas antes encarado como um ser inanimado que ganha vida através da manipulação.

O teatro de marionetas tradicional português é uma arte desconhecida e pouco divulgado; talvez por isso esteja tão votada ao abandono.

Com o desaparecimento dos últimos mestres bonecreiros, perdeu-se muito de um importante património legado ao longo de gerações, ou não fosse o teatro de marionetas um mundo secreto de tradição oral. O teatro de marionetas e de sombras nasceu enquanto palco de representação do divino, tendo ganho um carácter crescentemente profano. As mais antigas representações recuam ao tempo dos egípcios e das civilizações chinesas e indianas e baseavam-se em textos sagrados. [6, p.440]. Durante o Concílio de Trento (1546 – 1563), foram proibidas as representações com marionetas nas igrejas. Expulsos destes locais, os artistas manipuladores fixaram-se nas suas proximidades, continuando a exhibir o mesmo repertório [7, p.33]. No final desse período, por volta de 1650, o crescimento cultural na Europa difundiu a utilização da marioneta de luva, ou fantoche, dando lugar à criação de personagens tão famosos como o Polichinelo.

Em Portugal, nunca existiu qualquer personagem de luva que possa considerar-se representativa da cultura bonecreira nacional. Decisiva nesse sentido foi a influência dos bonecreiros, durante o reinado filipino, inculcada através dos chamados “titereiros”. Já no século XVIII, eram vulgares dois tipos de representações: as óperas profanas e os presépios; estes últimos são representações sacras, mas adaptadas para Bonifrates [7, p.54]. Bonifrate, nome dado à marioneta tradicional portuguesa desde os tempos medievais, derivando do latim “bonus frater”, ou “bom irmão”, monges de itinerância que transmitiam o conhecimento pelos mosteiros e terras. Devido aos bons conselhos que habitualmente tinham para dar, as pessoas começaram a associar a sua personalidade aos bonecros do teatro tradicional de marionetas, também eles impregnados de simbologia e de conselhos subliminares. Quanto ao outro nome conhecido, Roberto, desconhece-se a sua verdadeira origem. Existem, no entanto, duas possíveis interpretações: uma delas aponta para nome do empresário Roberto Xavier de Matos, que, em 1813, dirigia o Teatro do Bairro Alto; outra, ligada ao grande sucesso que alcançou a ópera “Roberto do Diabo”, baseada na história do Grande Roberto, Duque da Normandia e Imperador de Roma [7, p.70].



Fig. 4 – Bonecos de Santo Aleixo, personagens Adão e Eva, ilustração adaptada de [7].

Os bonecos de Santo Aleixo são porventura a mais representativa marioneta portuguesa. Com a postura e as técnicas retiradas do teatro medieval, as peças baseiam-se em textos retirados da Bíblia, misturando porém o divino e o profano, mesclando histórias sagradas com as vivências do meio. Os bonecreiros eram poetas populares de improviso, que conseguiam estabelecer uma relação com o público, incentivando-o a sugerir deixas e a responder aos “piropos”. Essa ligação estreita com o povo, porém, nunca foi bem vista pelas autoridades. Grande parte dos bonecreiros acabava por passar pela experiência de ser preso ou perseguido. Apesar da popularidade, a sobrevivência era difícil. O público, constituído maioritariamente por crianças, fazia com que vivessem praticamente de esmolas [7, p.40].

A marioneta tradicional encerra diversos segredos. Um deles esconde-se na voz alterada dos bonecreiros, conseguido através de uma palheta bocal que confere os tons esganiçados e

divertidos que emprestam às personagens. Outra das facetas secretas é o som da guitarra que acompanha os espectáculos dos bonecos de Santo Aleixo, afinada especialmente para o instrumento adquirir uma sonoridade quase mágica.

O teatro de marionetas é uma expressão artística descurada no ensino, apesar da sua capacidade multidisciplinar e pedagógica. Em certos países europeus, o teatro de marionetas é utilizado como auxiliar educativo lúdico em áreas tão distintas como a matemática, a história, os trabalhos manuais e visuais, a música ou a língua nacional. Em Inglaterra, por exemplo, os educadores recorrem à dramatização das lendas e dos factos históricos através deste suporte.

Uma companhia de teatro de marionetas nacional que tem vindo a trabalhar no sentido de promover e dinamizar todo o universo relacionado com as marionetas é o Teatro de Marionetas do Porto. Actualmente uma das mais conceituadas do mundo e uma grande referência para o futuro das marionetas. No ano de 2008 fará 20 anos de existência podendo contar com um espólio de mais de 30 peças teatrais. Os primeiros anos são marcados pela pesquisa e adaptação de tradições e culturas relacionadas com as marionetas em Portugal, como forma de dar continuidade a todo um património popular em vias de desaparecer e como tributo aos mestres das marionetas portuguesas. Destaca-se a reconstituição do tradicional teatro Dom Roberto. Consolidadas as suas raízes e já afirmando uma identidade, o Teatro de Marionetas do Porto cresce abrindo-se a todas as novas tendências do universo das marionetas, orientando-se mais para o experimental.

Actualmente, esta companhia distingue-se pela sua particular visão conceptual das marionetas, revelando novos mundos por explorar, dando nova esperança a uma arte que pode ser de todos e que não se encerra em si mesma.

A evolução desta companhia projectou a sua trajectória como um exemplo de sucesso, o seu mentor e director artístico João Paulo Seara Cardoso é um Homem com uma formação e experiência invejável na área das marionetas. Passando pelas maiores referências académicas das marionetas como o Institut National d'Éducation Populaire ou o Institut International de la Marionnette. João Paulo, trabalhou com João Coimbra, Marcel Violette, Jim Henson e Lopez Barrantes. Iniciou em 1982 o estudo e divulgação do Teatro Dom Roberto, fantoches tradicionais portugueses, que efectuou já cerca de 1500 representações. Tem diversas obras publicadas no domínio da literatura infantil e é autor de quatro séries de televisão juvenil: “A Árvore dos Patafúrdios”, “Os Amigos de Gaspar”, “Mópi” e “No Tempo dos Afonsinhos”. Para a companhia Visões Úteis encenou “A Cantora Careca”, de Ionesco (1996), “Gato e

Rato”, de Gregory Motton (1997) e “Filme na Rua Zero L”, de Al Berto (1999). Em 1998 criou “Máquina-Homem (*Clone-Fighters*)”, para o evento “Peregrinação” da EXPO’98.

2.1 Bonecos, máscaras e objectos performativos

Máscaras e marionetas são centrais em algumas das formas mais antigas e mais recentes de fazer arte.

No século XX, o simbolismo francês, o futurismo e construtivismo russo, a semiótica da escola de Praga e os artistas mais vanguardistas exploraram o valor experimental, social e político dos objectos performativos [1, p.6].

Recentemente, marionetas, máscaras e objectos performativos têm sido o foco de musicais da Broadway³, de teorias dos pós-modernistas, das artes performativas e até mesmo de novos programas académicos.

O termo “Objectos Performativos” é usado por Frank Proschan [1, p.5] para referir imagens materiais de seres vivos, ou de espíritos que são criados, apresentados, ou manipulados numa performance dramática ou narrativa. Na tradição europeia e americana, as máscaras e os objectos sempre tiveram uma forte ligação ao teatro popular e à religião, mas raramente foram objecto sustentado e sistemático de estudo académico.

Segundo John Bell [1, p.5], tem-se escrito muito sobre marionetas mas pouco se tem estudado sobre as marionetas como objectos performativos. E estas abordagens aparecem normalmente ligadas a literaturas de antropologia, semiótica, história da arte, dramaturgia e estudos performativos.

Na Europa, a ideia de que as marionetas e as máscaras teatrais são meritórias de estudos e considerações teóricas emergiu durante o período do Romantismo germânico. Até ao final do século XIX surgiram novos pensamentos em investigações orientadas à simbologia, de que podemos salientar os de Hoffman (1946), Oscar Wilde (1909) e Edward Gordon Graig (1908-1929).

O significado dos objectos nas teorias da filosofia, sociologia e psicologia é extremamente amplo. Desde Karl Marx, que em *Capital* descreveu a comodidade como um objecto fetiche, até às considerações das relações sujeito-objecto de Merleau-Ponty. Jean Baudrillard também contribuiu para uma análise mais aprofundada do sistema dos objectos através de *Le systeme des objects* [8]. Os seus pensamentos abriram os caminhos das teorias dos objectos desde o modesto predicamento das máscaras ou marionetas.

³ A utilização de marionetas e máscaras na peça “O Rei Leão” na Broadway de 1997

No início das décadas do século XX, vanguardistas como F.T. Marinetti, Wassily Kandinsky, André Breton e Óscar Schlemmer valorizaram os objectos performativos em três novas formas: como uma ligação importante entre performances rituais europeias e não-europeias; como aspecto central do teatro popular tradicional; e como possibilidades experimentais contemporâneas, a que Léger [1, p.6] chama de “estética máquina”. Estas teorias assumiam frequentemente a forma de manifestos.

O futurismo e o construtivismo russo interessaram-se por redefinir a arte em termos de funções sociais e políticas, coincidindo com a semiótica e com as análises estruturalistas da escola linguística de Moscovo, Pyotr Bogatyrev’s “Czech Puppet Theatre and Russian Folk Theatre”.

Em 1983, Frank Proshan publicou um artigo sobre semiótica onde reuniu escritos importantes sobre estas matérias ligando-as a estudos teóricos posteriores. Contudo, a teoria pós-estruturalista ignorava os objectos performativos em favor do predicamento do texto e do corpo. Houve algumas excepções, como o ensaio de Barthe sobre bunraku em 1977. No final da década de 80 e início da década de 90, Proshan e Henryk Jurkowski serviram de ponte das teorias dos objectos da escola de Praga, para as análises mais recentes dos objectos performativos, como as de Michael Meschke, Scott Cutler Shershow, Ana Maria Amaral, Dina Sherzer e Jowl Sherzer, John Bell e Steve Tillis, que no seu ensaio presta particular atenção aos objectos no ciberespaço. Stephen Kaplin tenta unificar este universo, desde as máscaras até às imagens por computador, num paradigma baseado na distância entre o *performer* e o objecto performativo.

Nas últimas décadas, assistiu-se a um período extraordinário de crescimento no teatro de marionetas. Durante este período, as marionetas foram-se transformando, desde a marginalização de um género performativo popular e infantil pouco explorado até a uma parte integral do teatro, cinema e televisão contemporâneos. Entretanto, toda uma nova geração de marionetistas trabalhou para sintetizar as influências estilísticas de todo o mundo de forma a fundir a tecnologia emergente e as formas tradicionais. Muitos factores contribuíram para esta transformação. Duas grandes contribuições americanas do final do século XX foram as de Peter Schumann e de Jim Henson. As suas companhias de teatro de marionetas, *The Bread and Puppet Theater* e *The Muppet Show* (Os Marretas) surgiram nos inícios dos anos 60 e desde então dispararam em sentidos estéticos contrários. Ambos produziram trabalhos originais que se distinguem no estilo e conteúdo mas que no fundo se mantêm fiéis às raízes do teatro de marionetas popular.

Schumann desenvolveu um estilo de poesia visual de consciência social e política profundamente enraizado nas tradições populares europeias e nas exigências da era da guerra-fria. *The Bread and Puppet Theater* foi o primeiro teatro de marionetas moderno nos E.U.A. dirigido especialmente para uma audiência adulta e a abrir-se à participação directa da comunidade. Schumann insiste em utilizar os materiais mais baratos e as técnicas mais simples para criar peças de performance perturbantes, abordando os assuntos sociais actuais.

Henson, com *Os Marretas*, descobriu a afinidade entre as suas criações e a utilização de câmaras de televisão. As suas marionetas/bonecos reflectiam as orientações da cadeia de televisão que os patrocinava, conseguindo ser transmitidas à escala global. Como resultado, as personagens d' *Os Marretas* ainda são das mais conhecidas de todo o mundo. Com os vastos recursos disponibilizados pela cadeia de televisão para as suas produções, Henson e companhia foram capazes de desenvolver novos materiais e tecnologias de produção, projectando para um novo panorama/paradigma o campo da animação de bonecos/marionetas e efeitos especiais.

A grande influência e popularidade de *Bread and Puppet Theater* e d' *Os Marretas* serviu como base para o trabalho de campo de realizadores e autores como Julie Taymor e Lee Breuer que nos últimos anos deram um novo impulso a este campo e contribuíram com exposições críticas. [1, p.18]



Fig. 5 – Sede da UNIMA em Praga [4].

Apesar dos avanços técnicos extraordinários e da popularidade das marionetas, nunca existiu grande interesse acadêmico para escrever sobre estas matérias. Não existem publicações regulares que divulguem ou critiquem novos trabalhos a não ser das próprias organizações de marionetas, tais como dos marionetistas da América ou da UNIMA (*The Union International de la Marionette*). Não existem muitas publicações ou artigos escritos fora do universo das marionetas que relacionem as marionetas com o teatro, dança, ópera, ou a arte performativa. Duas exceções que merecem ser mencionadas são as de Scott Cutler Shershow e Harold Segel. *Puppets and “popular” culture* é a história social das marionetas de Shershow, aparecendo como paradigma da sub-cultura popular na Europa, utilizando a performance das marionetas como metáfora para o processo de ligação entre a definição e a apropriação cultural.

Shershow utiliza o teatro de marionetas para abordar assuntos de conflito entre a dita cultura “alta” e “baixa”, entre a cultura “popular” e a de “elite”. Por seu lado, *Pinicchio’s Progeny*, de Harold Segel, é uma reflexão da literatura dramática moderna.

A literatura sobre o teatro de marionetas não está presente no *mainstream* no segmento do teatro ocidental. Esta realidade poderá dever-se às condições históricas que contribuíram para um certo isolamento das marionetas. No entanto, nos últimos anos tem-se verificado uma tendência direccionado as marionetas no sentido de se assumirem como uma expressão artística abrangente e não apenas como cultura popular. Mas é importante questionarmos a natureza da marioneta para delinear uma nova abordagem. A marioneta é uma figura significativa do palco, tal como a do actor. Mas, ao contrário dos actores, as marionetas são objectos, definidas por Frank Proshan como “imagens materiais de humanos, animais ou espíritos que são criados, apresentados e manipulados” [1, p.19]. Estas imagens materiais reflectem uma simbologia entre o objecto material (signos) e o ser animado como se apresenta (como ele é). Mas, enquanto os actores animam um signo veiculado de dentro para fora, utilizando os seus próprios sentimentos, corpos e vozes, os marionetistas têm de aprender a veicular o signo de fora para dentro.

Por outro lado, Henryk Jurkowski aborda estas questões na sua definição do teatro de marionetas como uma arte, em que a “fala” e os objectos performativos utilizam temporariamente os recursos físicos do marionetista para poderem ter voz e mobilidade, que estão presentes para além do objecto. A complexidade deste relacionamento e a sua constante pulsação definem a performance da marioneta. Ao focar na dinâmica relacional entre a marioneta e o *performer*, em vez de fixar apenas a marioneta como um objecto expressivo, Jurkowski aponta

para uma nova linha de pensamento, onde o *performer* passa a ocupar um lugar idêntico ao da marioneta.

2.2 Classificação das marionetas

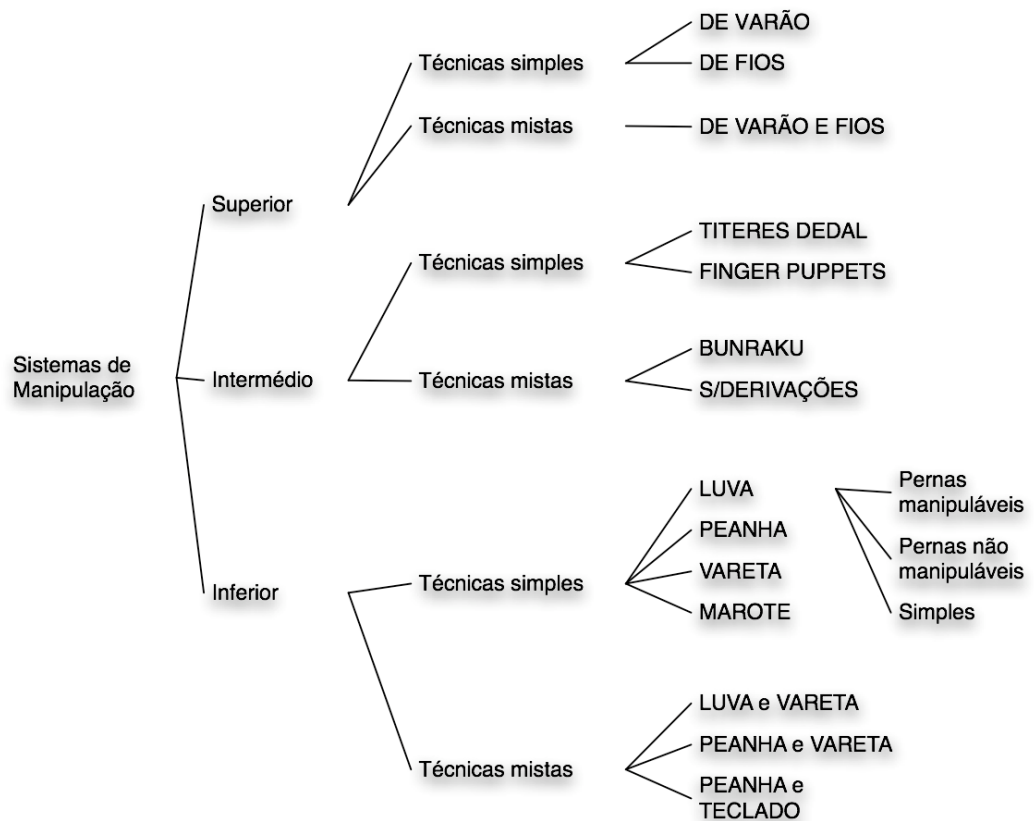
Se as marionetas forem pensadas como objectos ou artefactos, pode-se construir um sistema de classificações de acordo com o modo de articulação, materiais de construção e origem. Edward Gordan Graig fez precisamente isto em 1918 nas páginas do jornal *The Marionette*:

1. Marionetas redondas (com espessura)
 - Marionetas suspensas por cima
 - Marionetas de mão (*Guignols* ou *Burattini*)
2. Marionetas lisas (sem espessura)
 - Marionetas de sombras

Graig classifica as marionetas de acordo com os materiais de que são feitas, os costumes e o país de origem. Se colocarmos de parte os aspectos de clarificação taxionómica, um sistema como este dificilmente fará justiça ao actual panorama das marionetas com as novas tecnologias e os estilos híbridos do teatro de marionetas. Poderá ser um bom sistema para distinguir o teatro de sombras e as marionetas sicilianas, mas muito ficará por dizer.

As marionetas estão disseminadas por todo o mundo e actualmente, apesar de existirem algumas divergências quanto à sua classificação, aquela que reúne mais consenso classifica-as quanto à forma de manipulação, estando divididas em três grupos principais [5, p.23]:

1. Manipuladas por cima (varão; fios; a combinação destes);
2. Manipuladas por baixo (luva; vareta; “marotte”; peanha);
3. Manipuladas ao nível do manipulador ou por de trás da marioneta (bunraku japonês e técnicas derivadas)



Esquema 1 – Classificação das marionetas segundo os sistemas de manipulação.

O esquema acima apresentado foi adaptado de um quadro classificativo de Alexandre Passos [5, p.23]. Esta classificação é bastante simples, organizada e consensual. No entanto, não prevê todas as possibilidades futuras de manipulação das marionetas. Mas, se o ponto de partida for a relação marioneta/*performer*, como propõe Stephen Kaplin, então pode ser construído um novo tipo de sistema de classificação. Dois aspectos quantificáveis desta dinâmica são a distância e a razão de objectos/*performers*. Stephen Kaplin descreve a “distância” como nível de separação e contacto entre o *performer* e o objecto manipulado, começando pelo contacto absoluto, onde o *performer* e o objecto são apenas um, percorrendo toda uma escala baseada em factores corporais, psicológicos e graus de contacto temporais. Por razão de objectos/*performers*, Stephen Kaplin refere-se ao número de objectos performativos em comparação com o número de *performers*. Portanto, uma razão de “I:I” indica uma transferência directa de energia de um único *performer* para um único objecto. A razão de “I:muitos” significa que um objecto é o foco de diversas energias dos manipuladores, como na marioneta gigante da Mãe da Terra em *Bread and Puppet’s*. Finalmente, “muitos:I” indica

um único *performer* a manipular vários objectos separados, como na javanesa *dalang* durante a performance de *wayang kulit*.

Stephen Kaplin usou dois aspectos da distância como eixo do X e do Y para descrever a relação entre objecto/*performer*. O esquema criado assume a forma de uma árvore, em que o eixo Y representa o grau de distância, começando no ponto de contacto absoluto e estendendo-se até ao contacto mais remoto, o eixo X mede a razão do número de objectos para o número de *performers*.

No teatro, quando a distância aumenta do objecto performativo, isso significa que o corpo do próprio actor já não consegue acomodar fisicamente o papel. A caracterização, as roupas, cabeleiras e extensões ao corpo ajudam a diminuir essa distância, mas, eventualmente, os requisitos dos objectos performativos superam os limites da anatomia do corpo humano, tornando-se necessário emergir uma nova presença física própria. Tal aconteceu pela primeira vez com o uso da máscara. A máscara é um objecto totalmente exterior ao *performer*, uma expressão escultural imposta do exterior. Para ser eficiente no palco, tem de parecer estar articulada com os impulsos interiores do actor. Não altera o centro de gravidade do actor, mas cria novos contornos na sua superfície, enquanto mantêm um contacto íntimo com a carne por de trás da concha.

Enquanto as características da máscara corresponderem mais ou menos à face do próprio actor, o centro de gravidade permanece firmemente unido com o do *performer*. Mas uma máscara não necessita de estar limitada ou confinada à fisionomia do corpo humano. Pode ter uma configuração diferente da face do actor (maior ou mais pequena) ou ser colocada numa posição diferente da face (por cima, por baixo, ao contrário, etc.). Neste ponto, uma nova linha é estabelecida e o objecto performativo distancia-se do corpo do actor, desenvolvendo o seu próprio centro de gravidade, a sua própria estrutura, a sua própria presença.

É neste ponto que o centro de gravidade do objecto performativo e o *performer* são distintos e em que o termo “marioneta” pode ser usado.

À medida que a distância física aumenta entre o performer e o objecto, a quantidade de tecnologia necessária para fazer a ponte entre ambos aumenta também. Mover o centro de gravidade da marioneta para fora do corpo do marionetista requer cada vez mais sistemas de ligação sofisticados.

Actualmente, a maioria dos bonecos/marionetas utilizados está dividida em quatro categorias: fantoches, marionetas de varetas ou de manipulação directa, marionetas de fios e silhuetas (teatro de sombras). Entre estas categorias, existem subcategorias que se misturam e

outras técnicas relacionadas, desde as máscaras aos fantoches de dedo, ou ao cinema de animação.

Os fantoches de luva são utilizados na mão do manipulador e geralmente apresentam uma estrutura simples. Embora limitados gestualmente ao movimento da mão, são ideais para acções rápidas e robustas e podem ser muito expressivos. A mão por dentro do fantoche transmite uma flexibilidade física única.



Fig. 6 – Sombras chinesas [4].

As silhuetas ou as sombras chinesas utilizadas no teatro de sombras são figuras recortadas e sem espessura, colocadas numa tela translúcida e iluminada por um projector. São ideais para ilustrar uma história narrada, mas também podem ser usadas com diálogos directos e acções vigorosas.

As marionetas de varetas ou de varão variam na sua complexidade. Desde a forma mais simples, suportada apenas por uma vareta, até às figuras completamente articuladas. Elas oferecem um grande potencial criativo em termos estéticos e de apresentação, permitindo o seu elevado espectro de movimentos subtis produzir praticamente tudo, desde ensaios a grandes peças dramáticas. São as varetas que permitem controlar o movimento da marioneta e são elas que a sustentam no ar, podendo ser aplicadas por cima, por baixo, ou por de trás, como as marionetas japonesas *Bunraku* com dois ou três manipuladores.

Marionetas de varetas usam um suporte de ligação mecânico directo: levantar, rodar, dobrar a espinha da marioneta. Uma das marionetas de varetas mais simples é a *wayang golck* da Indonésia, com uma vareta central que percorre o bloco dos ombros com uma forma de T

ligando o pescoço à cabeça de madeira, e duas pequenas varetas ligadas às mãos com cordas a fazer os nós de articulação para se movimentar livremente.



Fig. 7 – Ilustração da manipulação de uma marioneta de bunraku [4].

O marionetista manipula a marioneta a partir de uma posição inferior utilizando as duas mãos; se necessário, as varetas dos braços podem ser suportadas pela mesma mão que manipula a vareta do corpo. Uma das mais complexas marionetas de varetas em termos mecânicos é a marioneta de *bunraku*. É colocada à frente dos manipuladores que a controlam a um nível intermédio. O manipulador principal controla a cabeça através de uma peça central de controlo com alavancas colocada no estômago, a qual também controla os olhos e a boca. O bloco dos ombros está suspenso por cordas e ligado à vareta central, permitindo o máximo de articulação do pescoço. O mesmo marionetista controla o braço direito completamente articulado. Os pulsos e os dedos também estão articulados de forma a permitir uma maior expressividade gestual. Um segundo marionetista controla o braço esquerdo e um terceiro manipula os pés. Se for necessária uma maior precisão, os manipuladores podem introduzir os dedos em pequenos laços nas mãos da marioneta de forma a poder pegar em adereços. É extremamente difícil fazer uma performance com a marioneta de *Bunraku*, não só pela sua complexa estrutura, mas também devido à dificuldade de coordenar energias entre os três operadores. Mesmo a simples acção de andar pode levar grande esforço e estudo para se tornar convincente.

As marionetas de fios são suspensas por um controlo, vulgarmente conhecido por cruzeta, que é sustentado pelo manipulador. São versáteis e podem ser simples ou complexas em termos de controlo ou de construção. As suas performances podem ser graciosas, no entanto são normalmente evitados os movimentos rápidos e energéticos [9]. Os manipuladores mais experientes fazem uso do movimento natural da marioneta.

As marionetas de fios utilizam um sistema de ligações mecânicas mais elaborado; elas estão suspensas por cima por cordas ou fios, significando isto que os membros da marioneta se movimentam no ar com o desempenho da gravidade na relação do alongar e encurtar dos fios. Uma simples rotação da cabeça requer uma operação com quatro fios: os dois fios dos ombros, são puxadas ligeiramente de forma a transferir o peso da cabeça, para os ombros permitindo rodar a cabeça sobre o eixo vertical; os dois fios da cabeça normalmente ligados nas orelhas, permitem a rotação da cabeça sobre o eixo horizontal. Toda a articulação do corpo requer fios de controlo adicionais. A marioneta mais simples proveniente do Rajastão (Índia) requer apenas dois fios: um fio em U que liga a cabeça pesada de madeira à mão do marionetista seguindo para o meio das costas, um outro fio que liga uma mão à outra. Uma marioneta de estilo europeia requer 10 ou 11 fios, enquanto que uma marioneta chinesa requer 30 ou mais fios.

Os vários tipos de marionetas podem ser combinados ou alternados numa única peça.

2.3 Desenho de marionetas

Para se desenhar uma peça de marionetas é necessário ter uma noção global de todos os seus aspectos constituintes, desde a construção das marionetas à sua performance, da luz e cenografia ao som.

Para construir uma marioneta é necessário ter presente conceitos de desenho e de anatomia. Muitos aspectos no desenho e na construção das marionetas são interdependentes. Não é possível iniciar a construção de uma marioneta sem se ter uma ideia de quais serão as suas acções.

Para se compreender o desenho de marionetas é essencial estudar a natureza do teatro de marionetas em geral e das marionetas em particular.

As marionetas são actores em miniatura, e se forem construídas com o intuito de se assemelharem a bonecos serão certamente mal interpretadas.

Segundo David Curell [9, p.65], “um actor interpreta, mas uma marioneta existe”. A marioneta é referenciada por vezes como uma máscara completa.

O processo de desenho de uma marioneta começa com a sua caracterização tendo em vista o projecto em que está inserida, ou seja, o que ela deverá ser e o que deverá fazer. Desta forma, o desenho da marioneta é feito segundo uma função específica. Nem sempre é possível tomar todas as decisões na fase de desenho, sendo necessário explorar técnicas diferentes em determinados momentos do seu desenvolvimento. As grandes orientações na construção de uma marioneta são as de construir uma figura que personifique a personagem e que os seus movimentos consigam expressar a sua identidade.

A marioneta enfatiza o carácter que pretende reflectir, seja esta a representação de um humano, de um animal, ou até de um conceito abstracto. Quem desenha e constrói a marioneta tem de criar e interpretar a personagem, e não uma imitação. Tem de seleccionar as características que considera mais adequadas para expressar a personalidade que imaginou.

Independentemente do que representa a marioneta, esta tem de ser modelada para realçar e distinguir as suas qualidades. Uma marioneta que não tenha um desenho exagerado e que não tenha realce na modelação não sobressai no palco.

O construtor das marionetas deverá conceber a marioneta como um todo e para isso ele precisa de observar e analisar o que vê.

Uma marioneta construída segundo as proporções humanas apresenta-se de uma forma pouco natural e tende a parecer muito magra e alta. São as variações dessas proporções que são importantes na criação de uma caricatura, sendo dramaticamente mais eficiente no teatro de marionetas.

Os olhos são um aspecto muito importante no desenho das marionetas; muitos artistas começam o processo de desenho pelos olhos como forma de dar vida à personagem.

O facto de não se conseguir construir uma marioneta interessante seguindo estritamente as “regras” das proporções, não quer dizer que estas se devam desprezar, pois podem servir como guia de base para se poder aplicar certos princípios.

Tendo em conta as diferenças proporcionais entre as marionetas e os humanos, é muito importante estudar a anatomia humana, não só do ponto de vista da caracterização, mas também pelo facto de se encontrarem algumas relações interessantes.

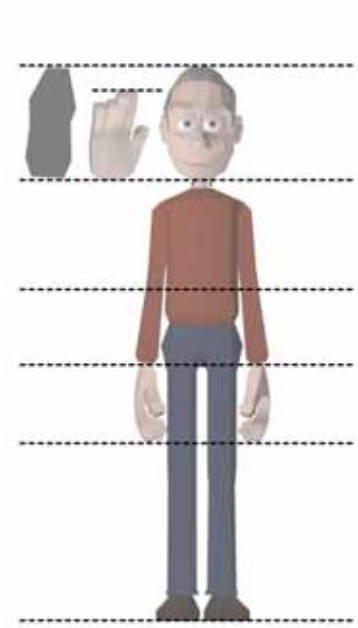


Fig. 8 – Proporções do corpo.

Para um homem adulto a proporção da cabeça é aproximadamente de um sétimo da sua altura total; para uma marioneta é cerca de um quinto, podendo mesmo ser exagerada ao por de atingir um quarto ou um sexto.

Para os humanos e para as marionetas, a mão é aproximadamente do comprimento do queixo ao meio da testa, cobrindo grande parte da face da cara. Os pés são do tamanho da cabeça. Os cotovelos estão nivelados com a cintura, os pulsos com a parte inferior do tronco, o tronco é ligeiramente mais pequeno do que as pernas.

Para além das proporções, deverá haver algum cuidado com a forma do corpo. Erros comuns são os de fazer as marionetas muito altas, ou muito magras. É recomendável colocar a marioneta à frente de uma superfície lisa e projectar uma luz forte de forma a analisar a sua sombra, pois o resultado destas sombras evidencia as características do desenho da marioneta.

O ângulo que a cabeça assenta no corpo e a forma como se movimentam é essencial para a caracterização, existindo considerações importantes sobre o posicionamento das articulações entre a cabeça, o pescoço e o corpo.

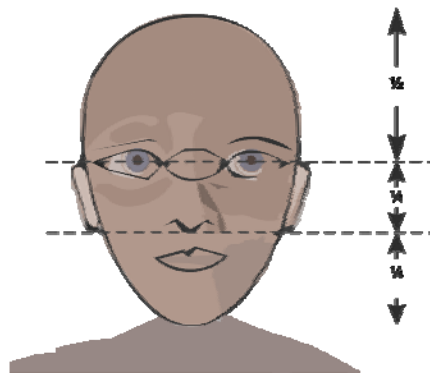


Fig. 9 – Divisão da cabeça.

A cabeça pode ser dividida em quatro partes aproximadamente iguais: do queixo ao nariz; do nariz aos olhos; dos olhos ao meio da testa; do meio da testa ao topo da cabeça, sendo esta secção menor do que as outras. Devem-se posicionar os olhos entre o queixo e o topo da cabeça, e as orelhas estão normalmente alinhadas horizontalmente pela linha inferior e superior do nariz.

São erros comuns colocar os olhos demasiado em cima na cabeça, ou muito próximos um do outro, a testa demasiado baixa, as orelhas muito altas ou pequenas para a cabeça. As orelhas devem ser estudadas por trás e de perfil, pois elas contribuem muito para a caracterização.

Mas são as variações à norma que normalmente são mais significativas. A idade de uma personagem afecta as proporções da cabeça, podendo a introdução do cabelo alterar completamente a aparência da forma.

As marionetas desafiam as leis da natureza; elas podem voar, ou virarem-se ao contrário. A forma como elas se movimentam é influenciada pela sua estrutura, pelo método de controlo e pela técnica do manipulador. Por isso, é importante desenhar a marioneta de acordo com a sua acção.

As marionetas de fios distinguem-se pela sua aparência complexa e pela ausência aparente de controlos. No entanto, e ao contrário das marionetas de varetas ou de manipulação directa, que se podem posicionar onde se pretende, a marioneta de fios tem um movimento muito independente, assumindo uma vida própria. Assim, uma marioneta de fios com um bom equilíbrio, uma distribuição de peso apropriada e articulações correctamente colocadas terá um movimento intrínseco que apoiará o manipulador.

Quando se opera uma marioneta bem construída, ela fará grande parte do trabalho, mas também poderá apresentar resistência em alguns gestos ou movimentos. Por isso mesmo, devem ser tomados em consideração aspectos importantes como a flexibilidade, ou a restrição de movimentos.

2.4 Técnicas e métodos de construção e manipulação

As técnicas de construção das marionetas estão relacionadas com o tipo de controlo associado. No entanto, muitas técnicas, métodos e materiais são partilhadas quer pelas marionetas de fios quer pelas de varetas e a sua construção é iniciada geralmente pela cabeça do boneco⁴.

2.4.1 Construção da cabeça

As técnicas de construção da cabeça podem ser agrupadas em quatro categorias: Aglomerado de tecido, esculpir, modelar ou moldar.

As cabeças de tecido requerem a habilidade básica de composição (cozer, colar, cortar). Não são muito eficientes quando usadas para um grande público. Estas cabeças tem de ser construídas de forma diferenciada, seja para um fantoche, uma marioneta de varetas ou de fios. A forma mais simples de construção destas cabeças é através do uso de uma bola de ténis e uma meia a envolver a bola.

As cabeças esculpidas dependem em muito dos materiais usados e da habilidade em visualizar a forma a partir de um bloco. Os materiais mais utilizados na produção destas cabeças são a espuma, o poliéster e a madeira. Cada material apresenta as suas particularidades: as cabeças de espuma podem ser feitas muito rapidamente, mas são necessárias ferramentas que se adequem a este tipo de material; o poliéster é um material muito utilizado por ser muito leve; esculpir em madeira é em si uma arte, sendo necessário alguma experiência.

A modelação de cabeças é uma técnica que agrada à maioria das pessoas visto ser muito flexível, ou seja, depois de se modelar a estrutura base é possível continuar a dar pormenor e até mesmo utilizar outros materiais [9, p.84].

⁴ Sítio de referência sobre a construção de marionetas <http://puppetbuilding.com/>

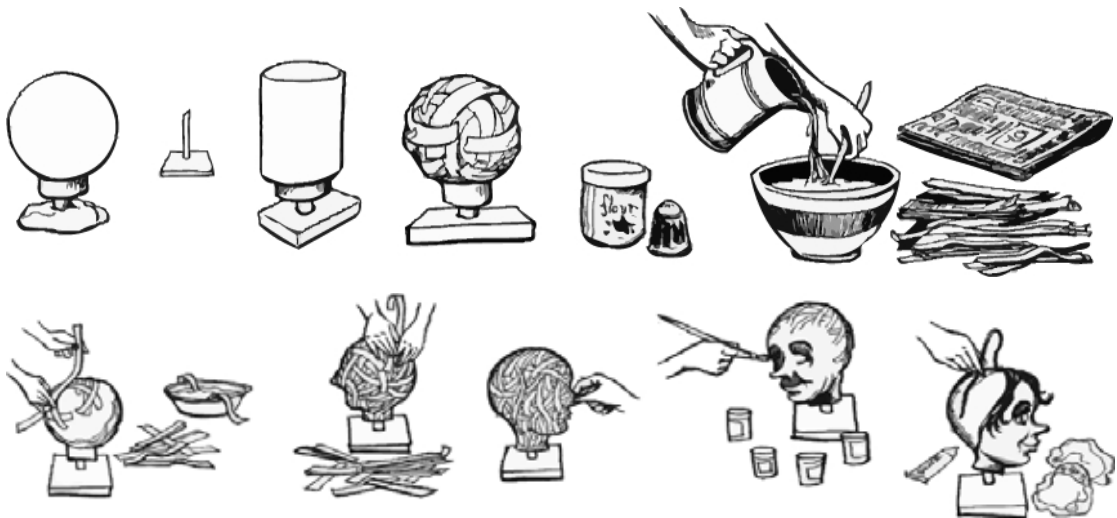


Fig. 10 – Processo de construção de uma cabeça em papel, adaptado de [10].

Uma cabeça é geralmente modelada em plasticina ou num material semelhante como o fimo e posteriormente coberta por algum material que irá formar uma concha. A concha é então dividida em duas partes e aberta para se retirar a plasticina, depois volta-se a juntar as duas partes da dita concha e obtém-se a cabeça. Os materiais mais utilizados no revestimento da concha são as fibras de vidro, o polipropileno e o papel.

Por outro lado, a técnica dos moldes facilita a criação de múltiplas cabeças idênticas, ou de pequenas variações para utilizar em personagens familiares. É também um método muito importante para garantir uma certa manutenção à marioneta, visto que facilmente se consegue reproduzir a mesma cabeça. Este aspecto é muito importante para marionetas que tenham grande desgaste. Esta técnica consiste basicamente na criação de um molde que depois servirá para o preenchimento com um determinado material.

É possível utilizar um vasto número de materiais para criar cabeças com este método. Quando se faz o molde original é preciso ter em atenção que muitos materiais tendem a encolher quando secam. Geralmente é utilizado para a produção do molde, um tipo de emplastro muito forte e que seca muito rapidamente.



Fig. 11 – Abertura do molde da cabeça da personagem “croc” para a peça “Bichos do Bosque” do Teatro de Marionetas do Porto.

O tipo de marioneta a produzir também tem influência na construção da cabeça. Caso se trate de um fantoche de mão, o pescoço deverá assumir uma forma em sino, para que o corpo encaixe melhor; o buraco no pescoço é geralmente oval para acomodar dois dedos.

As cabeças das marionetas de varetas podem ser modeladas com ou sem pescoço; neste caso, o pescoço é construído no próprio corpo e ligado por uma articulação dentro da cabeça.

Nas marionetas de fios, as cabeças tendem a mover-se mais eficientemente se os pescoços forem feitos separadamente da cabeça e do corpo, com uma articulação no interior da cabeça e outra dentro do corpo. A cabeça numa marioneta de fios deve ter as orelhas suficientemente fortes para se ligarem os fios e para suster o peso da cabeça. Caso não seja possível, devido ao uso de determinados materiais, será necessária a introdução de uma barra horizontal no interior da cabeça com umas pequenas argolas nas extremidades e uma articulação central para ligação ao pescoço. Mas se a cabeça e o pescoço forem uma peça única, será então necessária a introdução de uma outra barra na vertical com uma argola na parte inferior do pescoço, ficando assim construída uma espécie de cruz interior na cabeça.

É também usual a utilização de olhos com movimento nas marionetas de fios já que o movimento dos olhos pode dar muita expressividade ao boneco. No entanto, são apenas eficientes para performances pequenas, visto que não se distinguem bem à distância. Para controlar os olhos, passam-se os fios por dois buracos na cabeça.

2.4.2 Marionetas de varetas

Na construção das marionetas de varetas manipuladas por baixo, o corpo é construído de forma a ser suportado por uma vareta central, podendo esta rodar ou estar fixa ao corpo. Geralmente é utilizada uma vareta central curta de forma a permitir uma maior flexibilidade, passando a ser uma extensão da própria mão do manipulador. A vantagem de utilizar uma vareta comprida é o facto de se poder elevar a marioneta, possibilitando o uso de pernas. No entanto, perde-se a flexibilidade de movimento. As marionetas de varetas mais simples podem-se descrever como uma cabeça em cima de uma vareta, também conhecidas por “marotte”. Estas foram sendo desenvolvidas através da introdução de vestimentas para cobrir a vareta principal, até à introdução dos membros com ou sem varetas de controlo.

Existem vários métodos de ligação do corpo à cabeça e que estão relacionados com o movimento da cabeça. A cabeça pode estar estática, pode rodar no eixo horizontal ou no vertical, ou em ambos. É portanto necessário ter o desenho da marioneta definido antes da sua construção. Estes factores são determinantes para a construção da vareta principal. Esta é geralmente em forma de tubo, de modo a permitir a introdução de fios ou outras varetas no seu interior. Para permitir a rotação da cabeça, esta tem de estar ligada à vareta principal possibilitando assim a sua rotação na horizontal. Para a rotação vertical, são utilizados ganchos de metal que ligam os dois lados da cabeça a um pequeno cilindro de madeira que intercepta a vareta principal. A vareta principal pode também estar separada na zona dos ombros em duas partes ligadas por uma mola, permitindo uma outra dinâmica de movimento. A utilização de uma vareta interior ou fios possibilita a manipulação independente da cabeça.

Existem várias formas e materiais para construir o tronco do boneco. A forma mais simples é a utilização de apenas um bloco de ombros. Este pode ser produzido em madeira e deverá ter um furo na vertical para a vareta principal e (umas) anilhas para o suportarem na vareta. As marionetas mais simples apenas possuem a cabeça e o bloco dos ombros que pode ser revestido com uma vestimenta que também cobre a vareta, eventualmente também se podem ligar os braços ao bloco dos ombros. Ao bloco de madeira dos ombros pode ser adicionado uma forma para completar o tronco, a qual pode ser feita de materiais como o cartão, ou outros.

O tronco também pode ser construído a partir da junção de duas formas em composto de madeira com um furo na vertical para a vareta. Um método pouco utilizado é o de esculpir a madeira para modelar o corpo, sendo necessário retirar o excesso de madeira no interior para retirar peso ao tronco e criar a abertura para a vareta.

Os braços e as mãos podem ser feitos a partir de blocos de esponja ou espuma. Os braços também podem ser feitos de corda, adquirindo uma certa firmeza sem perder a flexibilidade de movimento. O cartão ou o papel, para dar forma aos braços, podem ser colados à volta da corda, da espuma ou da esponja. As marionetas de varetas devem ter mais restrições nas articulações dada a forma de as controlar.

A utilização de pedaços de cabedal nas articulações como dobradiça permite uma flexibilidade considerável, mantendo um bom controlo. Introduzem-se nas articulações do pulso, na vertical, para um movimento lateral das mãos e nos cotovelos na horizontal, permitindo um movimento vertical dos braços. Uma técnica para criar automaticamente constrangimentos de movimento é a da utilização de “línguas” e ranhuras de madeira nas articulações, de forma a criar um encaixe: ao segmento do antebraço é criada uma ranhura para o encaixe da saliência do segmento do braço, sendo este atravessado por um parafuso que liga os dois segmentos. A orientação da ranhura permite definir a rotação na direcção pretendida. Uma técnica que transmite dinâmica ao braço sem grandes restrições de movimento é através da utilização de argolas nas articulações. A utilização de cordas ou fios para fazer a ligação dos membros também é uma técnica comum nas marionetas, e a mistura das várias técnicas pode ser uma solução para possibilitar certos movimentos.

Ocasionalmente, as mãos são construídas nos próprios braços, formando um único membro sem qualquer articulação. Nesta situação, é importante colocar os dedos numa posição que transmita dinâmica para compensar a ausência de movimento.

Para uma marioneta de varetas, as pernas não são essenciais, visto que geralmente estas são observadas a partir do nível da cintura. As articulações das pernas e pés são semelhantes às dos braços e das mãos, mas os seus movimentos são mais livres e para os controlar podem usar-se fios.

A principal característica do controlo da marioneta de varetas é a vareta central que suporta o boneco. Controlos adicionais são adicionados para mover a cabeça, mãos e, ocasionalmente, as pernas.

O movimento da cabeça pode ser controlado apenas com a vareta principal fixa ao corpo e à cabeça ou com a utilização de uma vareta interior. Desta forma, a manipulação pode ser feita com uma ou duas mãos. No caso da utilização das duas mãos, uma mão segura a vareta principal e a outra roda a vareta interior para os lados, ou move-o para cima e para baixo. Para manipular o boneco apenas com uma mão, é recortado um rectângulo na vareta principal na posição do dedo polegar e colocado um arame com um formato rectangular perpendicular ao da vareta com as suas pontas inseridas dentro da vareta interior. Desta forma, o manipulador

com apenas uma mão pode segurar na marioneta e com o dedo polegar rodar a cabeça na horizontal e vertical.

A utilização dos fios em conjugação com a vareta permite um maior controlo de movimento da cabeça. A técnica mais simples é a de ligar um fio à nuca ligando-o ao controlo inferior da mão do manipulador. Ao puxar o fio, a cabeça inclina-se para cima e, ao libertar o fio a cabeça, volta à sua posição inicial devido ao seu peso. Mas as técnicas que permitem um maior controlo são as da utilização de molas ou elásticos em conjugação com os fios, de forma a restringir o movimento da cabeça e obrigá-la a voltar à sua posição inicial. Também se podem utilizar arames e ganchos no controlo da rotação da cabeça.

Para controlar os braços e as pernas são necessárias mais varetas, estas geralmente de metal ligam às mãos e aos joelhos e são independentes da vareta principal. As varetas podem estar ligadas ao centro das mãos, ou aos pulsos no caso das marionetas com as mãos fixas aos braços através de pequenas argolas, pregos ou cordéis. É muito usual deixar as pernas balancear livremente. No entanto, se for necessário o seu controlo, são utilizados dois fios ou arames ligados à parte de trás do topo das pernas que por sua vez ligam a um outro controlo, que é manipulado através do movimento sobre o eixo vertical possibilitando um movimento balanceado das pernas tal como o movimento de andar. Também é usual recorrer a dois tubos pretos ligados aos calcanhares dos pés. Em termos de manipulação da marioneta, é prática comum segurar a vareta central com uma mão e com a outra manipular um dos braços deixando o outro braço dependurado, mas esta não é uma técnica recomendável. Para se alcançar melhores resultados o manipulador deverá segurar com uma mão a vareta central e com a outra as duas varetas das mãos, ou segurar uma das varetas das mãos com um dedo que segura a vareta central libertando assim a outra mão para manipular a outra vareta.

As marionetas de varetas sicilianas são manipuladas por cima como as marionetas de fios. Os meios de controlo são varetas de metal ligadas à cabeça e aos membros. Estas marionetas são geralmente esculpidas em madeira.

As marionetas de varetas estilo *Bunraku*, que já foram abordadas anteriormente, são manipuladas por trás e a sua técnica foi adaptada para poder ser manipulada por um número variável de manipuladores.

2.4.3 Marionetas de fios

Nas marionetas de fios a essência da boa construção reside no equilíbrio e na distribuição do peso conjuntamente com a flexibilidade de movimento. Uma restrição apropriada das articu-

lações possibilita um controlo adequado. Assim, é muito importante desenhar a marioneta como um todo, de forma a escolher os materiais mais adequados e equilibrados. Por exemplo, não se devem ligar pernas pesadas feitas de madeira a um corpo feito de polipropileno.

As cabeças das marionetas de fios podem ser construídas como as das marionetas de varetas, embora não necessitem de uma vareta central e as suas ligações para o controlo sejam diferentes.

O tronco de uma marioneta de fios é normalmente construído em duas partes separadas, unidas por uma articulação na cintura. Um tronco feito numa única peça restringe o movimento do boneco, particularmente no andar.

Tal como na construção da cabeça, o tronco de uma marioneta pode ser produzido a partir de vários materiais seguindo determinados métodos.

Um tronco feito de tecido é construído a partir do bloco dos ombros recorrendo a um disco de cartão em forma de cone e recortando um buraco no centro para encaixar a cabeça. O resto do tronco é enrolado com tecido e depois enchido com espuma e finalmente cozido.

A construção do tronco a partir de madeira pode ser segmentado em duas partes: o tórax e a pélvis. O tórax pode ser produzido através do recorte de uma placa de aglomerado de madeira como base para suportar a volumetria criada a partir de espuma. Para produzir a pélvis pode-se serrar um bloco de madeira de maneira a obter uma forma em T, suavizando e arredondando os cantos com espuma.

O método de moldar o tronco é muito semelhante ao de criar o molde da cabeça. É utilizada a plasticina para modelar o tórax e a pélvis; esta servirá de volume para criar o molde. O volume é envolvido por um material que assume a sua forma no interior e é introduzido um tubo do exterior para o interior para possibilitar o preenchimento com os mesmos materiais usados para os moldes da cabeça. Se o material de preenchimento for muito flexível é necessário reforçá-lo, colando uma placa fina de aglomerado de madeira no meio da forma. São necessários quatro buracos para ligar os respectivos braços, tórax e pescoço.

A técnica de modelar o tronco é também muito semelhante à da modelação da cabeça, podendo ser reforçada com polipropileno no interior do corpo.

Ao esculpir um tronco em madeira é importante ter em consideração o seu peso. Assim, é necessário criar um tórax oco de modo a reduzi-lo; para retirar o excesso de madeira faz-se um buraco por baixo do tórax de forma a alcançar o seu interior. Também é muito importante saber quais serão as suas articulações de antemão, para se poderem preparar os suportes para as ligações. Portanto, é necessário o desenho prévio da marioneta com a indicação das suas articulações.

A articulação do tronco que liga o tórax à pélvis pode ser produzida de diversas formas, segundo os métodos de construção aplicados.

Em troncos de madeira podem ser utilizadas argolas para a ligação do tórax à pélvis, fixas às duas partes do tronco ou ligadas a cordas presas aos volumes.

As articulações feitas de cabedal são usadas em troncos modelados de base sólida. O cabedal liga os dois volumes e é preso dentro destes através de pequenos pregos.

As cordas também podem ser utilizadas para produzir a articulação e são usadas em troncos moldados, de madeira ou de espuma. As cordas podem ser usadas como uma argola que liga os dois volumes.

A articulação em bola permite um excelente movimento e é usada frequentemente em corpos sem roupa, mas podem ser usados genericamente. Este tipo de articulação consiste na utilização de uma bola de madeira assumida e visível entre o tórax e a pélvis, fazendo assim a ligação entre estes dois volumes. Os três elementos são ligados por uma ou duas cordas que atravessam a bola com nós interiores aos volumes.

Os métodos utilizados para produzir as articulações de ligação do tronco à cabeça estão relacionados com o posicionamento do pescoço, visto que este pode estar embutido na própria cabeça, no tronco ou ser uma peça separada.

A forma das mãos é muito importante para ajudar a criar a personagem. Estas formas não necessitam de ser muito detalhadas, podem aliás ser estilizadas mas os dedos devem ser colocados de forma a dar expressividade à personagem. As mãos podem ser construídas com tecido, esculpidas em madeira e com espuma, de borracha, ou de outros materiais.

Os braços podem ser produzidos com tecido enrolado, com cordas, modelados em espuma, moldados em borracha, ou esculpidos em madeira. Os materiais influenciam as articulações e o movimento da marioneta. As articulações que ligam o braço ao antebraço são muito semelhantes às da marioneta de varetas. Para criar a articulação dos braços de espuma, ou de borracha, é usada uma corda que atravessa o braço e o antebraço, nos braços de madeira podem ser usadas as “línguas” e ranhuras na madeira para criar estrangimentos, ou um pedaço de cabedal no cotovelo que liga os dois volumes recortados de forma a dobrarem apenas num eixo.

A articulação dos pulsos também está relacionada com os materiais de construção aplicados ao boneco. Geralmente utiliza-se um pedaço de cabedal para ligar o braço à mão. Preso com pequenos pregos, o cabedal é então colocado de forma a limitar a rotação da mão a apenas um eixo. A utilização de cordas para criar estas articulações oferece mais dinâmica de movimento, mas menos controlo, tal como a utilização de argolas em conjunção com cordas.

As pernas também podem ser produzidas a partir de tecido enrolado formando tubos, ou esculpidas em madeira formando duas cunhas na zona de intercepção e ligadas com “línguas” e ranhuras, ou com cabedal colocado nas ranhuras dos dois volumes na zona dos joelhos. Pernas produzidas de placas de aglomerado de madeira tendem a ficar muito pesadas, enquanto que a construção de pernas apenas em espuma de borracha tendem a ficar demasiado leves. Portanto, a combinação de ambos os materiais permite um bom controlo.

Para ligar as pernas à pélvis pode ser utilizado um arame em forma de L que atravessa a perna na horizontal e preso na parte lateral da pélvis e na central. Também se pode usar um arame em forma de U atravessado na perna e preso na parte superior da pélvis. Para as pernas de madeira também se pode recorrer ao método da dobradiça de cabedal.



Fig. 12 – Molde da perna da personagem do crocodilo para a peça “Bichos do Bosque” do Teatro de Marionetas do Porto.

Os pés podem ser esculpidos ou modelados através das técnicas anteriormente descritas. Muitos marionetistas adicionam pedaços de felpo à base dos pés das marionetas de forma a reduzir o ruído. Para a articulação do tornozelo é utilizado o método da “língua” e ranhura, podendo a ordem destes elementos estar invertida, ou seja, a ranhura pode estar posicionada na perna ou no pé. Este último é o método mais recomendado, permitindo uma maior facilidade de controlo.

Os pés também podem ser moldados, podendo ser feitos já com uma parte do encaixe à perna, de forma a que esta entre dentro do pé, sendo apenas necessário colocar um arame a atravessar a perna para criar a articulação do tornozelo.

Para poder controlar a marioneta com precisão pode ser necessário dar peso à marioneta. Embora uma marioneta bem construída não necessite de ajustes, algumas localizações podem necessitar de peso extra para compensar outras com excesso de peso. A pélvis não pode ser demasiado leve, de modo a não afectar a acção de andar da marioneta. Se for necessário adicionar peso ao pé, este deverá ser acrescentado na zona dos calcanhares - a zona frontal serve para orientar os pés - e assim evitar que estes sejam arrastados. Os locais mais aconselháveis para acrescentar peso são os antebraços, a zona central da pélvis e a zona dos calcanhares. O método mais usual de adicionar peso é o de colar ou coser pedaços de cabeçal.

2.4.4 O comando ou controlo

A marioneta de fios é composta por três elementos estruturais: o boneco ou figura animada, representando um ser humano, animal ou criatura antropomórfica; os fios de comando, que comunicam ao boneco os gestos e acções pretendidas pelo animador; o comando ou cruzeta, destinada a controlar os fios e os movimentos do boneco. Trata-se de uma técnica comum em diferentes culturas, mas com uma grande complexidade formal, tanto na construção da figura como do seu sistema de manipulação (comando ou cruzeta). A funcionalidade da marioneta depende de uma compreensão adequada dos seus princípios mecânicos e estruturais. Trata-se de uma arte ancestral, que evoluiu a partir de pressupostos técnicos de base, incorporando permanentemente novas tecnologias e materiais ao longo da sua história.

Para manipular a marioneta de fios é utilizado um controlo geralmente feito de madeira e que liga os fios à marioneta, sendo construído mediante o movimento definido para o boneco. A este controlo são atribuídos os nomes mais vulgares de avião ou cruzeta. Existem dois tipos de controlo de uso mais comum, nomeadamente a cruzeta horizontal e a cruzeta vertical. Na Inglaterra, esta última é mais utilizada para controlar bonecos bípedes e a cruzeta horizontal para controlar animais, enquanto que em Portugal e em muitos outros países a cruzeta horizontal é utilizada extensivamente em ambos os casos. Para o uso das crianças deverá ser adoptado o controlo horizontal.

Podem ser encontrados vários géneros de cruzetas horizontais e verticais, sendo um erro fazer o controlo da marioneta demasiado simples, a não ser que tenha poucos fios. A maioria dos fios ligados ao controlo suportam a marioneta e, rodando-o na horizontal ou na vertical, conseguem-se produzir muitos movimentos. Se o controlo for demasiado simples, torna-se

muito complicado manipular o boneco obrigando o manipulador a puxar os fios individualmente para conseguir mais movimentos.

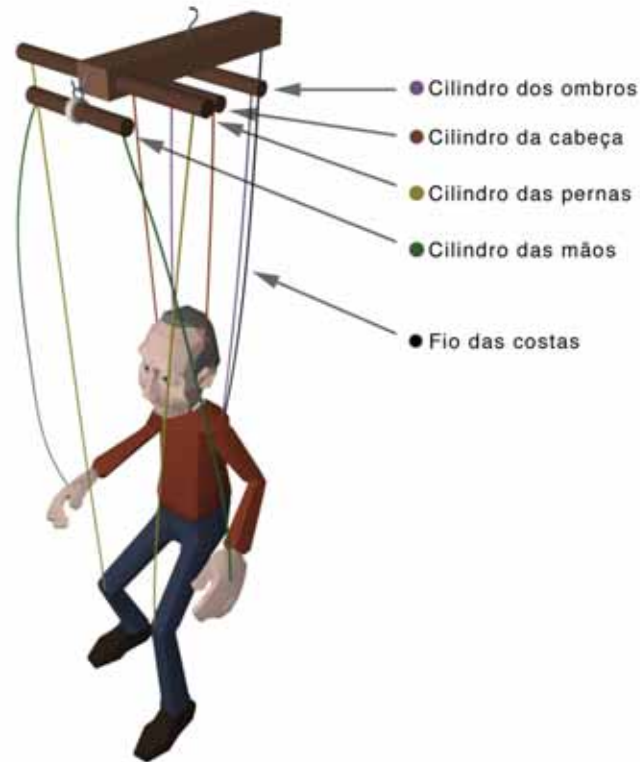


Fig. 13 – Esquema de ligação de uma cruzeta horizontal.

Uma cruzeta horizontal simples é constituída por uma barra principal e dois cilindros perpendiculares. A barra principal de madeira colocada na horizontal, com cerca de 20 centímetros de comprimento, tem dois buracos que atravessam a barra na lateral. No primeiro buraco, na zona frontal, passa um longo fio que liga as duas mãos, sendo desta forma possível ter uma grande amplitude de movimento; no segundo buraco passa um fio esticado que liga aos ombros e que sustém a marioneta, permitindo igualmente a sua orientação espacial. O centro da barra principal atravessado por um cilindro de madeira formando uma cruz que liga às duas orelhas e serve para orientar a cabeça. Na zona frontal é introduzido um cilindro de madeira, mais comprido do que o anterior, que está suspenso na barra principal por um cordel bem apertado. Este cilindro, posicionado também na perpendicular à barra principal, liga às articulações dos joelhos e permite dobrar as pernas.

Para manipular uma marioneta com a cruzeta horizontal simples o marionetista deve segurar no controlo com uma mão. Obtém-se o movimento da cabeça através da rotação do controlo para os lados, para cima ou para baixo. Para mexer as mãos é necessário puxar os fios com a mão disponível; a acção de andar da marioneta é conseguida a partir da rotação alternada no eixo vertical do cilindro que controla as pernas.

Uma variante deste comando muito utilizada é caracterizada pelas diferenças de controlo das mãos e da coluna. Um cilindro de madeira destacável é suspenso num gancho introduzido na barra principal formando um T, permitindo a manipulação das mãos com grande mobilidade. A possibilidade de suspender este cilindro no comando liberta o marionetista para outros movimentos. Para dobrar o corpo da marioneta é utilizado um fio que liga a parte inferior da coluna à traseira do comando.

Com este controlo é possível uma manipulação mais completa. Para rodar a cabeça, deve-se inclinar o controlo ligeiramente para a frente de forma a retirar o peso aos ombros e rodar no eixo horizontal o cilindro da cabeça com o dedo indicador e com o polegar ou com a mão disponível. Para inclinar a cabeça para os lados, deve-se rodar o respectivo cilindro no eixo vertical. Para inclinar a cabeça para a frente, é necessário puxar o cilindro ou o fio que sustenta os ombros de forma a retirar o peso à cabeça e inclinar todo o controlo ligeiramente para a frente para que a cabeça incline para baixo com a gravidade para baixo e para a frente. Para inclinar todo o corpo e a cabeça para a frente, o controlo também deverá ser inclinado; para inclinar o corpo mantendo a cabeça em pé, o controlo deverá ser inclinado para a frente e o cilindro da cabeça deverá ser puxado para cima. Para movimentar as mãos, o marionetista deve pegar no cilindro das mãos com a sua mão disponível; quando levantar o comando, as mãos mexem-se em conjunto. Para mexer apenas uma mão, deverá rodar o comando ou puxar os fios isoladamente. Para fazer a marioneta andar, basta girar o comando para cima e para baixo num movimento balanceado.

Uma outra variante, conhecida por método francês, introduz uma outra barra paralela à principal mas num nível acima e com um cilindro cruzado na zona frontal, criando uma forma em T para movimentar apenas as pernas e libertando a barra principal para as outras ligações. Este método tem a grande vantagem de o marionetista, ao segurar na barra secundária do nível superior, poder girar ligeiramente para um lado e para o outro para que a marioneta execute o movimento com as pernas de andar. Existem cruzetas que contemplam o movimento da boca e dos olhos através da introdução de pequenas alavancas colocadas na barra principal. Existem muitas outras variantes a estes modelos tendo em vista a adaptação das

características dos bonecos aos movimentos, especialmente aos bonecos que não são bípedes.

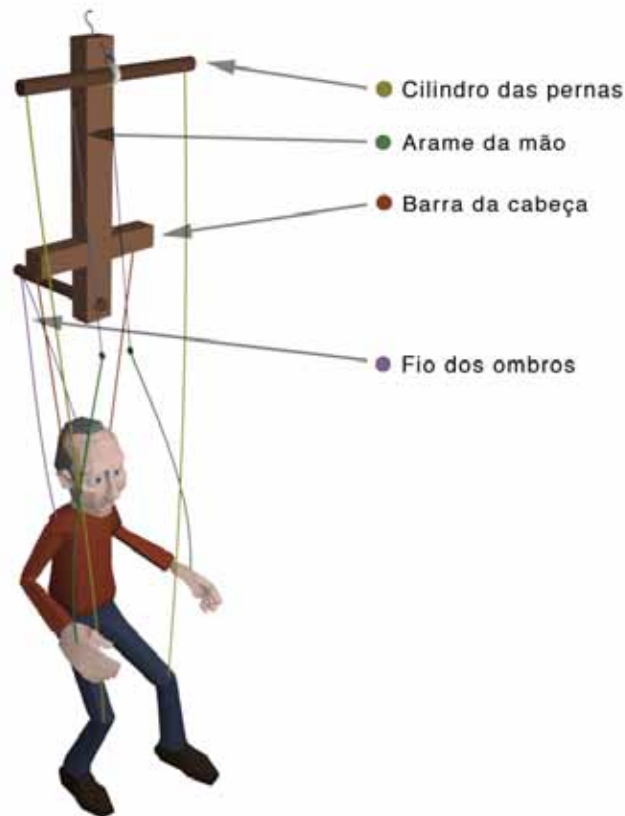


Fig. 14 – Esquema de ligação de uma cruzeta vertical.

A cruzeta vertical é constituída por uma barra principal de madeira, atravessada por uma outra barra de madeira na perpendicular formando uma cruz invertida e posicionada na vertical em relação ao plano do chão. Das extremidades da barra perpendicular saem dois fios que ligam à cabeça na zona das orelhas. O controlo das pernas é independente da cruzeta principal, podendo ficar suspenso por um gancho situado na zona superior da cruzeta. Este controlo, produzido a partir de um cilindro comprido de madeira paralelo à barra de ligação à cabeça, possui dois fios ligados nas suas extremidades que controlam as pernas. Um outro cilindro de madeira, que encaixa na parte inferior da barra principal formando um L invertido partindo da frente da marioneta para a sua traseira, sustenta os dois ombros com um fio

esticado que passa na extremidade do cilindro. As mãos são controladas por alavancas presas nas laterais da barra principal; estas alavancas, feitas de arame, são paralelas à barra principal e deslocam-se para a frente e para trás, estando na sua extremidade ligados os fios das mãos. Podem ser introduzidos pequenos cilindros na barra principal onde se ligam os fios para o controlo da boca e dos olhos. Tal como na cruzeta horizontal, existem muitas variações a este modelo de cruzeta, sejam elas para alterar a configuração de movimentos, para aumentar o nível de controlo, ou simplesmente para ajudar à sua arrumação.

Uma variação do controlo que permite a manipulação das pernas com a mão que sustenta a marioneta é a utilização de uma alavanca especial adaptada à mão do manipulador. O manipulador consegue, com um simples movimento de dedo, movimentar a alavanca para cima ou para baixo transmitindo esse movimento para as pernas provocando a acção de andar na marioneta e assim libertando a outra mão do manipulador para outras acções.

A manipulação da marioneta com este método torna-se bastante optimizada e flexível. Para inclinar a cabeça para baixo, basta inclinar o comando principal para trás, transmitindo o peso da cabeça para os ombros. Para inclinar a cabeça para os lados, deve-se igualmente inclinar o comando para os lados. Para rodar a cabeça, o comando deverá ser inclinado ligeiramente para a frente de forma a retirar peso aos ombros e ao mesmo tempo rodar o comando na direcção desejada. Para mexer a boca ou os olhos, devem ser puxados os respectivos fios. Para inclinar o corpo para baixo com a cabeça em pé, deverá ser puxada o fio das costas e baixar todo o controlo. Os dedos manipulam as alavancas que fazem mexer as mãos. Para fazer a marioneta andar, basta retirar o comando das pernas do gancho e fazer um movimento balanceado de rotação para cima e para baixo.

Também há outras técnicas e métodos na construção de cruzetas verticais e que influenciam a manipulação da marioneta, como por exemplo o método alemão que apresenta uma cruzeta de elevada complexidade que sustenta a marioneta com treze fios, mas que permite uma manipulação bastante eficiente.

Existem muitas outras técnicas de manipulação que estão relacionadas com acções muito específicas das marionetas e que também influenciam a sua construção. Os exemplos mais conhecidos destas acções são as de levantar o chapéu, tocar piano, pegar em objectos. No entanto, existem outros factores que influenciam determinantemente a construção e a manipulação das marionetas, como controlar duas marionetas com um único controlo, ou uma marioneta que controla uma outra, uma marioneta com múltiplas cabeças, ou uma marioneta extensível.

2.5 Marionetas no cinema e na televisão

O filme *The Dark Crystal* foi um marco no uso de técnicas avançadas no controlo das marionetas no cinema. O projecto, criado pela empresa de Jim Henson, envolveu a criação de tecnologia proprietária baseada nas marionetas e toda a restante produção específica, nomeadamente a pintura, a caracterização, o guarda-roupa, a modelação, a electrónica e a hidráulica. A tecnologia criada para este filme foi utilizada por Jim Henson na personagem Yoda no filme *Star Wars*. Porém, apesar de todo o aparato electrónico e robótico, nomeadamente todos os *animatronics*, a essência da representação das marionetas continuava a ser a interpretação do marionetista, que fazia com que a marioneta fosse convincente, não devendo a parte técnica subjugar a parte artística. O marionetista deve conhecer bem a personagem, a forma como pensa, como se comporta, como se movimenta e até os pequenos “tiques” faciais. O filme *The Dark Crystal* foi exibido em 1983 e foi uma grande contribuição para a tecnologia robótica na produção de bonecos animados, os *animatronics*. Este filme, que conjuga a tecnologia com a modelação e a performance, criou um novo *standard* na produção de filmes de bonecos.

Em 1975, a empresa de Jim Henson, associada à Lord Lew Grade’s Organization, criou a série de televisão *The Muppet Show* (“Os Marretas”), uma série consagrada com uma audiência de 235 milhões de espectadores em mais de 100 países e que levou à produção de dois filmes. “Os Marretas” foram um dos programas de entretenimento para televisão mais populares de sempre e o seu legado ajudou a abrir as portas da televisão a este novo género.

Supermarionation foi o termo usado para descrever os filmes de bonecos articulados (marionetas) para televisão e cinema que recorriam a um conjunto de técnicas avançadas de animação e de efeitos especiais. Estas técnicas foram iniciadas por Gerry e Sylvia Anderson. A primeira série televisiva que desenvolveu estas técnicas foi a *Four Feather Falls*, sucedendo-lhe a série *Supercar*, considerada a primeira série de bonecos articulados do tipo *space-age* e que foi visionada em muitos países. O impacto destas séries foi tão grande que rapidamente se produziram muitas outras séries do mesmo género, tais como: *Fireball XL5*, *Stingray*, *Thunderbirds*, *Captain Scarlet*, *Mysterons* e *Joe 90*. Todas estas séries apresentavam aperfeiçoamentos nas técnicas de animação e desenvolviam novos efeitos especiais.

As silhuetas ou o teatro de sombras foram transportados para cinema por Lotte Reiniger, que com a sua habilidade de analisar e visualizar os componentes de cada movimento conseguiu descodificar a linguagem de um meio adaptando-a para um outro. Reiniger produziu o filme *The Adventures of Prince Achmed*, considerada a primeira longa-metragem de animação.

Para produzir os filmes de silhuetas ou de sombras, são utilizadas figuras articuladas numa superfície de vidro transparente iluminado por trás, sendo as imagens capturadas por uma câmara posicionada à frente do vidro. Um fotograma é capturado pela câmara por cada movimento realizado e quando os fotogramas são projectados à velocidade correcta resulta em animação.

Muitas outras técnicas foram usadas para desenvolver filmes e programas de televisão com bonecos animados. Tal como na produção de filmes de silhuetas, a técnica de *stop-motion* é muito utilizada para criar animação com bonecos, sejam eles bonecos articulados, de borracha ou de plasticina, capazes de ser modelados para a animação, ou bonecos com membros de encaixe separados. No entanto, é necessário ter uma noção completa de todo o processo de forma a articular a manipulação dos bonecos com as propriedades do audiovisual e da animação em particular, nomeadamente a utilização da linguagem cinematográfica ou do conhecimento dos constrangimentos e limitações relativos ao meio televisivo. A natureza deste meio obriga à utilização constante de planos aproximados, o que requer uma precisão considerável dos movimentos da marioneta em geral e dos olhos e do sincronismo labial com a voz em particular.

Recentemente foram lançadas novas produções que recorrem à mais alta tecnologia cinematográfica. *Team América: World Police*, exibido em 2004, é uma comédia satírica só com marionetas. Dos criadores da série *South Park* e inspirado na série de culto *Thunderbirds*.

Strings é uma co-produção europeia que retrata um mundo onde todas as personagens são marionetas e os seus fios são a origem da sua força vital. É uma obra única no campo da arte das marionetas, verdadeiramente original e impressionante. Foram necessários 4 anos, 115 marionetas e uma equipa de 150 pessoas para produzir este filme. O resultado desta produção, para além de todo o seu potencial técnico, foi a capacidade de realmente contar uma história com todos os seus ingredientes. O filme de Anders Klarlund reveste-se de uma série de imaginativos detalhes relacionados com o universo das marionetas de fios, como a grade de uma prisão que impede os prisioneiros de moverem os seus fios para além de um espaço limitado, ou a chuva a cair dentro de casa por não poder haver telhados. No mundo de *Strings*, o fio da cabeça determina a vida e a morte. Os fios, mais do que elementos integrantes das marionetas, convertem-se em verdadeiras metáforas, estendendo-se pelas nuvens até desaparecerem na imensidão do céu. No infinito, unem-se a todos os outros fios, de todos os outros seres.

2.6 Marionetas virtuais

Independentemente da atenuação ou da subtileza do controlo das ligações, as marionetas de fios ou de varetas sempre permitem ao operador uma manipulação mecânica linear. Mas à medida que a distância aumenta entre o objecto performativo e o seu manipulador, esta manipulação próxima e directa começa a diminuir. É possível controlar marionetas remotamente através de sistemas hidráulicos ou por rádio, sistemas muito utilizados no cinema e na televisão na produção de efeitos especiais. Marionetas como a cabeça do dinossauro utilizada nos planos aproximados em *Jurassic Park* (1993) podem ser articuladas por dezenas de servomotores separados, operados por uma equipa no terreno ou à distância por computador.

A proximidade física entre o objecto performativo e o *performer* é apenas uma dimensão do termo “distância”. Também pode haver a separação entre um objecto e a sua imagem. Pode-se verificar essa separação à medida que se vai distanciando uma marioneta de sombras da tela e aproximando da fonte de luz. Quando a marioneta toca na tela, a sua silhueta corresponde exactamente ao contorno do objecto. Mas quando se afasta da tela, a silhueta vai aumentando de tamanho e ficando mais desfocada. O objecto performativo perante o público deixa de ser o objecto que está nas mãos do *performer*, mas, a projecção da sombra da sua imagem com outros atributos.

Se a imagem for capturada por uma lente de uma câmara em vez de ser projectada numa tela, então é possível uma maior distância. A câmara permite explorar também a barreira espacio-temporal, utilizando as técnicas de *stop-motion*. Em cada fotograma, o objecto ou o modelo articulado é manipulado de forma a transferir movimento numa dada sequência, dando a ilusão de movimento ao objecto. Uma grande dificuldade destas técnicas traduz-se no elevado consumo de tempo, podendo ser necessárias semanas, ou meses, para criar uma pequena sequência animada de poucos minutos. Esta técnica não encoraja à espontaneidade.

Recentes desenvolvimentos técnicos no campo da imagem digital e da síntese de imagem por computador tornaram possível a animação de marionetas em tempo real. Através da utilização de sistemas de captura de movimento (*motion capture*), luvas digitais (*data-gloves*) ou outra interface é possível descrever o movimento capturado e criar movimentos realistas em objectos/marionetas virtuais. O objecto/marioneta virtual passa a ser uma máscara digital do *performer* que volta a aproximar-se do objecto performativo conseguindo um contacto mais directo.

No entanto, existe alguma resistência em considerar as marionetas virtuais pertencentes à categoria das ‘marionetas’. Com o advento da produção digital, levantaram-se novas ques-

tões relacionadas com aquilo que se pode considerar uma marioneta e muito se tem debatido sobre o conceito de marionetas e o seu futuro.

Em 1991, foi introduzida uma nova categoria nas publicações da UNIMA-USA com o título de marionetas no vídeo, acabando por mais tarde abranger todos os média gravados. Um ano mais tarde, Mark Levenson, o então presidente do comité de publicações da UNIMA-USA, introduziu um critério essencial para as publicações nesta nova categoria. A questão vital era saber o que poderia ser considerado uma marioneta nesta nova categoria. Assim, Levenson propôs um teste como requisito de aprovação, que limitava o uso da tecnologia ao registo, não podendo esta ser usada para criar a marioneta. Também obrigava a que a performance estivesse sempre sob o controlo ao vivo de um marionetista, ou seja, em tempo real. A performance podia ser posteriormente gravada e manipulada, mas só depois de ser apresentada ao público.

Desta forma, Levenson excluía a animação tradicional e a animação do tipo *stop-motion*, mas incluía os *animatronics* se fossem controlados em tempo real.

Uma outra abordagem que segue uma orientação bem diferente é a de Stephen Kaplin, que em 1994 escreve um ensaio intitulado “Puppetry in the Next Millennium” [1, p.25]. Kaplin descreve quatro aspectos em que as novas tecnologias podem ser aplicadas às performances com marionetas num futuro próximo, a estes aspectos ele chama de subgéneros emergentes.

O primeiro subgénero é o *docu-puppetry* [1, p.174] que faz uso das técnicas de manipulação digital sobre a imagem estática e em movimento com o objectivo de produção de conteúdos mais documentais abordando o fenómeno histórico, social e cultural das marionetas.

O segundo subgénero é o *virtual puppetry* e envolve os objectos performativos existentes apenas no universo computacional, ligados por parâmetros comportamentais controlados pelo manipulador através de interfaces.

O terceiro subgénero, a que Kaplin chama de *hyper-puppetry*, é uma extensão colectiva, uma entidade corporativa de uma marioneta gerada por computador, criada a partir da junção das energias de um determinado número de utilizadores.

Finalmente, o *cyber-puppetry* é caracterizado como sendo uma marioneta computadorizada em rede, com uma dimensão interactiva *on-line* que permite ao artista conceber performances como criações colaborativas com um determinado público.

A visão de Kaplin sobre a criação de formas artísticas emergentes é muito interessante. No entanto, é de notar que os quatro subgéneros estão fundamentalmente relacionados. *Docu-puppetry*, *hyper-puppetry* e *cyber-puppetry* são variações do *virtual puppetry*, sendo que em todos estes subgéneros ele prevê a criação e/ou manipulação, por uma ou mais pessoas, de

figuras gráficas computadorizadas. A sua definição de marioneta ou boneco está implícita no seu raciocínio e é completamente revolucionária, orientando-a para a relação entre significado e significante, fazendo mesmo um paralelo entre o próprio significado da vida, construído pelo Homem, assim expandindo a realidade das marionetas para além de todas as definições centradas na materialidade do boneco, ou da definição de Benjamim, para quem a marioneta assume uma existência única como objecto num dado tempo e espaço [1, p.175]. Desta forma, Kaplin adopta para o universo das marionetas não só as figuras produzidas por computador, mas também os *animatronics* e as técnicas de animação por *stop-motion* ou a própria animação tradicional.

Para relacionar os bonecos animados com as marionetas como as conhecemos, é necessário compreender como estes funcionam, especialmente como é que são criados e controlados, na animação digital. Os bonecos digitais tridimensionais podem ser modelados a partir de várias técnicas, nomeadamente a partir da modelação de polígonos, *nurbs*, subdivisão de superfícies, entre outras. Podem igualmente ser digitalizados a partir de um modelo real de barro, como por exemplo a cabeça da personagem *Woody* do filme *Toy Story*, da Pixar. Para controlar estes bonecos de forma a movimentar os seus gestos, são utilizadas “variáveis de articulação”, também conhecidas por “avars”, podendo aqui ser feita uma analogia com os fios das marionetas. Na realidade, estes “avars” são pontos de articulação, estes pontos controlam a deformação da geometria ou o movimento das articulações. As aplicações de animação oferecem vários tipos de articulação semelhantes aos das marionetas reais, sendo possível limitar os movimentos destas articulações.

O número de pontos utilizados para controlar os bonecos depende da complexidade e do pormenor dos movimentos, podendo ser um número astronómico, como por exemplo na personagem *Woody*, que para controlar apenas a face, existiam 212 “avars”. Mas se estes funcionam de uma forma semelhante aos pontos de articulação das marionetas, é necessário compreender quais são os seus mecanismos de controlo, de forma a criar o movimento desses pontos e como é que são operados. Ou, utilizando os termos das marionetas, como é que se puxam os fios para movimentar o boneco. Os dois tipos relevantes de movimento são o movimento gestual e o prosaico, sendo este último o movimento de todo o boneco de uma localização virtual para outra. Para controlar o movimento gestual, podem ser utilizadas as técnicas de animação cinemática. A cinemática directa define o movimento para cada “avar” e segue uma hierarquia descendente, do membro superior para o inferior, ou do maior para o menor. Por seu lado a cinemática inversa segue a hierarquia inversa, possibilitando um ponto

de controlo ligado à extremidade de um membro, semelhante aos fios ou pontos de controlo das marionetas reais, possibilitando uma operação mais natural.

O movimento prosaico é definido por trajectórias de animação que descrevem o percurso que o boneco irá percorrer no espaço. Podem ser também definidas características físicas e dinâmicas para descrever e influenciar o movimento do boneco, tais como a gravidade ou o peso, podendo mesmo ser configurado um sistema de colisões. Para deslocar um boneco no espaço virtual como se este estivesse a andar, o animador deverá criar um ciclo de animação com o movimento e a expressão gestual do andar do corpo, ou seja, animar todos os membros necessários para simular o andar do boneco, como as pernas e os braços, dando a expressão balanceada a todo o corpo para criar dinâmica e obtendo um movimento mais credível. Em seguida, deverá descrever o movimento prosaico através da definição da trajectória do ciclo animado do boneco no espaço num determinado tempo.

Existem algumas ferramentas que conjugam os dois tipos de movimentos e simplificam a tarefa do animador. É o caso do *plugin* Character Studio para a aplicação tridimensional Discreet 3D Studio Max, que possibilita a criação de pegadas, definindo o percurso no espaço e em simultâneo a expressão e movimento corporal do andar, correr ou saltar.

São grandes as semelhanças entre o mundo virtual dos bonecos animados e as marionetas reais. O boneco virtual consegue simular o comportamento de uma marioneta; no entanto, a grande diferença é que para se alcançar o movimento de uma marioneta virtual é necessário um prévio processo demorado e complexo de animação, enquanto que o movimento de uma marioneta real é produzido em tempo real e é um processo relativamente mais simples de operar.

Existem, porém, outros mecanismos para criar movimento nas marionetas virtuais e que facilitam e simplificam os processos. As técnicas de captura de movimento são actualmente muito utilizadas para produzir animação digital de bonecos articulados (movimento gestual e prosaico) controlada pelo movimento do corpo de actores em tempo real. Os equipamentos de captura de movimento foram baptizados com o nome de “ergonomic-gonio-kinetic-telemetric devices” [1, p.177], que significa equipamentos ergonómicos (ergonomic) ou confortáveis ao corpo do actor (gónio) que medem os ângulos de movimento das articulações (kine-metric), sendo essa informação enviada remotamente (telemetric) para o computador. Depois de a informação ser digitalizada e tratada, ela é aplicada às marionetas virtuais que reflectem os movimentos do actor em tempo real.

A utilização dos sistemas de captura de movimento podem também estar relacionados com o movimento das marionetas virtuais de duas formas distintas, a que Steve Tillis [1, p.178]

chama de “physiognomic analogue” e “movement analogue”. A primeira forma descreve uma relação directa do movimento do actor com a marioneta, ou seja, o movimento da boca do actor reflecte-se directamente no movimento da boca da marioneta. A segunda forma envolve a ligação de uma parte do corpo do actor com uma parte diferente na marioneta, ou seja, o abrir e fechar da mão do actor pode servir para animar a boca da marioneta como se tratasse de uma marioneta de luva ou um fantoche, tal como nos “Marretas”. A captura de movimento, para além de permitir a animação de um boneco virtual em tempo real, pode mesmo permitir a performance virtual ao vivo, a que se chama de animação performativa através da sincronização do controlo, da acção e da recepção em tempo real, sendo possível interagir com público no momento da performance.

Apesar dos avanços tecnológicos permitirem actualmente a manipulação de marionetas virtuais em tempo real, podem estas ser consideradas “marionetas”? Esta possibilidade era excluída por Levenson baseando-se no uso da tecnologia na sua criação, enquanto que Kaplin inclui esta possibilidade nos seus subgéneros. Por outro lado, Steve Tillis propõe uma outra abordagem para esta questão através da divisão em dois aspectos distintos: a natureza dos bonecos e a sua relação com os manipuladores / operadores. O primeiro aspecto prende-se com o conceito de tangibilidade, ou seja, se é possível tocar o objecto. O segundo aspecto resulta da verificação da acção em tempo real.

No que diz respeito ao primeiro aspecto, apesar de toda a semelhança na construção das marionetas virtuais e reais, nomeadamente, a sua construção ser orientada para a manipulação e ambas significações de uma realidade, sendo os seus signos de vida serem abstracções da realidade viva, a marioneta virtual não pode ser tocada. Também pode ser argumentado o facto de o registo da imagem vídeo das marionetas tradicionais ou dos actores não ser tangível. Neste caso, porém, a imagem é uma referência directa ao objecto material. A diferença de natureza entre a marioneta virtual e real no aspecto tangível é suficiente como base teórica para as distinguir, apesar de todas as suas semelhanças. Assim, Tillis propõe que as marionetas, tal como as conhecemos se passem a referenciar-se como marionetas tangíveis, e as marionetas produzidas por computador se passem a referir como marionetas virtuais.

Devemos ainda considerar que a relação entre a marioneta e o manipulador se refere à sua operação em tempo real. Neste aspecto, tanto a marioneta real como a virtual podem ser operadas em tempo real. A proposta de Levenson sugeria que o critério de operação em tempo real era significativo na discussão das marionetas produzidas por computador uma vez que não permitiam a possibilidade de erro e o erro era o elemento arbitrário para uma boa ou má performance. No entanto, este critério não é o mais aceitável nem consensual, especialmente

quando utilizado num contexto de marionetas reproduzidas mecanicamente ou através da montagem de vídeo.

O assunto do controlo em tempo real não se refere propriamente à questão de ser ou não ser uma marioneta, mas antes, à questão do que é um marionetista. Marionetista é uma pessoa que opera uma marioneta (tangível ou virtual) em tempo real.

Na mesma linha de discussão, se um boneco ou figura computadorizada pode ou não ser uma marioneta, é necessário analisar os outros tipos de animação e de bonecos de forma a se poderem categorizar, relacionando-os com os aspectos acima referidos. A animação tradicional, conhecida por *cell animation*, construída a partir de desenhos, não é produzida através do uso de articulações nem de mecanismos de controlo. Na verdade, nem sequer é controlada, muito menos em tempo real, não podendo ser incluída em nenhuma das duas categorias. Algumas figuras, ou bonecos, animados pela técnica de *stop-action* ou *stop-motion* são, de alguma forma, semelhantes aos bonecos das marionetas.

O princípio básico de animação por *stop-motion* é descrito pelo registo capturado por uma câmara de um fotograma em cada momento da animação, sendo o movimento produzido pela junção dos vários fotogramas que formam uma sequência animada, desse modo criando a ilusão de movimento. Podem ser utilizados múltiplos métodos para a animação, seguindo esta técnica. Desde a animação de recortes e colagens à animação de bonecos em plasticina. Podem ser utilizados bonecos modelados flexíveis capazes de adquirir diferentes poses, bonecos com articulações, ou bonecos com membros destacáveis para serem alterados à medida das necessidades de movimento. Na técnica *stop-motion*, os bonecos são produzidos de forma semelhante aos das marionetas tangíveis, especialmente aqueles que necessitam de articulações, superando geralmente o número de articulações, em comparação com as marionetas. Exemplo disso é o caso da centopeia utilizada no filme *James and the Giant Peach*, dos estúdios da Disney (1996). Esta personagem possuía 72 pontos de articulação. Apesar deste tipo de bonecos serem tangíveis e partilharem muitas outras semelhanças com as marionetas, a sua grande diferença assenta no processo de animação, não podendo ser animadas em tempo real. No filme *The Nightmare Before Christmas*, da Touchstone Pictures, a filmagem de um plano típico de 5 segundos de duração demoraria 3 dias a ser produzido. A sua manipulação também não acontece em frente ao público.

Assim, verifica-se que estes bonecos animados por meio de registo num determinado espaço-tempo não podem ser considerados marionetas virtuais nem marionetas tangíveis por não ser possível a sua animação em tempo real. Em resposta a este problema, Steve Tillis propõe uma terceira categoria para classificar este tipo de bonecos, a de Marionetas *stop-motion*. E,

tal como tinha proposto na sua distinção entre marionetas tangíveis e virtuais na base das suas diferenças significativas, apresenta como base de distinção entre marionetas tangíveis e bonecos em *stop-motion* a ilusão do movimento a sua diferença mais significativa. Na investigação desenvolvida por Tillis para caracterizar o universo das marionetas, é possível distinguir três categorias: As Marionetas tangíveis caracterizam-se por objectos tangíveis com movimento tangível; As Marionetas virtuais caracterizam-se por objectos intangíveis com movimento tangível; As Marionetas *stop-motion* são objectos tangíveis com movimento intangível.

Desta forma, Tillis espera criar algum consenso entre as correntes mais tradicionais e as contemporâneas.

Finalmente, cabe aqui uma breve consideração sobre a classificação dos bonecos *animatronics*. Estes bonecos têm um controlo baseado em transmissores electrónicos por fios ou por sinais de rádio frequência, considerados na categoria de marionetas tangíveis, posto que a sua matéria e o seu movimento são tangíveis. As suas diferenças enquadram-se no universo de distinção entre as marionetas tangíveis, tais como: marionetas de fios, de varetas, silhuetas ou fantoches.

3 Estado da Arte

3.1 Interfaces

O conceito de interface é tão abrangente que várias definições podem ser adoptadas; o lugar ou ponto onde duas coisas se tocam ou encontram; a fronteira partilhada por dois dispositivos, ou por uma pessoa e um dispositivo. Na realidade, uma interface é fronteira, superfície, lugar, meio de ligação, ou ponto de contacto. A sua natureza depende dos seus dois constituintes.

Nas ciências da computação, uma interface é a fronteira que define a forma de comunicação entre duas entidades. Ela pode ser entendida como uma abstracção que estabelece a forma de interacção da entidade com o mundo exterior.

Uma interface também pode promover um serviço de tradução para entidades que não falam a mesma linguagem, como no caso de humanos e computadores.

O conceito de interface é utilizado em diferentes áreas das ciências da computação, essencialmente para o estudo das interacções homem-máquina e máquina-máquina.

A designação de interface física define os dispositivos de hardware e que pode assumir a função de dispositivos de entrada, de saída, ou de entrada e saída. A interface digital é referente ao software, como a interface gráfica ou a interface do utilizador.

3.1.1 Metáfora da Interface

É através da interface que o utilizador interage com o computador. Trata-se, portanto, de um agente comunicativo que traduz a linguagem máquina para a linguagem do Homem. É portanto natural que a metáfora desempenhe um papel relevante no desenho das interfaces, nomeadamente no emprego da linguagem figurativa.

A metáfora faz parte do processo de tradução de signos recorrendo à operação de substituição, é o emprego de um termo que substitui um outro que lhe é assimilado.

O conceito de metáfora como agente de substituição de termos similares tem sido muito discutido. Para a Retórica clássica, a metáfora é descrita em termos de desvio, ou deslocamento do sentido literal para o sentido figurado. Muitas vezes, este desvio é atribuído à função de denominação, permitindo identificar uma coisa (ou ideia) através de uma palavra emprestada, ou uma palavra “estranha”.

O segredo de elaborar boas metáforas depende da capacidade de ponderar sobre semelhanças. O simples facto de compreender uma metáfora é suficiente para a considerar como válida.

É essencial que uma metáfora materialize a identidade, de modo a suprimir certas deficiências vocabulares.

A informática é um caso exemplar do emprego de metáforas denominativas especialmente pela necessidade de criação de novos termos para tantas inovações. Mas também para a substituição de termos técnicos, frios e distantes à maioria das pessoas, por algo mais próximo e reconhecível. Termos computacionais como memória, disco, rato, directório, arquivo, raiz, árvore, entre muitos outros, foram criados a partir de metáforas. Em todos estes casos existe a simples substituição de um termo por um outro, como por exemplo o termo “dispositivo de armazenamento” é trocado pelo termo “memória”. É a metáfora na sua concepção mais simples, em que há o desvio, a transferência ou substituição de um termo por outro.

A metáfora é fundamental no desenvolvimento e desenho das interfaces gráficas. O grande mentor destas interfaces foi Ivan Stuhlerland do MIT (Massachusetts Institute of Technology) que em 1962 desenvolveu o *SketchPad*, um programa que permitia aos utilizadores criar linhas, círculos e pontos num ecrã com uma caneta. No entanto, o primeiro sucesso comercial só aconteceu em 1984 com o Apple Macintosh, baseado no seu reperiursor de 1983, o Apple Lisa, que também tinha sido baseado no sistema da Xerox, o *Alto*, do início da década de 70.

A chave do sucesso do produto da Xerox esteve na metodologia de desenvolvimento do sistema como um todo. O *Alto* foi construído a partir de um modelo conceptual que leva em conta o relacionamento entre o utilizador e o sistema. Este foi representado por um ambiente de trabalho semelhante ao de um escritório, que ficou conhecido como “*desktop metaphor*”, no qual se podiam encontrar documentos, pastas, arquivos, entre outras metáforas. Estes objectos, criam imagens mentais ao utilizador desencadeando um conjunto de relações familiares de forma a poder despoletar procedimentos e acções.

A nova dimensão das interfaces encontra-se na interactividade. A interacção com a interface provoca ao utilizador a sensação de proximidade, contacto directo e real com o ambiente representado.

O grande sucesso dos jogos de computador está em conseguir o efeito de ilusão no jogador, ao ponto de ele perder a noção de estar a agir sobre uma representação, mas sim sobre a própria realidade. O utilizador sente-se imerso na interface, experimenta um estado de ilusão, de magia.

Para que a interacção homem/computador se realize de uma maneira satisfatória, é necessária a existência de um canal de comunicação estruturado, entre o utilizador e a mensagem construída pelo responsável do desenho da interface. Esta mensagem deve ser construída recorrendo à utilização de signos, ou seja, sinais que facilitem a comunicação, como gráficos ou sons.

Os sistemas de sinais começaram a ser estudados a partir do século XX, por Peirce e Saussure, os quais deram origem a duas disciplinas dedicadas aos signos, que são a Semiótica de Peirce, que enfatiza a lógica da função denominada sinal, e a Semiologia de Saussure, que demonstra a sua função social. A importância dos estudos da semiótica para a interacção homem-máquina parece comprovada por recentes estudos como os de Peter Anderson sobre teoria de uma semiótica para os computadores [11].

3.1.2 Novos paradigmas das Interfaces

Um dispositivo que veio alterar a forma como se interagia com o computador foi o rato. Considerada uma interface física de entrada baseada numa metáfora servia como apontador. Este dispositivo foi inventado em 1968 por Douglas Engelbart no âmbito de um projecto de navegação *on-line* de conteúdos textuais ligados (entre si) por hiperligações assim nascia o hipertexto. O conceito das hiperligações foi mais tarde desenvolvido no Xerox PARC com a finalidade de incorporar uma interface gráfica que estava a ser experimentada, de que surgiria o conceito de hipermédia. O rato como dispositivo de interacção acabou por ser reabilitado e eleito como uma interface de excelência com o utilizador na navegação de conteúdos. Este projecto, desenvolvido no Xerox PARC na década de 70, acabava por criar o conceito de interface gráfica interactiva – WIMP. A primeira utilização comercial de uma interface gráfica foi com o computador Apple Lisa, mas o grande sucesso aconteceu com o ambiente gráfico do sistema do Macintosh no início da década de 80. A Microsoft e a IBM acabaram por, anos mais tarde, desenvolver interfaces gráficas para os seus sistemas operativos utilizando muitas das ideias desenvolvidas pela Apple na definição das especificações de acesso comum ao utilizador.

As interfaces gráficas actuais ainda reflectem as limitações que eram impostas pelo hardware e não acompanharam os últimos desenvolvimentos. São interfaces muito rectilíneas e a sua organização espacial é demasiado estruturada para ser natural.

Apesar das enormes vantagens na utilização de interfaces gráficas nos sistemas operativos, a sua evolução ficou como que congelada nos últimos 20 anos, não aparecendo nada de realmente novo, apenas se verificando algumas actualizações estéticas e funcionais.

Os sistemas operativos têm sido sucessivamente apresentados como uma verdadeira “montra” de efeitos visuais e é possível observar a preocupação estética nas interfaces do utilizador, com a generalização da utilização gráfica e efeitos animados em todas as ferramentas disponíveis pelo sistema. A própria inclusão de efeitos tridimensionais simulados num ambiente de trabalho bidimensional parece despertar um certo entusiasmo por parte dos principais sistemas operativos. No entanto, o conceito de interface gráfica continua muito semelhante ao desenvolvido pela Apple no início dos anos 80. As Interfaces gráficas para o sistema operativo Linux seguem a mesma tendência mas já se encontram um pouco mais desenvolvidas. Com a implementação de interfaces gráficas tridimensionais, através dos gestores de composição de janela (*compositing window managers*), como o Beryl e o Compiz recorrendo às arquitecturas AIGLX ou XGL, que permitem usar o OpenGL. Assim, é possível animar as interacções do utilizador com o ambiente de trabalho de uma forma muito dinâmica.

Estas novas interfaces gráficas demonstram grandes capacidades e os efeitos produzidos são interessantes, tornando o seu aspecto muito apelativo, sendo possível olhar para as janelas de uma outra perspectiva e visualizar as costas de janelas em outros ambientes de trabalho, mas questiona-se a sua funcionalidade e qual o verdadeiro objectivo que não o do simples embelezamento.

Da década de 50 até à década de 80, enquanto a computação se fazia principalmente em superfícies bidimensionais, a metáfora do rato e da janela eram dominantes. Na década de 90, investigadores como Hirosh Ishii do MIT [12] sugeriram uma mudança de paradigma das interfaces gráficas do utilizador (GUI) para interfaces tangíveis do utilizador (TUI) que inicialmente se designaram de *Graspable User Interface*.

As interfaces tangíveis caracterizam-se pela utilização dos dedos das mãos para manipular objectos e ferramentas físicas em que as suas propriedades são mapeadas a parâmetros de software. A ideia das interfaces tangíveis é a de usar as nossas capacidades naturais no manuseamento de objectos para interagir com a interface digital.

A simbiose entre a interface física e a informação digital caracteriza as interfaces tangíveis, promovendo uma interacção com um maior significado para o utilizador.

Com o advento da realidade virtual e o potencial da navegação tridimensional, abriram-se novas possibilidades. Apesar da ideia ter surgido em meados dos anos 60, foi a partir da

segunda metade da década de 80 que a metáfora de interface tridimensional ganhou terreno, e foi graças aos avanços tecnológicos e ao poder computacional, que na década de 90 se expandiu esta ideia.

Uma outra abordagem que começa a dar resultados no desenvolvimento de interfaces gráficas do utilizador é a utilização das dinâmicas da física nos ambientes de trabalho. O conceito de “digital physics” está presente na abordagem do projecto *BumpTop* [13] desenvolvido por Anand Agarwala na Universidade de Toronto em 2006. Este projecto reflecte o uso da metáfora da secretária real no universo virtual de forma a aproximar os comportamentos dos objectos e do ambiente de trabalho digital com os da realidade. As acções entre o utilizador e os objectos são produzidas de uma forma muito natural. O *BumpTop* explora os comportamentos dinâmicos físicos da realidade no ambiente de trabalho através da simulação dinâmica e da organização dos objectos no espaço num ambiente tridimensional. Os objectos podem ser empurrados e atirados no espaço, influenciados por características físicas como a massa e a fricção, tal como se fossem manipulados na realidade. Os ícones têm semelhanças com as propriedades do papel, podendo ser amontoados, dobrados, amarrotados ou afixados nas paredes para chamar a atenção. Para se manipular e consultar os amontoados de conteúdos, foram integradas várias técnicas inovadoras de navegação. O protótipo desenvolvido integra várias técnicas de interacção e visualização pensadas para o uso de uma interface física do tipo mesa digitalizadora.



Fig. 15 – Comparação do ambiente de trabalho do *BumpTop* (c) com o ambiente de trabalho real (b) e com um outro ambiente de um sistema operativo (a) [13].

Um aspecto negativo dos ambientes de trabalho actuais é que obrigam o utilizador a identificar e a organizar imediatamente os seus documentos numa hierarquia rígida, resultando num esforço adicional ao utilizador que por vezes tem de tratar informação não relevante.

Como forma de fazer face a este problema, Anand propõe uma abordagem diferente para a sua plataforma, com o intuito de alcançar uma organização mais natural. Através da colocação dos documentos em amontoados (pilhas de documentos), a ordem dos documentos apresenta-se de uma forma correspondente à cronológica. Desse modo o documento que se encontra por cima de todos será o mais recente tal como acontece na realidade. É possível também rodar documentos num amontoado de forma a destacá-los, abrir os amontoados como um baralho de cartas, podendo seleccionar vários documentos para operações como o apagar, consultar, mover ou ordenar. A forma de seleccionar múltiplos documentos faz-se através do desenho do contorno de uma forma fechada, semelhante à ferramenta de selecção (*lasso tool*) encontrada nas aplicações gráficas. Como este sistema foi desenvolvido para o uso de uma caneta, as acções são efectuadas com uma maior naturalidade e rapidez e, como a interface é sensível à pressão, abre novas possibilidades de interacção [14].



Fig. 16 – Organização e apresentação dos ícones do *BumpTop* [13].

A introdução das dinâmicas no ambiente de trabalho tem como objectivo uma interacção mais contínua e “analógica”, permitindo uma maior liberdade de organização e acção de forma a que cada utilizador possa usar a sua própria abordagem. As dinâmicas contemplam a colisão de objectos e respeitam a hierarquia de importância estabelecida pelo tamanho (massa) do objecto. Quer isto dizer que o utilizador pode dar relevo a um documento aumentando o seu tamanho (peso) e, se o atirar para outro sítio, ele irá empurrar todos os outros documentos de menor importância ficando sempre por cima. Por outro lado, é possível amarrotar um documento de forma a indicar que tem menos importância.

Esta abordagem demonstra uma mudança de paradigma no uso das interfaces gráficas e contribui para uma maior aproximação da máquina com o utilizador, facilitando as suas tarefas [13].

Mas não são apenas as interfaces digitais que estão a despertar para uma nova era de interacção entre o homem e a máquina. As interfaces físicas também estão a acompanhar esta necessidade de mudança, empurrada pelo desenvolvimento tecnológico. No entanto, as interfaces de interacção mais utilizadas continuam a ser o teclado e o rato, seguidas de interfaces complementares como *webcams* ou *gamepads*. Outras interfaces simplesmente não conseguiram conquistar o mercado, quer isso se deva ao seu elevado custo de produção, desempenho, dificuldade de implementação, compatibilidade ou acessibilidade. Interfaces como as luvas digitais, os capacetes virtuais ou os ecrãs sensíveis ao toque não tiveram o sucesso esperado. E a utilização de determinadas interfaces para interagir com os ambientes de trabalho ficam muito aquém do que era projectado, devido a problemas de implementação. Uma ideia de longa data é o caso da utilização do microfone como interface de controlo, através da captação de comandos de voz que permitam substituir o rato e o teclado. Apesar de serem dispositivos de custo reduzido com características muito interessantes do ponto de vista da acessibilidade, ainda não foram generalizados para estas funções. Actualmente, algumas funções relacionadas com a acessibilidade já estão implementadas nos sistemas operativos, embora sejam quase sempre utilizadas como recurso e não como uma verdadeira alternativa ao rato ou ao teclado. O mesmo acontece com o uso de *webcams* no reconhecimento gestual como forma de interacção com o sistema operativo.

Uma interface que tem ganho muitos adeptos e que tem vindo a ser desenvolvida há alguns anos a esta parte e adaptada às novas necessidades é a mesa digitalizadora (*tablet pc*) com caneta. A sua esfera de utilização é muito ampla, podendo responder a utilizações específicas como o desenho ou a escrita à mão, até uma utilização mais genérica como a do apontador. É utilizada para desempenhar várias funções em aplicações gráficas, de vídeo, animação, som e em aplicações tridimensionais. Esta interface apresenta-se em diferentes dimensões, podendo ser utilizada com várias ferramentas complementares, como a caneta, a mira, o aerógrafo ou o rato. A sensibilidade da mesa capta a pressão exercida pelo utilizador na ferramenta, provocando uma alteração no comportamento da aplicação, possibilitando uma maior expressão. Esta expressão pode estar associada ao traço no desenho, ou simplesmente à alteração das dimensões de plantas geradas em tempo real em ambientes tridimensionais.

Um projecto que expande o conceito das interfaces tangíveis é o *iSphere*, uma interface para modelação tridimensional desenvolvido por Chia-Hsun Lee, Yuchang Hu e Ted Selker [15]

do MIT. O *iSphere* é um dispositivo físico tridimensional de entrada dotado de 12 sensores de proximidade capacitivos (*capacitive sensing*) para operações de puxar e empurrar em 12 pontos de controlo.

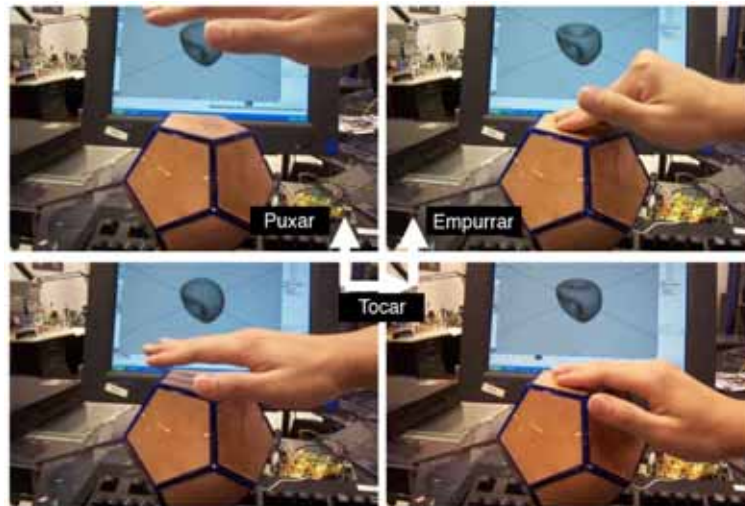


Fig. 17 – Interação com o *Isphere* [15].

Este duodecágono utiliza a metáfora espacial para mapear as acções da mão a comandos de modelação com o objectivo de melhorar o desempenho dos processos de modelação 3D. A partir desta abordagem, o modelador pode construir modelos 3D e desenvolver o seu esboço directamente com as mãos reduzindo a carga cognitiva da modulação tradicional, que obriga a um processo repetitivo de visualização-acção-visualização, envolvendo mais actividade mental no planeamento (como se vai fazer em vez do que se vai fazer). Através da interacção das mãos com um meio físico de referência, a modelação 3D passa a ser mais intuitiva.

Um outro projecto que aplica o conceito de interface tangível é o *Tangible Acoustic Interfaces (and their applications for the design of new musical instruments)* desenvolvido por Alain Crevoisier [16]. Esta investigação baseia-se na captação das perturbações dos padrões acústicos produzidos pelo contacto físico com objectos sólidos ou superfícies. Estas perturbações podem ser geradas pelo toque dos dedos nos pontos de contacto com um objecto e pela energia absorvida nos pontos de contacto proporcional à pressão exercida. A captação destes sinais é feita através de sensores de contacto (*piezo*) de baixo custo e microfones. Um dos objectivos desta investigação é o de potenciar o desenho de novos instrumentos musicais com características físicas e expressivas dos instrumentos clássicos.

A ideia desta tecnologia é a de possibilitar a transformação de qualquer objecto numa interface interactiva.

Interfaces tangíveis têm sido objecto de estudo por parte de muitos investigadores e empresas, embora a sua generalização dependa de muitos factores.

O baixo custo de determinados dispositivos, como os sensores, tem promovido os esforços que se têm efectuado no desenvolvimento de sistemas capazes de adoptar a habilidade das nossas mãos em manipular objectos reais no controlo de objectos digitais. O resultado desses esforços traduziu-se no desenvolvimento de vários dispositivos de interacção como os *touchpads* e as luvas digitais. Muitos métodos foram desenvolvidos para integrar estes dispositivos, mas apenas alguns se orientaram no controlo contínuo de múltiplos parâmetros, ou seja, vários pontos de interacção em tempo real. A possibilidade de construir interfaces capazes de capturar os gestos de forma a interagir com os sistemas tem vindo a emergir, utilizando técnicas de captura paralela síncrona de movimento com alto desempenho no grau de liberdade de movimento (DOF).

Superfícies digitalizadoras sensíveis ao contacto de múltiplos toques (*touchpad/tabletop*) foram propostas pela primeira vez por Lee, Buxton e Smith em 1985 [17]. Estas superfícies eram compostas por uma matriz de sensores de proximidade capacitivos, que proporcionavam uma detecção robusta do contacto dos dedos. A resolução da digitalização poderia ser melhorada através da interpolação da informação dos sensores vizinhos. A sensibilidade à pressão dos dedos também era possível através da monitorização da variação da carga eléctrica dos condensadores.

Para se constituir um condensador são necessários três elementos: duas placas condutoras e um meio dieléctrico. Um eléctrodo capacitivo é constituído por uma placa condutora, por uma superfície que constitui a segunda placa e pelo meio interno como dieléctrico. Um sensor de nível capacitivo mede o nível da pressão através da aplicação de um sinal de rádio frequência (RF), entre o eléctrodo capacitivo (haste) e a superfície. As ondas de RF induzem uma pequena quantidade de corrente de deslocamento. Quando o nível sofre alguma variação, a carga do conjunto (proporcional à leitura da capacidade) sofrerá também uma variação. Ou seja, a pressão dos dedos resulta na oscilação do parâmetro capacitivo do sensor.

DiamondTouch system é uma outra plataforma interactiva baseada no toque de superfícies desenvolvido por Dietz e Leigh [18]. A superfície digitalizadora composta por uma grelha de linhas e colunas de antenas que emitem ondas de RF e que induzem a corrente de deslocamento ao utilizador quando este toca na superfície, que por sua vez conduz essa corrente até aos receptores.

A grande vantagem deste sistema em relação a outros é que consegue diferenciar o utilizador que está a tocar na superfície visto que cada antena emite um sinal único. A desvantagem é o seu fraco desempenho em interpretar múltiplos pontos de contacto em simultâneo, pois o sistema utiliza uma divisão temporal do sinal, emitindo primeiro em linhas e depois em colunas, aumentando o risco de interpretações erradas.

Um projecto que desencadeou outras investigações e que impulsionou o mercado de hardware para novas apostas, devido ao seu elevado desempenho, foi o *smartskin touchpad*⁵, desenvolvido por Jun Rekimoto [19] do laboratório de interacção da Sony no Japão. Iniciado em 1999, este projecto consiste numa grelha de antenas transmissoras e receptoras. Quando o dedo se aproxima de um ponto de intercepção, a potência do sinal diminui. Através da medição desta variação, o sistema pode determinar a proximidade do dedo em relação à antena de recepção.

Esta arquitectura reconhece múltiplas posições das mãos e das suas formas. Em contraste com os sistemas de reconhecimento gestual baseados em câmaras, todos os elementos sensíveis podem estar integrados na mesma superfície, para além de que este método não sofre de perturbações da luminosidade ou oclusão.

Um utilizador com este sistema pode manipular, partilhar e transferir informação digital em situações não associadas directamente com os PCs. Para que o sistema funcione, a posição das mãos dos utilizadores tem de ser digitalizada e os gestos têm de ser reconhecidos pelo sistema.

Uma grande vantagem desta interface é que a sua superfície pode assumir qualquer forma: grande, pequena, rígida ou flexível. A interface gráfica pode ser projectada na superfície permitindo ao utilizador tocar e manipular os objectos directamente.

Neste projecto foram abordadas duas técnicas de interacção. A primeira mede a distância da posição bidimensional estimada, de forma a simular o comportamento do rato; a segunda técnica, que Rekimoto baptizou de “*shape-based manipulation*”, usa a variação da potência na área do sensor como variável de entrada, de forma a capturar posições tridimensionais e abrindo deste modo novas perspectivas de interacção.

O uso desta interface por vários utilizadores em simultâneo é também uma vantagem notável em relação às interfaces tradicionais, permitindo uma utilização partilhada ou colaborativa.

Surge um novo ciclo de interacção com os computadores, que consiste na produção de acções na interface digital através dos gestos do utilizador.

⁵ Mais informações em <http://www.sonyosl.co.jp/person/rekimoto/smartskin/>

No caso do *smartskin* foram estudadas três possibilidades de interagir com o sistema. A primeira, em que a manipulação é efectuada a partir de vários dedos associados a múltiplos pontos de controlo, poderá ser usada na manipulação de diagramas. O utilizador pode mover e rodar em simultâneo um pictograma numa superfície com dois dedos. Outro exemplo da utilização desta possibilidade é o da navegação com os dedos numa componente do tipo *scroll bar*. Neste caso, quanto mais dedos se juntarem à acção, maior será a velocidade aplicada. A segunda possibilidade é a de reconhecer a forma dos dedos ou das mãos como variáveis de entrada. Desta forma, o utilizador pode executar gestos que correspondam a acções no sistema, como por exemplo o abrir de um menu. A terceira abordagem é a da identificação e acompanhamento do movimento de objectos físicos que não sejam as mãos, através da ligação de um condutor à base do objecto, o sistema consegue identificá-lo, permitindo ao utilizador interagir com esse mesmo objecto.

As interacções baseadas na gesticulação das mãos oferecem múltiplas vantagens comparadas com as interfaces tradicionais baseadas no rato, especialmente quando é usada uma superfície interactiva física em conjugação com ambientes de trabalho baseados em dinâmicas.

O *smartskin* tem inspirado uma série de novas investigações e aplicações, especialmente em áreas que até há algum tempo estavam limitadas pelas interfaces existentes. Investigações na área do trabalho colaborativo têm ganho especial relevo com o uso de plataformas de interacção com tecnologias do tipo *tabletop* como o *smartskin* ou o *DiamondTouch*. É o caso da investigação “*Exploring the effects of group size and table size on interactions with tabletop shared-display groupware*” [20]. Um projecto baseado na utilização de plataformas deste tipo sobre o trabalho colaborativo é a aplicação *Coeno-Storyboard*⁶ [21] de 2005. Esta aplicação é baseada numa mesa de discussão desenhada para apresentações de esboços e *storyboards*. Os utilizadores reúnem-se à volta de uma mesa dotada com a tecnologia *tabletop* do tipo *smartskin* para debater ideias tal como acontece na realidade. O ambiente desenvolvido oferece uma experiência colaborativa que permite múltiplos participantes de diferentes domínios (designers, modeladores, gestores de projecto, etc.) interagir facilmente enquanto debatem, abstraindo-se da plataforma tecnológica como forma de focar apenas nos aspectos mais importantes e criativos.

Com esta aplicação, é possível transferir facilmente informação digital de um outro dispositivo para a mesa, de forma a garantir uma maior flexibilidade e compatibilidade.

⁶ Sítio oficial na internet - <http://www.coeno.org/cms/>

Paralelamente, os sistemas baseados em câmaras ou visão computacional (*Vision-based systems*) têm demonstrado resultados interessantes em diferentes áreas de intervenção, com especial relevo em instalações multimédia e em performances. No entanto, a aproximação dos dois conceitos de interface física tem produzido novas abordagens. Os sistemas baseados em câmaras podem ser classificados como sistemas “directos”, em que as câmaras apontam directamente para as mãos dos utilizadores. Ou sistemas “indirectos”, que são aqueles em que as câmaras apontam para uma superfície sensível ao toque (*touchpad*).

O *HoloWall* [22] é um exemplo de sistemas “indirectos”, desenvolvido por Rekimoto e Matsushita. É composto por um projector de infravermelhos e uma câmara equipada com filtros de infravermelhos. Sendo estes equipamentos são colocados por de trás de uma tela difusa. À medida que os objectos se aproximam da tela estes são iluminados pela luz infravermelha. A iluminação aumenta quando um objecto toca na tela difusa, permitindo ao sistema determinar as áreas de contacto através da imagem produzida pelos infravermelhos [23]. Um sistema semelhante e que se aproxima também da abordagem do *smartskin touchpad* em termos de interface do tipo *tabletop* foi apresentado publicamente em 2006 por Jeff Han [24]. Este projecto utiliza uma técnica simples, que permite de uma forma robusta detectar multi-toques com o mínimo esforço de engenharia e a um custo muito reduzido. Assenta na técnica FTIR (frustrated total internal reflection), uma técnica familiar à da comunidade biométrica que é utilizada para capturar uma imagem da impressão digital. A informação dos toques é capturada a uma alta resolução espacial e temporal e é escalável a grandes instalações. Jeff Han na apresentação pública do seu projecto nas conferências de tecnologia, entretenimento e design (TED Talks)⁷, refere que o mais importante não é a tecnologia inerente mas sim o que se pode fazer com ela, especialmente no desenho de novas interfaces e aplicações. Para este projecto foi desenvolvido um novo conceito de interface do utilizador, que consiste num ambiente minimal sem rato nem teclado. Aí, a interface não necessita de janelas nem apontadores. Tudo se faz com as mãos e com os gestos, desencadeando-se acções sobre os objectos e sobre o próprio ambiente. Jeff Han aponta para o facto da interface desaparecer como forma de uma nova linguagem de interacção tão familiar que nos abstraímos dela.

Os movimentos de rotação, translação e aproximação dos objectos ou do próprio ambiente de trabalho são efectuados através dos movimentos dos dedos, como se de um maestro se tratasse. É possível colocar um teclado virtual na interface do utilizador para escrever textos e dimensioná-lo de forma a que corresponda ao tamanho da mão do utilizador, melhorando

⁷ Apresentação publica de Jeff Han - <http://www.ted.com/index.php/talks/view/id/65>

assim a ergonomia e aumentando o seu conforto. Algumas outras aplicações demonstradas foram a navegação de mapas do género *NASA maps* e a animação de bonecos e formas bidimensionais em tempo real. Espera-se que este novo conceito de interface se generalize rapidamente, resultando no desenvolvimento de novas aplicações.

Em 2007 foi lançado para o mercado o *iPhone* da Apple, um dos primeiros dispositivos sensíveis compactos do tipo multi-toque a ser comercializado. O *iPhone* explora o conceito da interface gestual num equipamento de dimensões reduzidas. O *iPhone* utiliza apenas a informação de dois dedos para o reconhecimento das acções, permitindo ao utilizador navegar, seleccionar e manipular a informação digital disponível.

A Microsoft também já anunciou o lançamento para 2008 da sua plataforma *Surface*. O conceito do *Surface* é muito semelhante ao *smartskin touchpad* e à plataforma apresentada por Jeff Han. A Microsoft revela outras utilizações para esta nova interface, nomeadamente a sua utilização em hotéis para receber pedidos dos clientes e aceitar pagamentos, ou simplesmente a troca de informação entre os telemóveis e os computadores, bastando para isso pousar o telemóvel no *Surface*. A maior parte das outras funções apresentadas são semelhantes às da plataforma de Jeff Han.

O sucesso das apostas nestas interfaces físicas será avaliado em breve, embora estejam sempre dependentes do seu funcionamento em conjugação com a sua homóloga interface digital. Ainda assim, o interesse demonstrado por parte de grandes empresas como a Apple ou a Microsoft denuncia uma nova tendência e eventualmente uma nova era de interacção com o utilizador.

A utilização destas plataformas com os novos conceitos de interfaces digitais como o *Bump-Top* através da utilização de dinâmicas no ambiente de trabalho, poderá alterar os comportamentos dos utilizadores face aos computadores. O conceito de “digital physics” torna a interface mais intuitiva com comportamentos mais naturais.

Algumas das novas abordagens demonstram como os métodos multi-toque simplificam as tarefas que actualmente são efectuadas por interfaces de toque único, de forma a eliminar a necessidade de operações separadas como as de rotação, escalonamento e translação.

Estas técnicas também estão a lançar as bases de desenvolvimento e investigação de novos métodos que procuram estabelecer novas tarefas.

Esta mudança de paradigma está a abrir novas possibilidades ao desenvolvimento de aplicações, como as da animação interactiva em tempo real ou performativa, ou o trabalho colaborativo.

Uma empresa portuguesa que se apresenta como distribuidora de soluções tecnológicas especializadas no desenho de interfaces com o utilizador em variadas áreas é a Ydreams. Fundada no ano 2000, foi distinguida em 2005 por ser uma das empresas mais emergentes na Europa na área das telecomunicações. As suas áreas de intervenção vão desde os serviços de localização, à realidade aumentada ou aos sensores biométricos. O seu paradigma é o da computação real, procurando integrar o universo digital no mundo real através do desenvolvimento de interfaces capazes de possibilitar aos utilizadores interagirem com as tecnologias através do toque, das sensações, ou do movimento.

3.2 Arte, técnica, pedagogia e tecnologia

A utilização dos recursos digitais nas artes plásticas e no ensino tem sido cada vez mais abrangente [25]. Da mesma forma que se procuram desenvolver novas aplicações informáticas de apoio à produção artística, exploram-se novos caminhos no universo das tecnologias multimédia na produção de entretenimento e de novas ferramentas educativas [26].

A parceria entre cientistas, pedagogos, técnicos e artistas no estabelecimento de novas formas de comunicação e na produção de novos conteúdos acabam por determinar uma nova postura do artista e do professor face ao computador.

Convém lembrar que a relação entre a arte e a técnica no século XX foi marcada por contradições.

Sempre existiu uma visão redutora sobre ao emprego de uma técnica que permitisse igualmente expandir as possibilidades expressivas e artísticas.

Sem ter de abdicar de recursos tão expressivos, os artistas sentiam a necessidade de processos flexíveis condizentes com a dinâmica de uma sociedade que se pretendia produtiva.

O computador veio trazer a solução tecnológica, que possibilitou atender aos anseios da arte e da sociedade. Embora inicialmente tenha surgido como ferramenta específica das ciências exactas e de utilização restrita, acabou por se ajustar às necessidades globais da sociedade.

A criação visual através do uso do computador generalizou-se quando foram incorporados comportamentos que simulavam os procedimentos tradicionais de arte.

As abordagens às ferramentas tridimensionais apoiavam-se na tradição clássica da arte, como os esboços estruturais em arame, as primitivas clássicas, o conceito de camadas ou de fotograma.

Actualmente, os recursos tecnológicos permitem superar muitas produções realizadas no passado por cientistas e programadores que contavam com máquinas complexas. Fazer uso

de uma técnica não transforma ninguém em artista ou cientista. O objecto com que se pretende utilizar uma técnica pode determinar se está a fazer arte ou ciência.

A arte existe como subjectividade e apenas se manifesta plenamente quando exercida por alguém com talento e dotado com os devidos instrumentos. Uma pessoa assim capacitada está apta à comunicação da expressão estética. Apenas com essas condições se processa o equilíbrio (dinâmico) entre factores subjectivos (arte) e factores objectivos (técnica)

A educação do novo artista passa naturalmente pelo conhecimento dos conceitos que o qualificam para a operação técnica dos programas, afinal, a arte não existe sem técnica que a formalize, com decisivas consequências expressivas.

3.2.1 As tecnologias como novo paradigma na educação

Num momento em que a utilização dos computadores nos mais variados sectores de actividade tem desempenhado um papel fundamental, ainda persiste uma certa resistência à sua adopção nas salas de aula [27]. Apesar das novas tendências e orientações, a aplicação das novas tecnologias no ensino em geral tem vindo a ser efectuada de uma forma não sistemática e lenta, exceptuando todas aquelas disciplinas relacionadas com a informática. A própria tentativa por parte de entidades de dotar as escolas de condições tecnológicas, promovendo a sua utilização, não tem tido a melhor aceitação por parte de muitos docentes, colaboradores e responsáveis por instituições académicas. A disponibilização destes meios não é por si a solução para a sua adopção, é também necessário mudar mentalidades, formar e orientar o corpo docente na sua utilização e, acima de tudo, reestruturar o ensino para o novo paradigma da educação. A Internet é sem dúvida um poderoso meio de informação e conhecimento mas que sem a orientação devida, pode transformar-se num meio de alienação para os alunos [28].

A rápida evolução das tecnologias, tanto em termos de hardware como software, é uma questão pertinente e obriga os professores a uma constante actualização.

As aplicações informáticas como ferramentas de ensino também não são consensuais, especialmente porque ainda não foram definidos princípios fundamentais de um novo modelo de aprendizagem. Assim, torna-se difícil criar um sistema de avaliação global capaz de classificar as ferramentas de aprendizagem de base tecnológica.

Os computadores vieram despertar todo um universo relacional que estava adormecido e desactualizado e que necessita de ser dinamizado. Para que tal aconteça, tem de haver um empenho e determinação de todos os seus intervenientes.

Os contextos de aprendizagem escolar necessitam de ser reestruturados, de modo a poderem suportar uma actividade mais centrada no aluno, mais interactiva e que estimule a resolução de problemas de uma forma cooperativa.

Os estudos e as reflexões dos construtivistas sobre a Educação revelam que não existe o estereótipo do aluno. Pelo contrario, este possui ritmos individualizados de aprendizagem e que o conhecimento não se adquire pelo exterior, mas que se constrói interiormente através de interacções com o mundo e com os outros [29].

As dinâmicas sociais são mediadas por artefactos e por ferramentas, cultural e socialmente construídas, as quais podem possuir uma estrutura simbólica, como a linguagem, ou aplicações informáticas.

É, pois, essencial compreender estas tecnologias nos contextos de aprendizagem, bem como seu contributo para o desenvolvimento de competências e atitudes em geral, em diversas áreas específicas do saber.

O primeiro projecto que utilizava a tecnologia informática no contexto de aprendizagem, começou a ser desenvolvido na Universidade de Illinois, nos E.U.A., em 1959, sob a direcção de D. Bitzer, com o objectivo de desenvolver um sistema de ensino assistido por computador. Com a designação de *PLATO*, das iniciais de *Programmed Logic for Automatic Teaching Operations*, foi concebido por C. Sherwin. Este projecto envolveu a colaboração de especialistas de diversas áreas, tais como a Psicologia, Física, Informática e Ciências da Educação, tendo sido instalado em diversos países, em meados dos anos 70.

Em 1967, foi desenvolvido o TICCET (*Time-shared, Interactive, Computer-Controlled Educational Television*), no Institute of Computer Uses in Education, da Universidade Brigham Young, na América do norte. Um sistema de ensino assistido por computador que combinava os então recentes minicomputadores com a televisão e que mais tarde deu origem ao primeiro sistema de aprendizagem interactivo conhecido por TICCIT (*Time-shared, Interactive, Computer-Controlled, Information, Television*). Este sistema funcionava como um centro de aprendizagem e podia ser utilizado com 128 terminais em simultâneo. Foi concebido para o ensino do Inglês e Matemática do ensino básico, mas acabou por também ser adoptado no ensino de Inglês e Álgebra a nível universitário na América do norte.

A década de 70 é extremamente rica em novas ideias sobre a utilização dos computadores e a sua expansão a novas actividades, sobretudo as que vinham do centro de investigação de Palo Alto, o Xerox PARC. Um dos muitos projectos inovadores aí desenvolvidos foi o *Dynabook*, baseado na visão de computadores pessoais portáteis com recursos ilimitados que fossem acessíveis a todos, em especial às crianças. O grande obreiro desta ideia foi Alan

Kay, que antes de fazer parte do grupo de investigação da Xerox tinha desenvolvido o sistema de programação *Flex* na Universidade de Utah. *Flex* era um projecto de um computador pessoal flexível com gráficos simulados, baseado em ideias provenientes do *Simula* e do *Sketchpad*. O *Dynabook* nasce como extensão das investigações feitas no projecto *Flex* e foi baseado no pressuposto de um poder de processamento sem grandes limitações, uma autonomia ilimitada e com um ecrã sensível ao toque. Era um projecto visionário que incluía a reprodução de som e acesso a bases de dados através de ligações telefónicas.

Kay acreditava que os *Dynabooks* seriam de tal forma revolucionários que se podiam comparar ao aparecimento dos livros [30]. Ele vislumbrou uma infinidade de usos para estes dispositivos, em áreas muito diversificadas, desde a ferramenta de desenho para crianças no contexto escolar, ao armazenamento de informação para os médicos, à composição de música para compositores, à simulação dinâmica e animação gráfica para professores, à representação de objectos tridimensionais para arquitectos, até à criação de relatórios e planos de trabalho para os empresários. Para que todos pudessem beneficiar das suas potencialidades, os utilizadores teriam de ter algumas noções de programação. Mas as linguagens de programação existentes tinham sido projectadas para especialistas e não serviam as intenções de Kay para o *Dynabook*. Foi, por isso, prioritário desenvolver uma nova linguagem de programação capaz de ser integrada no *Dynabook*.

Foi a partir desta necessidade que se desenvolveu a linguagem de programação *Smalltalk*. Esta surge com um novo conceito, o de linguagem orientada aos objectos, que introduz novos paradigmas, especialmente a adopção de hierarquias e camadas promovendo uma computação dinâmica e de fácil utilização, possibilitando um uso genérico.

O projecto *Dynabook* foi abandonado mas as suas sementes iriam dar frutos passados muitos anos, tal como aconteceu com a maior parte dos projectos e investigações desenvolvidos no PARC.

O *Smalltalk* foi originalmente concebido como uma linguagem simples, apropriada ao uso por crianças sem qualquer conhecimento prévio de computadores. A escolha do nome da linguagem de programação reflecte essa intenção. Mais do que uma linguagem de programação, o *Smalltalk* passou a ser um ambiente completo de desenvolvimento de programas.

A década de 80 ficou marcada pela invenção da linguagem *LOGO* por S.Papert, através da qual as crianças com idades superiores a cinco anos podiam programar os computadores de forma a desenhar figuras geométricas. A linguagem *LOGO* apresentou uma nova abordagem à educação, abrindo as portas à utilização dos computadores por parte das crianças através de métodos que simplificavam e facilitavam o uso dos computadores [31]. A utilização de grá-

ficos foi um dos métodos que facilitou o uso dos computadores e, considerando o poder computacional disponível, foi uma grande inovação que prolongou a utilização do *LOGO* durante muito tempo. Este software educativo permitia às crianças desenvolver actividades educativas com o computador.

A linguagem *LOGO* e a *Smalltalk* influenciaram a produção de muitas aplicações de carácter educacional, mas não só. Alan Kay continua empenhado em desenvolver ambientes virtuais e ferramentas de apoio ao ensino, especialmente de crianças.

Na segunda metade da década de 90, é desenvolvida uma implementação do *Smalltalk*. O *Squeak* é uma plataforma aberta, altamente portátil e a sua máquina virtual foi programada em *Smalltalk*. Os elementos que constituíram a equipa de desenvolvimento estiveram ligados ao projecto do PARC dos anos 70, da Apple e da Disney, liderados por Alan Kay [32].

Existe actualmente um ambiente de autoria multimédia de carácter educativo desenvolvido em *Squeak* intitulado de “*Squeak Etoys, Children & Learning*” com características impressionantes. É um ambiente multi-plataforma, escalável, *open-source* e gratuito que permite a manipulação e visualização de gráficos 2D e 3D, imagens, textos, partículas, apresentações, páginas de Internet, vídeos, som e tecnologia midi, entre muitas outras características. Possibilita igualmente a partilha de ambientes de trabalho em tempo real de forma a criar um ambiente mais cooperativo.

Este ambiente proporciona uma série de ferramentas que se destinam à aprendizagem de determinados conceitos, à simulação e ao desenvolvimento das capacidades criativas. Um exemplo da utilização do *Squeak Etoys* é o da simulação do movimento de um carro, em que a criança pode desenhar um carro e atribuir comportamentos, através da programação orientada aos objectos. O utilizador começa por desenhar o chassi do carro, seguido das rodas que pertencem ao carro, posteriormente poderá desenhar um acelerador e um travão que estão relacionados com a velocidade do carro, finalmente poderá desenhar um volante e associar a rotação deste ao das rodas. O resultado é a simulação interactiva do comportamento de um carro, tudo isto podendo ser executado de uma forma muito simples e em tempo real, enquanto a simulação está a decorrer.

As teorias construtivistas, que assentam na premissa de que cada aluno constrói a sua perspectiva do mundo através das suas experiências individuais, defendem assim que os alunos constroem a sua própria realidade ou pelo menos interpretam-na baseados nas suas percepções das experiências e, portanto, o conhecimento individual é função das experiências tidas, das estruturas mentais e das crenças que são utilizadas para interpretar as coisas. Na década de 90, os avanços tecnológicos permitiram aos educadores orientarem-se para uma aborda-

gem construtivista; as ferramentas mais utilizadas foram o hipertexto e a hipermédia, as quais possibilitavam um ensino não linear, substituindo um ensino sequencial [33].

O balanço da utilização dos computadores no ensino revela-se inegavelmente positivo não apenas por ser um instrumento imprescindível a um ensino activo, baseado na descoberta progressiva do conhecimento pelo aluno e na autonomia maior do processo de aprendizagem, mas também porque, levantando novas questões e ressuscitando algumas questões antigas, relançou a discussão em torno de assuntos cruciais como as relações professor/aluno, aluno/aluno e o desenvolvimento das capacidades tanto do professor como do aluno. Um importante estudo para a utilização dos sistemas hipermédia na educação é o de Dias, Gomes e Correia [34].

Quaisquer que sejam as metodologias utilizadas, é, sem dúvida, da competência dos docentes proporcionar aos seus alunos experiências de aprendizagem atraentes e eficazes, actualizando, para isso, na medida do possível, os seus meios pedagógicos. Para tal, terão de estar à sua disposição meios técnicos de aprendizagem, que serão decerto usados de forma muito diferente. Os meios computacionais não devem substituir os modos de ensino tradicional, mas poderão ser um complemento ajustável às características específicas das várias situações educativas.

Assim, aplicações como a das marionetas virtuais poderão servir de complemento a abordagens mais empíricas e criativas na produção de narrativas, como forma de apoiar e incentivar o trabalho de equipa, ou simplesmente uma abordagem diferente da dos jogos de computador que as crianças bem conhecem, orientando-os para outro tipo de utilizações mais construtivas.

3.3 Animação tradicional e animação digital

Quando surgiu o filme animado, foi necessário formular regras artísticas próprias, conhecidas como princípios fundamentais da animação. Através das abordagens baseadas na observação de movimento resultaram conceitos básicos capazes de proporcionar uma encenação mais convincente. Nascia uma nova linguagem, a linguagem da animação.

O desenho animado foi rapidamente absorvido pela indústria de entretenimento que, no entanto, se deparou com um problema de desempenho produtivo, pois o desenho animado estava associado a um processo artesanal anacrónico, devido às etapas de desenho e pintura que seguiam os métodos tradicionais. O número elevado de desenhos necessários à realiza-

ção de um filme de animação constituía um entrave à produção desejada pela indústria, impedindo a difusão do potencial expressivo desta nova arte.

Procuravam-se novas técnicas e métodos para otimizar e automatizar as tarefas mais demoradas, sempre com a preocupação de manter o controlo dos elementos de sintaxe visual no processo manual.

Com a computação gráfica, esta tão desejada automatização de processos é alcançada e assiste-se a uma autêntica revolução nos métodos de produção.

Mas não seriam apenas os métodos de produção a transformar-se, a própria mentalidade relacionada com os computadores viria a mudar e gradualmente animadores tradicionais experimentavam e ajudam a desenvolver técnicas de animação digital.

3.3.1 Processos de animação tradicional

No processo de animação tradicional, foram desenvolvidas técnicas muito específicas para melhorar o desempenho. A divisão de tarefas foi, sem dúvida, uma contribuição muito especial. As equipas de animação eram formadas por animadores principais, e animadores secundários (intervalistas). O animador principal desenhava os fotogramas principais de cada plano, estes desenhos definiam a sequência, a localização e a expressão inicial e final da acção. Para além dos fotogramas principais era também necessário criar o ponto de passagem, normalmente o fotograma central. Todos os restantes fotogramas eram produzidos pelos intervalistas, libertando, assim, o animador principal. Este também contribuía com um mapa de referências das acelerações e abrandamentos que se traduzia numa linha horizontal cortada por pequenos segmentos de tamanhos e cores diferentes numerados.

O fotograma central definia o meio da acção e era considerado por muitos animadores como ponto crucial para toda a expressão. Outro aspecto importante era a necessidade do animador principal desenhar alguns fotogramas intermédios mais próximos dos fotogramas principais e centrais para garantir a expressão da animação.

Um fotograma principal é a forma de contar a história. É o desenho-chave, que revela o que se passa no plano.

A sequência da planificação para a animação partia do *storyboard* para os esboços, seguindo para o mapa de fotogramas principais, centrais e intermédios. Todos estes elementos eram posteriormente introduzidos num mapa de exposições ou guião de animação.



Fig. 18 – *Storyboard* desenhado e storyboard final do filme “História de um Caramelo” dos estúdios Animago.



Fig. 19 – Guião e storyboard final do filme “História de um Caramelo”⁸.

3.3.2 Princípios e conceitos de animação

Um aspecto muito importante na animação está relacionado com os conceitos de espaço e tempo. Para demonstrar estes e outros conceitos na animação, é usual fazerem-se analogias com o movimento físico real, é que através da observação do mundo que nos rodeia é possível constatar características fundamentais para a descrição de acções. As considerações de determinados conceitos físicos por parte dos animadores são feitas de uma forma muito empírica, procurando focar especialmente no campo sensorial e na percepção humana, pois a ilusão é fundamental na animação. O exemplo de uma bola a saltar é um exemplo recorrente na animação, em que o tempo é definido por todas as vezes que a bola toca no chão e o espaço relacionado com a trajectória de deslocação.

⁸ Sítio oficial do filme “História de um Caramelo” – <http://www.grifu.com/caramelo>

A importância do espaço e do tempo na animação reflecte-se nos movimentos de aceleração e abrandamento, nas características dos objectos como o peso e a dimensão ou mesmo na personalidade da acção, podendo ser caótica ou divertida.

A utilização da câmara como ferramenta e registo de animação utiliza o espaço e o tempo como variáveis na produção de comportamentos na animação. A animação é arte do tempo.

Os estúdios da Walt Disney foram responsáveis por formalizar alguns princípios básicos da animação clássica. Estes princípios não estão ligados a nenhuma técnica de animação específica, mas estão ligados directamente aos processos cerebrais de percepção do movimento na relação espaço/tempo [35].

Talvez o princípio mais importante de todos seja o *timing*. Este princípio reflecte a dinâmica do movimento real transposta para a animação. Através da utilização deste princípio é possível dotar objectos/personagens de expressões como: leve, pesado, triste, feliz, agitado, ou relaxado.

O princípio da aceleração / desaceleração ilustra que na realidade praticamente nada pára abruptamente, nem inicia o seu movimento em velocidade cruzeiro. Os comportamentos dinâmicos explicados na física são adoptados para a animação, mas nem sempre utilizados como na realidade. É exemplo disso o movimento de paragem abrupta, muito utilizada nos desenhos animados como forma de caricatura ou exagero.

Os movimentos naturais tendem a formar arcos. O movimento de um objecto lançado ao ar descreve um arco, tal como o movimento natural do corpo humano que nas articulações descreve uma série de arcos.

O exagero é sem dúvida alguma o coração da animação e da sua aparência *cartoon*. Este princípio ajuda a uma rápida compreensão do movimento, sintetizando movimentos reais que por vezes são complexos e de difícil percepção.

A antecipação serve para dramatizar a animação e criar tensão. Funciona também como auxiliar de percepção do espectador, ajudando-o a compreender a animação, ficando expectante e alertado.

O princípio da deformação é fundamental e caracteriza-se por esticar ou comprimir as formas. A distorção de personagens ou objectos acentua o movimento.

Estes e outros princípios servem como orientação e como sensibilização para a observação da realidade como fonte de inspiração. O mais importante para o animador é saber contar uma história ou conseguir expressar algo.

3.3.3 Estúdios de animação

Em 1937, a Disney iniciou uma nova forma de entretenimento com o lançamento do filme *A Branca de Neve e os Sete Anões*. A Disney foi quem mais contribuiu para o desenvolvimento, produção e distribuição de filmes de animação como *A Bela e o Monstro* ou *O Rei Leão*. As próprias histórias e personagens criadas pelos seus artistas contribuíram para uma mitologia moderna.

A longa-metragem *Tron*, de 1982, foi a primeira grande demonstração da emergência da arte como produto do emprego da computação gráfica, que acabou por se tornar um fracasso enquanto obra cinematográfica. Filme escrito e dirigido por um animador tradicional, Steve Lisberger e produzido pelos Estúdios da Disney, acabou por falhar nos aspectos mais tradicionais, como a história e as personagens, mas não propriamente pela primorosa utilização da computação gráfica, acabou por não ter argumentos para convencer o público e a crítica que o desprezou.

Mas passados alguns anos, a Disney obteve um enorme sucesso com a produção de *Quem Tramou Roger Rabbit*, de Robert Zemeckis e Richard William. Um filme inovador com uma grande imaginação na confluência entre o mundo real e o mundo desenhado. A partir de meados dos anos 80, surgem as primeiras curtas-metragens de animação digital. Em 1984, é criado o embrião dos estúdios de animação digital da Pixar, quando John Lasseter, animador dissidente da Disney, se junta à equipa de efeitos especiais por computador do realizador George Lucas e que Steve Jobs, fundador da Apple Macintosh, acabaria por comprar, oficializando o seu nascimento.

Depois de John Lasseter produzir a sua primeira curta-metragem de animação digital *Andre and Wally B.*, a Pixar, inicia em 1987, a produção de várias curtas-metragens que se tornariam uma referência para o universo da animação digital.

Para além dos filmes de animação, a Pixar iniciava o desenvolvimento de software especializado de apoio à animação e visualização tridimensional que serviu de plataforma para a produção de muitos filmes. Um software que se destaca é o *Marionette*, uma aplicação de animação de personagens e que foi desenvolvido pela Pixar para que os animadores tradicionais fizessem uma rápida transição para as ferramentas digitais e assim se tornassem rapidamente produtivos.

Em 1995, assiste-se ao lançamento da primeira longa-metragem de animação, *Toy Story*, o seu enorme impacto nas salas de cinema vem viabilizar o cinema de animação digital.

A partir deste momento, a Disney aproxima-se da Pixar através de um acordo de produção de vários filmes, nomeadamente *Bug's Life*, *Toy Story 2*, *Monster's Inc*, *Finding Nemo*, *Cars*, etc.

Ambas as empresas são líderes no mercado da animação tradicional e digital.

Em termos tecnológicos, a Pixar é responsável pelo desenho de ferramentas muito importantes para o desenvolvimento de filmes de animação. A Pixar acredita que a sua tecnologia proprietária permite aos animadores o controlo preciso da animação de personagens, facilitando a viabilidade de grandes projectos de animação.

Continua, assim, a investir no desenvolvimento de novas tecnologias que aumentem as capacidades dos criativos e técnicos na produção de filmes de animação. O facto de poderem aumentar a qualidade e a produtividade faz com que esta empresa se mantenha na vanguarda do cinema de animação e que seja considerada um símbolo disso mesmo.

3.3.4 Filmes de animação digital

Toy Story foi a primeira longa-metragem de animação a ser criada recorrendo apenas ao computador na sua produção, mas para a sua preparação foram utilizados os processos tradicionais de desenho, ilustração, fotografia e escultura.

Como fio condutor dos processos encontra-se o *storyboard*, uma planificação feita em folhas com várias vinhetas ilustradas, contendo a acção, os diálogos e todo o tipo de notas de realização, montagem e sonoplastia, permitindo uma antevisão do filme.

Para a preparação das personagens tridimensionais, são elaborados esboços e desenhos das várias partes do corpo em separado e em diferentes perspectivas, como maquetas para escultores e modeladores.

Os animadores utilizam formas simplificadas de visualização destes modelos, através da utilização dos modelos em rede de linhas e visualização de baixa qualidade para poderem trabalhar com o factor temporal.

Shrek, um filme dos mais ricos em termos visuais, produzido pela DreamWorks SKG. Foram necessários três anos e cerca de 275 artistas, animadores digitais, programadores e engenheiros para ser completado.

Foram criadas personagens com comportamentos humanos realistas, com um grande detalhe no cabelo, pele e roupa, além de que foram produzidos ambientes orgânicos naturais e vários tipos de fluídos e pirotecnia.

Mas de todos os detalhes que se podem encontrar neste filme, aquilo que o marca em termos artísticos e técnicos é sem dúvida a criação de personagens realísticas mais estilizadas. A produtora desenvolveu um sistema complexo de animação facial, que contempla um sem número de variáveis, desde o osso e movimento dos músculos à reacção da luz da pele natural. As expressões das personagens foram trabalhadas com grande pormenor, recorrendo a ferramentas específicas chamadas de “*Shapers*”.

3.3.5 Técnicas de animação digital

Uma das técnicas mais populares de animação digital é o *keyframing*. Esta técnica deriva directamente da animação tradicional e é caracterizada pela definição dos parâmetros de animação nos fotogramas principais (*keyframes*). A animação é produzida pela interpolação de movimento entre esses mesmos fotogramas. Ou seja, o utilizador especifica um conjunto de posições-chave para os objectos a animar, nomeadamente nos fotogramas principais, e o computador gera os fotogramas intermédios, através da interpolação de movimento dessas posições. Os parâmetros de animação podem estar associados a movimentos simples de translação ou rotação dos objectos, ou a alterações complexas da forma do objecto, efeitos de transparência em texturas, intensidades de luminosidade das luzes e muitas outras possibilidades disponibilizadas pelas aplicações de animação. A interpolação do movimento pode ser efectuada de uma forma linear ou através de curvas de aceleração. Apesar desta técnica facilitar o trabalho do animador, o número elevado de parâmetros a animar pode tornar-se desencorajador. Para superar o problema do número elevado de parâmetros a animar, surge a cinemática directa (*forward kinematics*). Esta consiste na configuração da posição final do modelo, através da especificação dos ângulos das articulações.

A cinemática directa é composta por uma estrutura hierárquica, na qual cada objecto é identificado com um nível de importância, fazendo com que todos os demais objectos de nível inferior na hierarquia acompanhem as suas alterações de comportamento de translação, rotação ou dimensão. A cinemática inversa é caracterizada pela inversão da hierarquia da cinemática directa. Assim, os objectos de menor nível hierárquico actuam como sendo os de maior nível, controlando os elementos de nível superior. Estas duas técnicas são muito utilizadas na animação dos esqueletos que servem de estrutura às personagens. No entanto, conseguem-se melhores resultados na animação de personagens com a cinemática inversa, nomeadamente na animação de um braço, em que o animador apenas tem de mover a mão para que toda a estrutura do braço acompanhe o movimento. Para uma boa animação de

esqueletos, é essencial impor restrições nas articulações de forma a impedir movimentos irrealistas.

Para além destas técnicas, existem outros métodos para produzir animação digital, nomeadamente algoritmos programados para desempenhar movimentos específicos. Estes algoritmos são designados de métodos por procedimentos, isto porque o computador segue de uma forma sequencial os passos que se encontram no algoritmo. Estes métodos possuem a vantagem sobre o *keyframing* de gerar acções similares e simular sistemas complexos, tais como sistemas de partículas, que são extremamente difíceis de reproduzir à mão. A simulação é produzida com referência às leis da física. O movimento simulado é inerentemente realístico, tornando-se uma grande vantagem em determinadas aplicações, tais como na simulação de cabelos, tecidos, pirotecnia e fluidos, ou na animação dos fios de uma marioneta.

3.4 Animação interactiva em tempo real

3.4.1 Animação performativa

A animação performativa em tempo real tem sido estudada e desenvolvida com base em interfaces físicas de interacção, como as luvas digitais que permitem animações simples. Através das marionetas virtuais ou digitais é possível produzir animações mais complexas [36]. Estas são suportadas por dispositivos com vários controlos que são mapeados às várias articulações da personagem. O mapeamento por vezes é arbitrário e pode requerer muita prática por parte do manipulador, por isso se explica a utilização de sistemas de captura de movimento, que usam um mapeamento mais natural entre o movimento do actor e da personagem. No entanto, estes movimentos reais capturados e tratados estão ainda limitados à utilização em personagens virtuais com comportamentos realísticos, sendo muito difícil de adaptar à animação do tipo *cartoon*.

As interfaces sensíveis ao toque, especialmente as plataformas de múltiplo toque, também têm sido utilizadas no desenvolvimento da animação performativa em tempo real. Estas interfaces permitem uma interacção mais completa e natural, possibilitando um elevado grau de liberdade de movimento. No entanto, ainda não foram adoptados estes sistemas para a animação tridimensional.

O fundamento de uma interface é o da comunicação, sendo a comunicação fundamental no relacionamento humano. Seja através de palavras ou expressões corporais e faciais, o Homem sente uma necessidade de comunicar e passa muito tempo a fazê-lo. Se algumas ideias são mais fáceis de expressar a partir das palavras, outras são mais fáceis recorrendo às

expressões. A gesticulação também ajuda a exprimir melhor as ideias. Se a comunicação humana é composta por múltiplas formas que combinadas resultam numa exposição de ideias natural, a comunicação digital ainda não partilha desta naturalidade, estando muito limitada ao uso estático do texto e da imagem. A animação digital que poderá ser uma forma mais natural e dinâmica de transmitir ideias ainda se depara com constrangimentos de várias ordens. A dificuldade em produzir animações recai sobretudo no elevado número de parâmetros necessários para descrever o movimento.

Apesar do rápido desenvolvimento de novas técnicas e aplicações, produzir uma animação por computador ainda requer muito tempo, paciência e conhecimento. Os processos tradicionais de animação eram, até há algum tempo, tidos como essenciais para produzir animação de alta qualidade e a animação digital era considerada um parente pobre da animação tradicional. Apesar dessa perspectiva ter sido alterada, a animação digital ainda não está acessível a utilizadores menos experientes e mesmo os profissionais deparam-se com inúmeros problemas em rapidamente esboçar as suas ideias.

A animação em *stop-motion* de modelos em barro, ou plasticina é uma técnica bastante simples, que permite mesmo a animadores inexperientes resultados interessantes. Através da manipulação directa com as mãos para modificar e deformar o barro o animador consegue controlar múltiplos parâmetros em simultâneo. Em contraste, os animadores tradicionais necessitam de redesenhar a personagem em cada fotograma, enquanto os animadores por computador apenas podem controlar um ou dois parâmetros em simultâneo. No entanto, não é fácil controlar o tempo de movimento na animação (*timing*) com modelos de barro, havendo necessidade de compreender o conceito temporal associado à sequência de fotografias.

Para se comunicarem, as pessoas usam os gestos naturalmente, com um *timing* próprio de forma a expor as suas ideias [37]. Foram propostas várias técnicas de animação performativa como simplificação dos processos de animação, mas geralmente são limitadas ao controlo de apenas um ponto de cada vez, obrigando o utilizador a gravar e sincronizar várias camadas de animação de forma a controlar vários parâmetros de animação. Uma nova técnica [38] apresentada como solução para esta limitação assenta na utilização das novas interfaces como o *smartskin*. É uma técnica de animação performativa que permite aos utilizadores manipularem os desenhos como se fossem objectos de borracha. Ao utilizarem vários dedos para controlar as personagens com vários graus de liberdade (DOF), os animadores, mesmo os inexperientes, podem criar animações expressivas em tempo real. O método de deformação de objectos desenvolvido neste projecto tem outras utilizações para além da animação performativa. Os animadores recorrem muitas vezes ao uso da cor plana nas personagens

como forma de eliminar padrões e outras decorações que possam dar mais trabalho no desenho de vários fotogramas, tornando-se um processo muito demorado. Como com este método as deformações no interior da forma são bastante plausíveis, este pode ajudar a reduzir a necessidade de redesenhar as decorações.

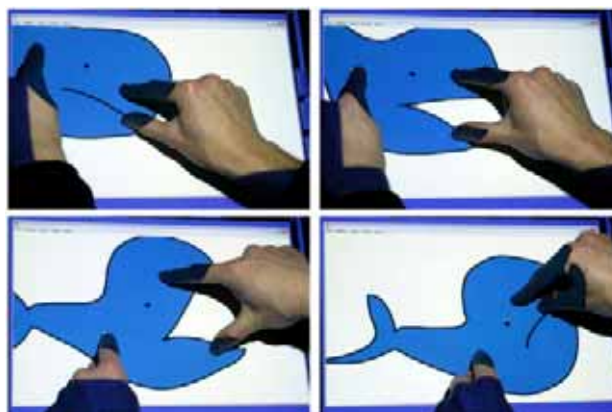


Fig. 20 – Animação bidimensional em tempo real através da utilização da interface *smartskin* implementada no projecto *As-Rigid-As-Possible Shape Manipulation* [37].

Este sistema apresenta-se como uma mesa de luz de animação, em que o animador interage através do toque dos dedos. Ao tocar num ponto da personagem, o animador fixa esse mesmo ponto ao dedo da mão, permitindo dobrar e esticar a personagem mantendo esse mesmo ponto fixo. Como a interacção é semelhante à interacção com objectos reais, o utilizador adapta-se rapidamente ao conceito. Os resultados deste projecto demonstraram que os utilizadores que experimentaram este sistema produziram de imediato animações simples [37]. Este sistema não impõe restrições à forma como o utilizador move os desenhos e assim, é promovida a exploração de diferentes tipos de manipulação relacionados com cada desenho e a sua consequente animação. Este sistema permite também o trabalho em conjunto de forma a criar animações mais complexas, em que cada um pode coordenar partes diferentes do desenho. Enquanto que os animadores inexperientes ao utilizarem técnicas de animação tradicional tendem a produzir movimentos mais parados ou robotizados, com este sistema podem produzir movimentos mais ricos e credíveis, pois a animação capta as nuances e as imperfeições do movimento das mãos. As animações produzidas podem ser simples, mas preservam o poder expressivo dos gestos das mãos e da linguagem corporal. O sistema consiste num projector digital montado por cima de uma plataforma *smartskin touchpad*. As

imagens são projectadas para o *touchpad* para que sejam correspondidas as coordenadas de interacção com as da projecção.

Os movimentos dos dedos são capturados e são-lhe aplicados algoritmos de simplificação e correcção de erro. As formas dos desenhos são constituídas por malhas triangulares que representam o estado de repouso do desenho. Os pontos em que o utilizador toca no desenho funcionam como articulações para o algoritmo de deformação da malha bidimensional. Este algoritmo tenta manter a rigidez local da malha condicionada pelas articulações. O efeito do movimento nos pontos de articulação é global e instantâneo, podendo pequenas alterações afectar o comportamento de todo o modelo. O objecto é deformado como se fosse feito de um material do tipo da borracha, produzindo efeitos mais previsíveis e de fácil controlo.

3.4.2 Articulação de personagens

A articulação de personagens em tempo real tem sido desenvolvida essencialmente para a indústria do cinema e do entretenimento. A técnica mais utilizada actualmente nas grandes produções é a da captura de movimento, que permite rentabilizar o tempo de produção. No entanto, a técnica da captura de movimento pode trazer inconvenientes, como uma animação demasiado realista na produção de desenhos animados e a impossibilidade de criar animações interactivas em tempo real para jogos, obrigando ao registo das animações para posterior interacção. Estas indústrias têm investido na procura de novas técnicas de animação em tempo real para personagens articuladas que possibilitem um maior controlo da personagem ao animador e que ofereçam ao jogador um nível superior de interacção. É neste sentido que o papel dos motores de dinâmicas em tempo real têm vindo a ganhar relevo. Através da sua utilização é possível simular a realidade de movimento, mas a partir da alteração de parâmetros esta realidade pode ser bem diferente da que conhecemos, podendo assumir características mais do tipo *cartoon*. Mas só com os últimos avanços tecnológicos no hardware dos computadores é que foi possível disponibilizar estes motores para inclusão em ferramentas de trabalho ou em motores de jogos.

A indústria do entretenimento tem acompanhado estes desenvolvimentos promovendo-os e divulgando-os através de publicações e das conferências anuais de desenvolvimento de jogos [39].

Os desenvolvimentos do hardware têm disponibilizado grandes capacidades para a criação de jogos de computador que têm excedido as expectativas das produtoras de jogos que, assim, têm vindo a interessar-se cada vez mais por técnicas de animação capazes de gerar

movimento natural em personagens complexas. Estas personagens deverão responder realisticamente ao controlo imprevisível do utilizador e interagir com os ambientes de uma forma credível, requisitos que não eram alcançados pelas abordagens da animação tradicional e pela captura de movimento.

As produtoras começam a orientar-se para o universo das dinâmicas em tempo real como plataforma de substituição de alguma animação por fotograma (*keyframe animation*). Até há muito pouco tempo, o universo da animação baseada na física em personagens não era considerado possível em tempo real, mas com hardware mais rápido e melhores algoritmos começou-se a admitir essa possibilidade. Aliás, actualmente é muito comum utilizar dinâmicas em tempo real para partículas, roupa, corpos rígidos e flexíveis. Estas técnicas estão a tornar-se cada vez mais populares e a sua utilização expande-se especialmente pelo baixo custo das licenças de utilização de motores eficientes de dinâmicas, que se replicam a um ritmo elevado.

A próxima etapa no desenvolvimento de jogos de computador é o de utilizar a física para melhorar o realismo de acção de personagens articuladas. Depois de se debaterem com o desenvolvimento do movimento de acção secundária, os programadores estão a orientar-se para a animação do movimento completo do corpo de forma a melhorar a encenação, como por exemplo a dramatização de uma cena de morte, ou da colisão entre futebolistas, a reacção a pontapés e a murros.

O desempenho dos computadores irá potenciar cada vez mais um maior investimento na utilização de dinâmicas na animação de personagens em tempo real para jogos de computador. Existem várias questões ainda em aberto que necessitam de ser resolvidas, especialmente no que diz respeito à integração dos algoritmos físicos com o restante sistema de animação nos motores de jogos. Outra área que precisa de ser melhorada é a do desenho de controladores dinâmicos de alto nível capazes de permitir às personagens tarefas autónomas. Mesmo a produção de tarefas muito simples como o de simular o caminhar sobre uma linha a direito pode ser muito difícil de alcançar.

3.5 Captura de movimento

A análise do movimento humano pode ser aplicável na área da comunicação visual e na realidade virtual. A sua ampla utilização abrange as várias áreas do entretenimento, interfaces homem-máquina, robótica, ergonomia, simulação de acidentes com manequins, biomecânica, análise médica, desempenho desportivo, animação digital e animação performativa.

As técnicas de reconhecimento do movimento de objectos em ambiente real, para processamento e análise posterior (*off-line*) ou imediata (*on-line*), são designadas como captura de movimento (*motion capture*). A informação capturada resulta do posicionamento e orientação de corpos no espaço num determinado momento. Esta informação é por sua vez tratada e mapeada a objectos ou personagens virtuais que adquirem essas propriedades de movimento. A utilização do método de captura de movimento na produção de animação tem cada vez mais adeptos. Isto deve-se ao facto de que com este método se conseguem movimentos altamente realistas com todos os detalhes e especificidades particulares do actor. Estes sistemas não são particulares da animação digital, nem sequer foram desenvolvidos com esse fim. Inicialmente com o nome de *photogrametric* surgiu como ferramenta de análise biomecânica, evoluindo para os sistemas de captura de movimento em uso militar e mais tarde em aplicações médicas, como a análise do movimento do caminhar para o desenvolvimento de próteses. A técnica que levou à adopção da captura de movimento por parte da animação digital foi a da rotoscopia (*rotoscoping*). Esta técnica foi utilizada pela primeira vez nos estúdios da Disney, consistindo em desenhar o movimento de personagens animadas sobre imagens de actores reais a representar um dado movimento. Esta técnica surge com a necessidade de atribuir movimentos mais realistas às personagens dos desenhos animados. A captura de movimento surge na animação como uma extensão da técnica de rotoscopia, actualmente designada como sistemas computadorizados de captura de posição e forma de objectos no espaço.

O software de captura de movimento regista posições, ângulos, velocidades e impulsos fornecendo uma representação detalhada do movimento.

Podem-se classificar os sistemas de captura de movimento quanto à sua tecnologia, à fonte emissora (sensores/marcas) e quanto à aquisição da informação.

Um dos problemas da captura de movimento prende-se com a quantidade de informação desestruturada para manipular. A especificidade da informação obtida torna-a muito difícil de alterar, especialmente quando não é possível distinguir a informação essencial de potenciais detalhes irrelevantes. Os novos desenvolvimentos e métodos melhorados de edição e processamento da informação capturada permitiram que estes sistemas se tornassem viáveis como ferramentas de animação.

Outro problema na captura de movimento tem sido o desafio constante na aquisição de movimento. Enquanto que as investigações na utilização da informação capturada têm alcançado resultados a um bom ritmo, as técnicas de captura têm evoluído lentamente. São neces-

sárias tecnologias específicas, baseadas em sensores mecânicos ou magnéticos, ou em câmaras especialmente desenhadas, para capturar o movimento.

Enquanto que estes sistemas têm sido melhorados em termos de fiabilidade, precisão e alcance, ainda se encontram muito dispendiosos. Isto relega a utilização dos sistemas de captura de movimento a estúdios dedicados com ambientes específicos à produção.

As tecnologias utilizadas pelos sistemas de captura de movimento estão divididas em sistemas mecânicos, electromagnéticos, acústicos, ópticos e sistemas inerciais [40].

3.5.1 Sistemas Mecânicos

Os sistemas mecânicos são constituídos por sensores que são colocados nas articulações desejadas responsáveis por capturar a amplitude dos movimentos. Estes fornecem a informação sobre as coordenadas das posições e orientações com altas taxas de amostragem. Muitas vezes apresentam-se como uma estrutura de esqueleto, que pode ser vestida como um fato. Os sistemas mecânicos não recorrem a uma tecnologia muito sofisticada, porém possuem algumas vantagens que os tornam extremamente atraentes, especialmente para a indústria cinematográfica.

Os sistemas mecânicos são equipamentos de medida absoluta, e apresentam uma grande vantagem em relação a outros sistemas, nomeadamente o facto de não serem afectados por campos magnéticos ou reflexões indesejadas. Consequentemente, não necessitam de um longo processo de calibração, o que torna a sua utilização mais fácil e produtiva. No entanto, é sempre necessário calibrar o sistema antes da sua utilização, isto porque a posição absoluta do actor não é conhecida, mas sim calculada a partir da rotação das articulações. *The Monkey – Digital Poseable Mannequin* e *Animatton* são alguns exemplos de sistemas mecânicos. O primeiro exemplo pode ser considerado como um *stop-motion* assistido por computador, uma espécie de marioneta mecânica. Neste sistema, o “manequim” pode assumir qualquer forma. Um esqueleto articulado constituído por sensores é fixado no modelo, fornecendo os valores relativos às posições e às orientações. *The Monkey* é o sistema mais indicado para produzir desenhos animados e assemelha-se à animação de bonecos articulados tradicional. No entanto, como acontece na animação do tipo *stop-motion*, a qualidade da animação depende exclusivamente da habilidade do animador em posicionar cada articulação do modelo correctamente, num processo que requer um domínio da técnica e talento.

Os dados obtidos da captura traduzem-se em *keyframes* de animação para posterior tratamento e interpolação.

Uma outra tecnologia de sistema mecânico de captura foi desenvolvida pela Analagus, com o sistema Animatton. Este sistema, desenvolvido exclusivamente para a captura de movimentos humanos, é composto por articulações e sensores que são fixados directamente no corpo do actor, assemelhando-se a uma “armadura”. Com o Animatton a captura é efectuada em tempo real e o sistema não necessita de grande calibração. Além disso, permite a captura de movimento de múltiplos actores em simultâneo. Existem actualmente sistemas mecânicos sem fios, mas têm algumas restrições e limitações.

Por outro lado, os sistemas de captura magnéticos caracterizam-se pelo desempenho de processamento dos dados capturados. Estes sistemas calculam a posição e a orientação pelo fluxo magnético relativo de três bobines ortogonais em cada transmissor e receptor. A intensidade relativa da tensão ou da corrente das três bobines permite que estes sistemas calculem meticulosamente a escala e a orientação. Como os sensores de saída permitem 6 graus de liberdade, podem ser alcançados resultados satisfatórios com um número diminuto de sensores, por exemplo, um no antebraço e outro no braço para se conseguir a posição e o ângulo do cotovelo. Estes sistemas são susceptíveis a interferências eléctricas e magnéticas de objectos metálicos nas imediações. A tecnologia destes sistemas é menos sofisticada e os preços são mais acessíveis do que os sistemas ópticos. Existem sistemas magnéticos simples como o InsideTrak da Polhemus e sofisticados como o Flock of Birds da Ascension. O custo deste tipo de sistema depende basicamente do número de receptores. As grandes vantagens dos sistemas magnéticos são o baixo custo computacional e dos equipamentos e a grande precisão, não sofrendo de problemas de oclusão dos receptores. Com uma taxa de amostragem na ordem dos 100 fotogramas por segundo, os sistemas magnéticos são ideais para a captura de movimento simples.

A grande desvantagem deste tipo de equipamentos é dos diversos fios que ligam os receptores. Estes restringem o movimento do actor, impedindo-o de representar com naturalidade, especialmente os movimentos mais complexos e rápidos. No entanto, também já foram desenvolvidos sistemas magnéticos sem fios.

3.5.2 Sistemas Acústicos

Os sistemas acústicos são constituídos por um conjunto de emissores acústicos que são colocados nas principais articulações do actor. São posicionados no local de captura três receptores sensíveis ao ruído. Os emissores são accionados sequencialmente para produzir um ruído característico; este sinal sonoro é único e identifica o sensor. Estes sinais são captados pelos

receptores e servem para calcular a posições dos emissores no espaço. O cálculo da posição de cada emissor é efectuado através das variáveis do tempo decorrido entre a emissão do sinal sonoro pelo emissor e a sua recepção pelo receptor, e a velocidade do som no ambiente. Para calcular a posição tridimensional de cada emissor, é feita uma triangulação das distâncias destes em relação aos três receptores.

Um dos problemas deste método é a dificuldade de obter uma descrição correcta dos dados num dado instante, devido ao carácter sequencial do disparo dos emissores. Os sistemas acústicos também sofrem do mesmo tipo de problema dos sistemas magnéticos, ou seja, os incómodos cabos, que prejudicam a performance. O número de emissores utilizados em simultâneo também é limitado, o que pode não fornecer uma descrição suficientemente correcta do movimento capturado.

Estes sistemas não possuem problemas de oclusão, típicos dos sistemas ópticos, nem de interferências por objectos eléctricos ou metálicos dos sistemas magnéticos.

3.5.3 Sistemas Ópticos

A captura de movimento por sistemas ópticos é constituída por uma ou mais câmaras e marcas que são colocadas nas principais articulações. As câmaras são posicionadas estrategicamente para capturar as marcas durante o movimento. O cálculo das posições é feito através da triangulação tridimensional da posição das marcas e das câmaras que devem estar calibradas e sincronizadas. Para capturar um número elevado de marcas, múltiplos actores, ou para expandir a área de captura é necessário adicionar mais câmaras. Estes sistemas produzem informação relativa a três graus de liberdade de movimento (DOF) para cada marca, enquanto que a informação de rotação tem de ser capturada por infravermelhos a partir da orientação relativa de três ou mais marcas. Ou seja, para adquirir o ângulo do cotovelo de um bípede é necessária a informação da marca do ombro, do cotovelo e do pulso. Os sistemas ópticos estão divididos em três categorias relacionadas com as marcas, podendo ser passivos, activos, ou semi-passivos.

Os sistemas passivos utilizam marcas que, em geral, assumem a forma de círculos ou esferas de material reflectivo. Os infravermelhos emitidos por um anel de *LEDS* acoplado às câmaras são reflectidos pelas marcas. A sensibilidade das câmaras pode ser ajustada através dos parâmetros de luminosidade e contraste existentes nas câmaras, de forma a que apenas as marcas brilhantes sejam capturadas e ignorando outros registos, como os da pele, ou tecidos.

Um objecto com marcas com posições definidas é utilizado para calibrar as câmaras e obter as posições e medir a distorção das lentes de cada câmara. Com duas câmaras calibradas é possível obter a posição tridimensional de uma marca. Geralmente estes sistemas são constituídos por 6 a 24 câmaras.

Existem aplicações específicas para reduzir problemas relacionados com a troca de marcas que possam confundir o seu posicionamento, visto que todas as marcas são semelhantes. Ao contrário dos sistemas ópticos activos ou de outros sistemas, os passivos não necessitam de fios ou equipamentos electrónicos no actor. As marcas são geralmente colocadas na pele do corpo ou em fatos de Lycra especialmente desenhados para a captura de movimento. Este tipo de sistemas podem capturar um número elevado de marcas a velocidades que podem atingir os 2000 fotogramas por segundo com alto desempenho, podendo alcançar uma resolução até 4 *megapixels*.

Os sistemas activos fazem a triangulação das posições através da iluminação sequencial dos LED's a alta velocidade. Aplicações sofisticadas identificam as marcas através das suas posições relativas. Em vez das marcas reflectirem a luz gerada externamente, elas próprias emitem a sua luz. Desta forma, a distância e o volume de captura podem ser aumentados. As marcas emitem a luz sequencialmente permitindo a identificação de cada marca para cada fotograma. A possibilidade de identificar cada marca é útil para aplicações em tempo real. A alternativa a este método é através da algoritmia, que exige muito processamento.

Os sistemas ópticos com marcas activas podem ainda ser refinados através da modulação da amplitude no tempo da luz emitida pelas marcas, conseguindo assim obter a sua identificação. Estes sistemas designam-se por sistemas ópticos de modelação no tempo da marca activa. Um sistema de modulação de resolução espacial de 12 *megapixels* proporciona um movimento mais subtil do que um sistema óptico de 4 *megapixels*. Esta técnica permite aos actores e realizadores visualizarem a acção em tempo real, eliminando a necessidade de corrigir a troca das marcas. *LEDs* com processamento e com sincronização via rádio permitem capturas de movimento ao ar livre, com a luz do sol. Esta alta precisão e resolução requer mais processamento do que as tecnologias passivas, mas a pós-produção é efectuada na câmara.

Os sistemas semi-passivos não se baseiam na tradicional abordagem de câmaras de alta velocidade. Sistemas como o Prakash [41] usam projectores de alta velocidade de baixo custo. O Prakash é um método de captura de movimento óptico que consegue processar o movimento tridimensional, orientação e incidência da iluminação nas marcas. As marcas utilizadas são imperceptíveis podendo, ser utilizadas em qualquer circunstância, nomeada-

mente durante as filmagens de um filme. O Prakash suporta um número ilimitado de marcas com identificação única, e capaz de reconhecer a incidência da luz de forma a ajudar à inserção de elementos virtuais em cenas reais.

Os sistemas semi-passivos utilizam projectores de infravermelhos especiais para codificar o espaço. Em vez das marcas reflectirem ou emitirem luz, estes sistemas usam marcas fotosensíveis para descodificar os sinais ópticos. Com as marcas fotossensíveis é possível não só processar a localização, mas também a orientação, a incidência da luz e a reflectividade. Estes sistemas são indicados para capturar movimento em “directos” televisivos.

3.5.4 Sistemas Inerciais

Os sistemas Inerciais são baseados em micro-sensores inerciais, em modelos biomecânicos e em algoritmos de combinação sensorial.

Estes sistemas derivam dos denominados sistemas inerciais de navegação (*Inertial Navigation Systems* - INS) que têm sido amplamente utilizados na determinação da localização e orientação de veículos. O INS é constituído por um conjunto de sensores chamado de IMU (*Inertial Measurement Unit*). O acelerómetro é o sensor que mede a aceleração de um veículo relativamente à sua posição inicial e o giroscópio mede a aceleração angular relativamente a uma direcção num dado momento. Para o caso tridimensional, são necessários três acelerómetros e três giroscópios, dispostos sobre três direcções ortogonais, para se poder determinar a posição e a orientação do veículo.

A tecnologia dos acelerómetros e dos giroscópios tem recentemente sofrido enormes avanços, estando cada vez mais acessível. Assim, estes sensores foram adoptados para os sistemas de captura de movimento. São sistemas de baixo custo e de fácil utilização que permitem a captura do movimento de corpo inteiro. A informação dos sensores é transmitida sem fios para o computador, onde a informação da captura é guardada e visionada. Não são necessárias câmaras externas, emissores ou marcas para capturar movimentos relativos. Um sistema Inercial consegue capturar até 6 graus de liberdade de movimento do corpo em tempo real. A grande vantagem destes sistemas é o facto de serem portáteis e poderem capturar grandes áreas. Estes sistemas são semelhantes aos controladores da consola WII da Nintendo mas muito mais sensíveis e com uma maior resolução e velocidade de captura.

3.6 A voz e as expressões faciais

3.6.1 Reconhecimento da fala

Nos sistemas que constituem o estado da arte na área do reconhecimento da fala predominam os modelos estatísticos, especialmente aqueles que se baseiam nos Modelos Ocultos de Markov (*Hidden Markov Models*, HMM). As estruturas HMM potenciam a modelação em simultâneo das variações acústicas e temporais do sinal vocal.

Nos sistemas de reconhecimento da fala contínua com vocabulário extenso, as palavras são geralmente modeladas a partir da concatenação de subunidades fonéticas. O reconhecimento da fala contínua difere do das palavras isoladas, pois neste, o locutor não precisa de fazer pausas entre as palavras. Deste modo, a determinação das fronteiras entre as palavras e do seu número deve ser efectuada pelo sistema de reconhecimento. Para isto são utilizados os algoritmos de pesquisa, que podem ter ainda modelos de duração e de linguagem incorporados.

Os algoritmos mais utilizados são as redes neurais artificiais (*Artificial Neural Networks*, ANN) e os modelos ocultos de Markov. Existem também implementações híbridas que combinam as características mais interessantes de cada um destes métodos, de forma a obter melhores resultados.

O desempenho dos sistemas de reconhecimento da fala é tipicamente descrito em termos de taxa de erros de palavras.

Nos últimos anos tem-se assistido a um progresso substancial na tecnologia do reconhecimento da fala. As taxas de erro de palavras caem de um factor de dois valores a cada dois anos [42], o que levou a ultrapassar a barreira da independência do locutor, da fala contínua e dos vocabulários extensos. Vários factores contribuíram para este rápido progresso apesar de condicionado e ainda em condições acústicas controladas, nomeadamente com o modelo oculto de Markov que veio aumentar o desempenho, as grandes bases de dados de referência que foram criadas, o estabelecimento de normas de avaliação de desempenho e os avanços na tecnologia dos computadores que influenciaram indirectamente o progresso nesta área.

A linguagem falada é a forma mais natural de comunicação. A sua estrutura é modelada pelas estruturas fonológicas, sintácticas e prosódicas da língua, do ambiente acústico, do contexto em que a fala está a ser produzida e do canal de transmissão. A fala é produzida de maneira diferente por cada pessoa, devido ao tipo de voz, às variações do dialecto, da pronúncia, de timbre e muitos outros factores. Os padrões da fala são modificados pelo ambiente físico, contexto social e estado físico e emocional das pessoas.

As tecnologias mais promissoras na área do reconhecimento da fala utilizam métodos de modelação estatística que aprendem por exemplos, exigindo conjuntos de dados de referência muito grandes, que cubram todas estas variações. A boa construção destas bases de dados é essencial para que os dados sejam fiáveis aos investigadores e às possíveis aplicações de reconhecimento da fala.

3.6.2 Emoções e expressões

A interacção entre os seres humanos e os computadores será mais natural se os computadores conseguirem perceber e responder à comunicação não verbal como as emoções.

No entanto, os sistemas automáticos de detecção de expressões ainda se deparam com inúmeros problemas relacionados com a determinação de uma face numa imagem, com a consequente extracção de informação associada à expressão facial, assim como com a posterior classificação.

Existe um estudo [43] que aponta para o uso de sistemas multimodais como forma de aumentar a eficiência no reconhecimento das emoções humanas por parte dos computadores. Esta investigação apresenta a combinação da captura de movimento das expressões faciais com a captura da voz, de forma a se complementarem e a diminuírem a possibilidade de erro de confusão na interpretação das emoções por parte do computador.

Geralmente, os sistemas de captura de movimento das expressões faciais recorrem a sistemas de captura ópticos, através da utilização de câmaras e marcas de identificação na face, limitando assim o seu uso mais generalizado.

As investigações nesta área orientam-se para o reconhecimento de um universo limitado de seis emoções base e que são reconhecidas pelas teorias da psicologia. Estas emoções são: surpresa, medo, desgosto, fúria, felicidade e infelicidade.

Os seres humanos conseguem reconhecer as emoções através de sinais provenientes da expressão facial e vocal mesmo que estes sejam muito subtis.

Os músculos da face e o tom da voz são elementos primordiais no reconhecimento das emoções.

O resultado de uma experiência levada a cabo na Escola de Engenharia Viterbi⁹ da Universidade da Califórnia do Sul [43], revela que os humanos conseguem reconhecer melhor as

⁹ Sítio na Internet do laboratório de interpretação e análise da fala - <http://sail.usc.edu>

emoções de infelicidade e medo a partir do registo vocal e as emoções de fúria e felicidade a partir da imagem.

Para classificar as emoções, existem vários métodos ou classificadores, nomeadamente o *Maximum Likelihood Bayes classifier* (MLB), o *Kernel Regression* (KR) e o *K-nearest Neighbor* (KNN).

A grande limitação dos métodos de análise global das características acústicas é que não conseguem descrever a variação dinâmica da fala. Para resolver esta questão, é possível registar as alterações espectrais num determinado segmento local através do uso de *Mel-frequency ceptral coefficients* (MFCC) no treino dos HMM.

No estudo acima referido, foram experimentados os classificadores com a informação acústica, com a informação visual e com a combinação de ambas. Com o classificador emocional acústico obtiveram-se resultados na ordem dos 64% de eficiência e com erros de confusão entre a emoção de tristeza e o estado neutral de 14%. Também a emoção de felicidade foi confundida 19% das vezes com a emoção de raiva. A experiência com o classificador emocional baseado nas expressões faciais obteve um resultado de 85% de eficiência, mas também com altos níveis de confusão, nomeadamente, 18% de erro entre a emoção de tristeza e a de raiva, tendo a emoção de felicidade sido confundida em 15% com o estado neutral.

Os dois sistemas combinados e integrados com métodos de decisão e classificação multimodal permitem um aumento considerável de eficiência, na ordem dos 89%, reduzindo essencialmente o erro de confusão para níveis muito baixos.

3.6.3 Animação facial e sincronismo labial

A animação facial é uma componente essencial em muitas aplicações, tal como nos jogos de computador, tutores em tempo real, interfaces interactivas e na animação performativa.

A animação facial não se resume ao sincronismo labial ou à síntese de faces síncronas com a fala. O movimento facial não depende apenas da fala, pois a mesma frase dita com emoções diferentes tem grandes repercussões na expressão facial e no seu correspondente movimento. A associação entre a emoção e a expressão facial é objecto de estudo de longa data de psicólogos, antropólogos e biólogos.

As emoções transmitem apenas uma parametrização espacial das expressões faciais. No entanto, como as emoções têm um significado intuitivo ao qual podemos relacionar as expressões, descodificando-as facilmente, elas servem como orientação fornecendo a forma

mais simples de restringir o espaço das expressões faciais, a uma pequena gama de categorias intuitivas.

Muitas abordagens ao sincronismo labial tomam como primeiro passo o registo do sinal da fala recebido, baseado em unidades de fala como os fonemas. O registo dos fonemas pode ser feito manualmente ou de forma automática [44]. Estas unidades são depois mapeadas a uma série de poses dos lábios intituladas de *visemes* [45] [46]. *Visemes* são a correspondência visual dos fonemas que podem ser interpoladas de forma a criar animações faciais suavizadas. Como representação alternativa às unidades de fala, Kshirsagar e Magnenat-Thalman [47] utilizam sílabas e a sua correspondente visual *visyllables* em vez dos fonemas e *visemes*.

A forma da boca durante a fala depende não só da pronúncia do fonema actual, mas também dos fonemas anteriores e seguintes. Este fenómeno chama-se co-articulação e é bastante importante para o sincronismo labial. A co-articulação pode afectar até 10 fonemas vizinhos em simultâneo.

Considerando a quantidade de fonemas que a língua portuguesa tem, uma simples tabela referencial não é uma solução prática.

Existem muitas abordagens para tentar resolver este problema do sincronismo labial e do modelo de co-articulação. Na sua maioria, encontra-se dentro de quatro categorias.

A abordagem procedual é a primeira categoria e utiliza uma série de regras para o modelo de co-articulação [48] ou através do estabelecimento de uma ordem de importância visual sobre os fonemas [45].

A segunda categoria é baseada na dinâmica e recorre às leis da física e forças musculares para descrever o movimento da face. Embora exija um elevado processamento, tem-se revelado muito eficiente [49].

As abordagens orientadas à comparação de dados através da pesquisa de informação em bases de dados pertencem à terceira categoria. Utilizam a segmentação dos fonemas recebidos pelo sinal da fala, para pesquisar a semelhança mais próxima ao fonema capturado, em grandes bases de dados de informação de movimento e de áudio pré-gravado. *Video Rewrite* [44] é um exemplo muito representativo de tais técnicas.

A quarta categoria tenta eliminar a necessidade de grandes bases de dados de amostragens a partir da criação de modelos estatísticos compactos de movimento da face [50]. Duas técnicas de aprendizagem são os HMM's e Gaussian, muito usados para este resolver este problema. Por exemplo, o *Voice Puppetry* [51] utiliza o HMM para desenvolver um mapeamen-

to vocal para a face. O modelo aprende a partir da observação da dinâmica da face utilizando um método de simplificação entrópica. Tem em consideração a posição e a velocidade das características faciais e aprende a distribuição probabilística sobre as diferentes configurações faciais.

As expressões faciais reflectem as nossas próprias motivações ou estados emocionais. Podem ser usadas como complemento verbal comunicacional e transmitem sentimentos pessoais. As expressões faciais podem ser parametrizadas utilizando uma série de unidades de acção, tais como as descritas em *Facial Action Coding System (FACS)*. Estas unidades de acção definem as poses e movimentos faciais em pequenas regiões.

3.6.4 Técnicas de interacção com a voz

As aplicações interactivas baseadas na voz orientam-se essencialmente nos aspectos verbais da fala. Os motores de reconhecimento da fala traduzem a fala em palavras ou frases, tal como acontece com a tecnologia OCR na digitalização de textos, que converte a imagem do texto em texto reconhecível. Estas palavras ou frases podem ser interpretadas depois como acções ou comandos. Uma das limitações destas abordagens é que o tempo de resposta para a interacção é demorado. O utilizador tem de completar uma palavra e esperar pelo resultado do reconhecimento. Para algumas tarefas, como a de reservar um bilhete de comboio, este tempo de espera pode não ser comprometedor, mas o mesmo não acontece para outras tarefas, como a de deslizar para baixo numa página de um navegador. O projecto *Voice as Sound* [52] propõe o uso das características não verbais da fala, como o volume, a frequência, o timbre e a continuidade para controlar directamente aplicações interactivas.

Os investigadores começaram a orientar-se para abordagens relacionadas com as características prosódicas e não verbais da fala de forma a aumentar a definição do reconhecimento e do processamento semântico da língua. Existem algumas aplicações que já fazem uso da interacção por via da voz, nomeadamente alguns jogos ou interfaces interactivas de acessibilidade. O *The SUITEKey* é um sistema de interacção via voz que controla um teclado e um rato virtual. O utilizador, ao dizer “mover o rato para cima.....parar”, faz mover o apontador para cima no ecrã, até o utilizador dizer a palavra “parar”. No projecto *Voice as Sound* são propostas algumas técnicas de interacção, nomeadamente o controlo por continuidade. Nesta interface, a voz do utilizador funciona como um botão de ligar e desligar. Enquanto o utilizador produzir um som continuado com a voz, o sistema responde como se um botão estivesse a ser pressionado. Quando o utilizador pára de produzir esse som, o sistema reco-

nhece que o botão foi libertado. Por exemplo, se o utilizador disser “volume mais alto, oooooo”, o volume da aplicação irá aumentando à medida que o utilizador se mantiver com o “ooooo”. A grande vantagem desta abordagem prende-se com o feedback imediato durante a interacção. Outra técnica de interacção proposta é a do controlo pelo timbre da voz. Esta técnica é uma extensão da anterior e permite ao utilizador ajustar um parâmetro adicional, o timbre a que produz o som continuado. Esta técnica funciona como a de um *joystick* de uma dimensão, ou de um potenciómetro. Um exemplo deste tipo de interacção é na navegação de um mapa, em que o utilizador pode dizer “mover para cima, aaaaaa” e o mapa desliza para baixo enquanto for produzido o som. Quando o utilizador aumenta o timbre vocal, o movimento aumenta de velocidade. Este sistema baseia-se no cálculo do espectro vocal e na análise rápida da transformada de Fourier. A voz é detectada a partir da verificação do volume total (dB) do espectro de entrada do sinal. As frequências de baixo nível (<375Hz) são retiradas para reduzir o efeito de ruído de fundo. As variações do timbre são detectadas a partir da comparação do produto entre a variação do tempo (12ms) e a variação da frequência ($\pm 43\text{Hz}$) do espectro da voz.

Esta técnica é muito útil na resolução de problemas de acessibilidade, em que o utilizador não pode interagir com as mãos. No entanto, existem muitas outras aplicações para esta técnica, tais como: controlar dispositivos de navegação enquanto se conduz um carro ou para controlar aplicações em ambientes imersivos, jogos interactivos, utilização em performances ao vivo com a interacção do público, ou na animação performativa.

3.7 Trabalho relacionado

Actualmente existem vários projectos relacionados com as marionetas virtuais, tanto a nível da animação, como no campo da educação ou do entretenimento. Têm sido experimentadas várias tecnologias e interfaces de interacção na implementação destes projectos. Como ainda não existem grandes investigações sobre esta matéria, a classificação das marionetas virtuais é ainda muito abrangente. Consequentemente, a utilização da designação de marionetas virtuais tem proliferado e é objecto de grande confusão, especialmente com a designação de marionetas digitais. No entanto, é importante analisar as várias abordagens e perceber em que consistem os diversos projectos referentes ao uso das marionetas na computação, os seus objectivos, as suas características e limitações.

É possível diferenciar os vários projectos analisados pelo seu objectivo, plataforma tecnológica e interfaces de interacção. No entanto, o objectivo dos projectos condiciona o uso de

determinada tecnologia ou interface. Um projecto muito interessante de marionetas virtuais com um objectivo bastante peculiar foi desenvolvido pelos estúdios Automata com a colaboração de Erik Natzke. Esta aplicação encontra-se inserida no portal *Comcastic*¹⁰ e foi pensada para testar a velocidade de ligação à Internet. Apesar do objectivo inicial estar relacionado com a transferência de informação, foi possível dar algum sentido a esta aplicação, transformando um simples teste de qualidade de ligação num autêntico programa de entretenimento. Este projecto, que em conjunto com o portal em que está inserido já recebeu vários prémios, tem cada vez mais popularidade. Foi totalmente desenvolvido em tecnologia *Flash* para ser acessível a um potencial público. Uma das principais funções desta aplicação é a de enviar mensagens electrónicas personalizadas. Estas mensagens são elaboradas pelos próprios utilizadores que através da performance com a marioneta conseguem comunicar e enviar um postal animado por correio electrónico. A ideia de promover a comunicação através da performance com marionetas e da sua partilha através de correio electrónico pode ter o efeito desejado de auto-promoção. Para personalizar estas ditas mensagens, o utilizador pode gravar a sua voz a partir do microfone ou telefone. Esta aplicação é caracterizada pela facilidade de manipulação da marioneta, pelo desempenho em tempo real e essencialmente pela qualidade gráfica. Apesar de ter sido desenvolvida num ambiente bidimensional, os autores conseguiram simular uma aparência tridimensional, através da utilização de várias poses dos modelos tridimensionais. A cenografia e a iluminação também produzem um ambiente tridimensional minimalista orientando o utilizador para o ponto de maior interesse, a marioneta.



Fig. 21 – Aplicação de marionetas no *Comcastic*, imagem capturada do portal.

¹⁰ Portal *Comcastic* – <http://www.comcastic.com>

Os bonecos articulados assemelham-se a marionetas de madeira. Para aumentar as semelhanças, foram introduzidos fios que ligam os membros do boneco a uma cruzeta. No entanto, a interacção com a marioneta virtual é feita com o rato através da técnica de manipulação directa. O utilizador também pode interagir através do teclado, accionando movimentos previamente gravados na marioneta. O sincronismo labial também foi implementado neste sistema, sendo que o movimento da boca do boneco acompanha a voz do utilizador capturada pelo microfone ou telefone. A cabeça e os olhos da marioneta acompanham o movimento do rato caso não seja pressionada nenhuma tecla. Um simulador de dinâmicas foi construído de raiz para criar movimentos realísticos, assim, quando o utilizador arrasta um braço da marioneta e o liberta, este volta a cair com a gravidade e vai balanceando até atingir a posição inicial. O fio que liga esse braço à cruzeta também assume um comportamento realista acompanhando o movimento do braço.

As grandes vantagens desta aplicação são a facilidade de manipulação, a sua acessibilidade através do uso de interfaces comuns (rato, o teclado e microfone) e a sua distribuição global a partir da Internet. As grandes limitações são o facto de apenas se poder manipular um membro de cada vez, não permitindo grande liberdade de movimento e de não permitir a utilização de mais do que uma marioneta em simultâneo.

Virtual Marionettes [36] é um projecto de investigação que tem como objectivo o desenvolvimento de um protótipo de um sistema gráfico de marionetas virtuais. Este sistema permite aos utilizadores criarem a sua própria marioneta numa ferramenta tridimensional e definirem a marioneta como um objecto articulado, possibilitando a adaptação de qualquer objecto em uma marioneta. A estrutura e as articulações estão ligadas por fios virtuais à cruzeta que por sua vez liga ao dispositivo de controlo. Este dispositivo pode ser interpretado como uma luva digital simplificada. O sistema foi pensado para possibilitar no futuro a utilização de várias marionetas virtuais controladas por vários manipuladores em simultâneo e em tempo real.

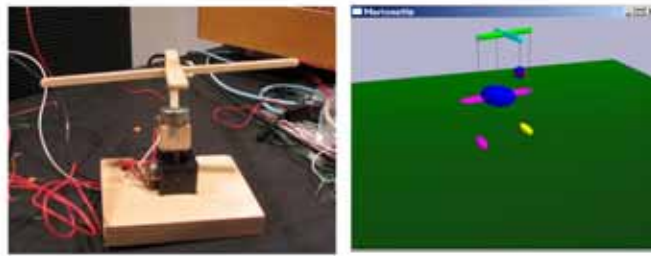


Fig. 22 – Protótipo da interface de interacção (à esquerda) aplicação *virtual marionettes* (direita) [36].

O objectivo deste projecto é o de permitir aos artistas desenharem, esboçarem ou produzirem um espectáculo de marionetas virtual ou simularem o comportamento de determinados bonecos. A implementação deste sistema foi dividida em três partes, nomeadamente o programa de animação e simulação de dinâmicas que os autores intitularam de “cérebro”; o controlo de movimento dos dispositivos de entrada – “interface”; e o motor gráfico – “palco”. Com este sistema, o utilizador pode manipular a sua própria marioneta através de um dispositivo do tipo luva digital, obtendo um movimento muito próximo da realidade através da utilização de um motor de dinâmicas que também contempla as colisões de objectos. O sistema aceita articulações esféricas de 2/3 DOF. Para interagir com a marioneta, o utilizador utiliza o movimento da mão e dos dedos. Os dedos podem controlar os fios que estão ligados às articulações, de forma a mexer os membros, e o movimento da mão é sincronizado com o movimento da cruzeta, possibilitando o movimento global do corpo. A interface implementada permite 5 graus de liberdade de movimento, a rotação do eixo e a translação na horizontal e vertical. As grandes vantagens deste sistema são as de permitir ao utilizador definir a sua própria marioneta, utilizar múltiplas marionetas em simultâneo e o comportamento semelhante ao real. A grande desvantagem deste sistema é obrigar a uma interface muito específica, nomeadamente à utilização de luvas digitais. No entanto, outras investigações têm dado continuidade a este projecto, especialmente na parte da interface de interacção. Uma nova interface foi já experimentada e apresenta-se como uma réplica de uma cruzeta real em madeira, desta forma a interacção com a marioneta é feita exactamente como na realidade. Outros estudos têm sido desenvolvidos com o objectivo de conseguir interfaces de interacção de visão computacional, ou captura de movimento óptico, ou seja, através de câmaras de vídeo.

Controlling a virtual marionette using a web camera [53] é um projecto que aborda as questões relacionadas com a interface de interacção. Este sistema tenta resolver o problema da manipulação de marionetas virtuais através da captura de movimento de um objecto real que serve de controlador. Primeiro, o sistema localiza o objecto e, com a informação da projecção bidimensional do objecto num plano, determina a orientação e o posicionamento tridimensional. Para localizar o controlador na imagem capturada, são colocadas bolas coloridas nas extremidades de um objecto que assume a forma de uma cruz (cruzeta). A informação de cor é então convertida do sistema RGB para o HSV permitindo um processo de segmentação mais robusto. As componentes HSV das bolas são então traduzidas em coordenadas. No entanto, este projecto ainda apresenta problemas relacionados com os algoritmos implementados de detecção da orientação e posicionamento tridimensional, para além de que a fraca qualidade das webcams resulta em problemas de reconhecimento das bolas. Mas a grande vantagem deste sistema é de tornar acessível uma nova interface de interacção com as marionetas virtuais.

Haptic Puppetry for Interactive Games [54] é uma proposta de marionetas virtuais que tem como objectivo possibilitar movimentos sofisticados de articulações em tempo real em jogos ou em animações performativas. Os autores do projecto basearam-se nas marionetas reais e na sua manipulação para encontrarem uma forma semelhante de comportamento e controlo. Tal como em algumas marionetas de fios, em que a cruzeta tem dois controlos, este projecto também adoptou dois dispositivos para manipularem a marioneta.



Fig. 23 – Utilização da interface *Sensable's Omni* para interagir com a aplicação [54].

A marioneta virtual é simulada com base na dinâmica e nas leis da física, assumindo comportamentos mais realísticos e é controlada por duas interfaces do tipo *Sensable's Omni* (tm) que fazem o controlo primário e secundário. Cada dispositivo permite 6 graus de liberdade

(DOF) de entrada (posição e orientação) e 3 DOFs de saída (forças de translação). Os dispositivos estão mapeados ao centro da massa das barras de controlo. Tal como acontece nas marionetas reais, o controlo primário serve para manipular o corpo da marioneta, a cabeça e as pernas. O controlador secundário serve para manipular os braços. Esta aplicação permite igualmente a interacção da marioneta com adereços. A sequência de funcionamento da aplicação apresenta-se da seguinte forma: o sistema capta o movimento e a pressão do utilizador nos dispositivos que é transmitido para as respectivas barras de controlo; estas barras podem assumir os movimentos de translação ou rotação, estes movimentos fazem deformar os fios que actuam como forças externas aos pontos de ligação do boneco, que por sua vez obriga ao movimento das articulações. O movimento de resposta da marioneta para o utilizador é inverso ao acima descrito, transmitindo a força da tensão dos fios até à interface.

Este sistema apresenta algumas vantagens, nomeadamente a forma rápida de criar movimentos complexos na animação de personagens, a forma intuitiva de manipular as personagens através da utilização das interfaces adoptadas. As desvantagens são o facto de o sistema não ter sido programado para aceitar várias marionetas em simultâneo e também o facto de obrigar à utilização de uma interface muito específica.

4 Realização do projecto

Este capítulo reflecte sobre todo o processo desencadeado no desenvolvimento do projecto prático. Após uma ampla investigação sobre marionetas e o estado da arte relacionado com tecnologias e aplicações multimédia descritos nos capítulos anteriores, segue-se a concretização do projecto prático. Este implica uma série de etapas de pré-produção até à fase de implementação, nomeadamente o trabalho de observação e acompanhamento da produção de teatros de marionetas ou a análise e selecção das ferramentas e plataforma tecnológica.

4.1 Metodologia

Apesar de existirem alguns projectos que exploram as marionetas virtuais, nenhum se apresenta com as características e valências que propomos neste projecto. A ideia de criar uma nova linguagem e interface adaptada das marionetas inspirou a concepção de uma aplicação para computador com múltiplas valências e áreas de intervenção numa tentativa de viabilização do conceito das marionetas virtuais como alternativa a alguns modelos existentes. Este novo modelo poderia ser aplicado em contextos de entretenimento, de educação e até mesmo em contextos profissionais. Nesta multiplicidade de áreas de intervenção podemos salientar os jogos de computador, o cinema de animação, a performance teatral ao vivo, os programas de televisão em directo ou as ferramentas pedagógicas. No entanto, uma das principais características da aplicação deveria ser a possibilidade de criar um teatro de marionetas virtuais, contemplando todos os processos e elementos constituintes.

Para conceber uma aplicação sobre marionetas era fundamental compreender melhor o seu universo através do contacto directo com pessoas e companhias de teatro de marionetas. Seria pertinente acompanhar companhias que trabalhassem diferentes tipos de marionetas, tanto em termos de manipulação como de materiais, na perspectiva de observar várias técnicas e métodos. Esta observação seria importante para uma futura adaptação de um modelo real para um modelo virtual. Um outro aspecto importante durante o desenvolvimento do projecto prático foi como organizar e registar toda a informação.

4.1.1 Divulgação *on-line* do desenvolvimento do projecto

Uma das primeiras preocupações considerada no registo da evolução e na transmissão das ideias do projecto foi a construção de uma plataforma flexível que servisse como diário do projecto. Os objectivos desta plataforma eram os de promover o projecto através da sua

divulgação *on-line*, disponibilizar a informação com regularidade aos orientadores e permitir a introdução de comentários e observações.

Foi, então, projectada uma plataforma *on-line*, com algumas características pertinentes para o acompanhamento do projecto.

O diário foi pensado como forma de organizar e manipular dinamicamente a informação. Para isso, recorreu-se à programação em PHP com bases de dados em MySQL. Para disponibilizar a informação com regularidade foi introduzida a função de subscrição do diário através da tecnologia RSS; desta forma, sempre que era inserida uma nova entrada no diário, os subscritores recebiam de imediato essa informação. Esta abordagem permitia uma maior aproximação entre todos os intervenientes.

A divulgação do projecto na sua fase de desenvolvimento seria também importante de forma a conseguir angariar apoios ou parcerias.

O site desenvolvido foi publicado no endereço <http://www.grifu.com/animatic> com a seguinte estrutura: sinopse, documentos, ensaios e diário. Na secção dos documentos encontram-se os ficheiros relacionados com a dissertação, na secção de ensaios foram sendo colocados os ficheiros com as várias versões publicadas para descarregar, ou para serem executados *on-line*.



Fig. 24 – Imagem retirada do sítio aniMatic na Internet

A utilização desta plataforma acabou por se reflectir na metodologia da escrita do diário e obrigou a uma disciplina de publicação regular de protótipos resultando numa maior dinâmica de acompanhamento do projecto.

4.1.2 Trabalho de campo

Pensar, organizar, adaptar e conceber uma aplicação sobre marionetas e não ter qualquer experiência de campo é no mínimo uma tarefa difícil. Assim, um dos primeiros passos dados para a concretização deste projecto foi procurar referências de contacto que pudessem de alguma forma contribuir para esclarecer alguns dos segredos que estão por trás das marionetas. Desta forma, foram contactadas algumas companhias de teatro de marionetas com especial foco na área metropolitana do Porto, por razões logísticas. Foram seleccionadas três companhias de teatro com características diferentes e disponíveis para partilhar práticas e conhecimentos: o Teatro de Marionetas do Porto dirigido por João Paulo Seara Cardoso, o Teatro Limite Zero coordenado por Raul Constante Pereira e as Marionetas da Feira coordenado por Rui Sousa.

4.1.2.1 Teatro de Marionetas do Porto

O Teatro de Marionetas do Porto, já mencionado no segundo capítulo, não necessita de grandes apresentações, sendo considerado um dos melhores teatros de marionetas a nível internacional e, portanto, uma referência fundamental e uma grande escola de marionetas. No momento do primeiro contacto, o Teatro de Marionetas do Porto estava a iniciar o processo de desenvolvimento de uma nova peça intitulada “Os Bichos do Bosque”. Assim, foi proposto o acompanhamento de todo o processo durante os três meses de produção. Este acompanhamento foi descrito passo a passo no diário digital que acabou por se tornar uma ferramenta bastante utilizada. O Teatro de Marionetas do Porto caracteriza-se pela sua constante evolução e procura incessante de novas linguagens através da utilização de diferentes técnicas, estéticas e materiais. Apesar de ser o motor de todos os processos de trabalho e inspirador de todo um imaginário, esta abordagem implica sempre novos desafios que do ponto de vista criativo são sempre muito exigentes. Este seria um bom caso de estudo dentro do contexto deste projecto.



Fig. 25 – Oficina do Teatro de Marionetas do Porto.

Depois de um percurso na utilização de várias técnicas de manipulação, o Teatro de Marionetas do Porto acabou por se especializar em manipulação directa, uma técnica que se traduz pelo movimento directo dos actores sobre as marionetas sem mecanismos intermédios. Desta forma, os actores podem ser considerados parte integrante da marioneta. Esta abordagem permite uma grande expressividade pois o actor não tem restrições de varetas nem de fios. A peça “Bichos do Bosque” segue esta filosofia e apresentou-se como mais um desafio para esta companhia. Escrita por João Paulo Seara Cardoso, foi proposta a toda uma equipa de artistas criativos, desde as ilustrações de Júlio Vanzeler que nos transportam para um imaginário único e que se materializam em marionetas pelos mestres Rui Pedro, Inês Coutinho e Luís Ternos acabando por receber a energia vital dos actores Edgar Fernandes, Sara Henriques e Sérgio Rolo, com encenação de João Paulo Seara Cardoso, igualmente responsável pela cenografia.

O processo de desenvolvimento desta peça pautou-se pela mistura do imaginário experimental com a eficácia da organização de trabalho. A oficina de trabalho desta companhia é como uma máquina extremamente oleada com espaço para a liberdade artística sem restrições. Um dos primeiros processos de trabalho prende-se com a procura de uma estética que define os materiais e consequentemente as técnicas a usar. Neste caso, a escolha recaiu sobre a utilização da pasta de papel que confere às marionetas uma textura bastante orgânica. Em conjugação com esta opção, as marionetas assumiriam um aspecto volumétrico de perfil, acabando por se privilegiar as suas acções de perfil.

A adaptação das ilustrações para as marionetas inicia-se com a modelação em esferovite ou em outros materiais modeláveis, estes servem de matriz para produzir os moldes que passam pelos processos anteriormente descritos. Cada marioneta apresenta características particulares que lhes confere a sua personalidade, sendo construídas com base nos movimentos pretendidos e previamente definidos. Elas são acompanhadas em todo o seu desenvolvimento pelos actores que lhes vão dar vida acabando por germinar uma relação de proximidade muito grande. Mas só assim é possível aos actores descobrirem o potencial escondido na marioneta, um tempo de maturação. A relação entre o actor e a marioneta vai crescendo até ao ponto em que este lhe atribui uma verdadeira identidade com todas as suas características, como a forma de falar ou de andar, todos os movimentos reflectem um perfil físico e psicológico. Por vezes as marionetas voltavam para a oficina para ajustes solicitados pelos actores.

As marionetas construídas para esta peça apresentam apenas uma pequena vareta geralmente colocada na cabeça, permitindo ao actor sustentar a marioneta e mover a sua cabeça, sendo o resto do corpo manipulado directamente com as mãos. Grande parte das articulações foi produzida a partir de nós feitos de corda, fornecendo alguma liberdade de movimento. Quando completas, as marionetas passavam por um banho de um composto derivado da cola para melhorar a sua resistência, especialmente tendo em conta o número de vezes que estas iriam ser manipuladas e deslocadas. O último processo de construção das marionetas é o da pintura e colagem de elementos de caracterização. Paralelamente ao processo de construção das marionetas, adereços e cenários vão sucedendo-se os ensaios. Os primeiros são efectuados sem marionetas e os actores têm de as imaginar, desta forma não estão condicionados pela dificuldade de manipulação o que lhes possibilita uma maior liberdade de acção. Cada actor pode interpretar várias personagens com várias marionetas dificultando a sua tarefa, especialmente porque são eles os responsáveis por mudar cenários, adereços e marionetas de cena para cena em poucos segundos. Todos estes elementos estão devidamente organizados em prateleiras por debaixo do chão pertencente ao cenário caracterizado por três bancas amovíveis que criam uma profundidade de campo. Os actores têm portanto um papel multifacetado, pois não só têm de interpretar personagens enquanto actores, têm de manipular e dar vida a uma ou mais marionetas, colocar e retirar de cena adereços e cenários.

Um aspecto muito importante na conjugação de todos estes elementos e que se traduz em ambientes diferentes é o desenho de luz. Numa primeira etapa, o desenho de luz é efectuado apenas com o cenário marcando apenas as cenas e os ambientes, passando para uma etapa onde é importante posicionar os actores e as marionetas nas zonas de acção. As entradas e

saídas de cena são também cronometradas e associadas aos tempos de luz, desta forma podem ser desviados os olhares do público para uma zona contrária à da entrada de cena de um adereço. Todos os tempos são sincronizados ao pormenor, e no momento em que um actor entra em palco poderá estar uma luz a acompanhar o seu movimento. Todo este processo é gravado numa mesa de luz com vários canais e operador a partir da *régie*.

O processo do desenho de som começa pela gravação da banda sonora e sonoplastia com base em tempos de referência previamente cronometrados, posteriormente posicionados no espaço através das panorâmicas e equilibrados os volumes. Os sons e as músicas são finalmente gravados para uma máquina capaz de reproduzir os canais mediante um controlador externo e operado também a partir da *régie*. Nesta são também controlados os cenários virtuais projectados numa tela estrategicamente colocada fazendo parte integrante do cenário. Os cenários virtuais caracterizam-se maioritariamente por imagens que criam diversos ambientes e separam os actos. No entanto foram desenvolvidas algumas animações digitais devidamente sincronizadas com a acção. O operador da *régie* tem assim uma grande responsabilidade na peça, operando a luz o som e a cenografia virtual implicando uma grande coordenação, passando a ser um elemento fundamental nos ensaios. Desde os primeiros ensaios até aos ensaios finais assistiu-se a uma evolução gradual, com a introdução das marionetas em diferentes etapas da sua construção, dos cenários e dos adereços, do desenho de luz ao som até aos ensaios gerais com o guarda roupa final dos actores.

4.1.2.2 Teatro Limite Zero

Por outro lado, o Teatro Limite Zero iniciava também uma nova peça intitulada “Leopoldina e a Tartaruga Bebé”. Esta tinha um carácter mais comercial e apresentava características bem diferentes das da peça “Bichos do Bosque”. Mais uma vez a proposta era acompanhar todo o processo de construção durante três meses de produção. Este acompanhamento ficou igualmente registado no diário de projecto e também foi produzido um DVD vídeo com o *making of*. A grandeza deste projecto implicou uma elevada coordenação com uma equipa muito vasta e por vezes muito distante. Exemplos disso foram a produção da “Leopoldina” em Inglaterra e o monte gigante em Lisboa. No entanto, grande parte da produção foi localizada num enorme armazém no Porto. Aqui foram concentrados os meios de produção que foram surgindo à medida da evolução da peça. Este musical apresenta uma mistura de marionetas com actores. As marionetas de varetas, manipuladas ao nível inferior ou ao nível intermédio eram manipuladas por um ou mais manipuladores e assumiam tamanhos variados, desde a

pequena tartaruga ao farol gigante. Os processos de trabalho nesta peça foram de alguma forma semelhantes a alguns processos industriais, pela quantidade e pelo tamanho de alguns elementos. A peça foi adaptada do livro “Leopoldina e a Tartaruga Bebê” e os desenhos foram inicialmente modelados em três dimensões em computador com todo o rigor e em tamanho real. O processo de construção das marionetas de grandes dimensões iniciava-se pela projecção numa tela de papel de cenário colocada na parede da imagem do molde tridimensional; nesta tela desenhavam-se todas as referências gráficas a serem reproduzidas. Esta tela era posteriormente recortada para servir como referência à produção das estruturas que iriam suportar a marioneta. Foram utilizados vários materiais para compor a armação, a estrutura e o revestimento. Estes tiveram de ser cuidadosamente seleccionados e experimentados de forma a serem leves, resistentes e flexíveis e assim não contribuírem para um excesso de peso para o manipulador.

Em alguns casos, os manipuladores vestiam literalmente a marioneta; estas eram geralmente estruturas leves que envolviam o actor deixando uma abertura para os pés para se poderem mover. Nestes casos, as marionetas dispunham de uma pequena abertura para os olhos dos manipuladores e apresentavam alguns sistemas mecânicos de movimento accionados pelo manipulador, como por exemplo os olhos e a boca da personagem farol, ou a cauda e a boca da personagem baleia. Uma outra marioneta muito curiosa era a árvore; controlada por dois manipuladores, apresentava uma série de alavancas e comandos para movimentar os braços, a boca, os olhos e os ramos. O aspecto mais curioso desta marioneta era que para dar movimento ao tronco da personagem os manipuladores tinham de se movimentar dentro da marioneta, dando por vezes a sensação de que estariam desequilibrados. Todos estes elementos repousavam num cenário de elevadas dimensões, igualmente projectado em três dimensões e assente numa encruzilhada de ferros por onde passeavam os manipuladores das marionetas de controlo de nível inferior. Marionetas como as das tartarugas eram manipuladas a uma certa distância através de varetas compridas. E estas podiam percorrer trajectórias definidas a partir de uns rasgos no chão.



Fig. 26 – Ensaio da peça “Leopoldina e a Tartaruga Bebé”.

O espaço de trabalho foi sofrendo algumas alterações à medida da evolução da peça. Se no início o armazém estava completamente vazio e a oficina de trabalho ocupava todo o espaço, à medida que se foi produzindo foi sendo necessário encontrar a melhor forma de segmentar o espaço.

4.1.2.3 Marionetas da Feira

Depois do acompanhamento da produção de uma peça de marionetas de manipulação directa e de outra de manipulação por varetas, havia a necessidade do contacto directo com as marionetas de fios para assim compreender como funcionam e quais os seus segredos. Assim, foram acompanhados dois espectáculos da peça “Puppetologia” da companhia de Marionetas da Feira numa perspectiva de observação da manipulação das marionetas e da interacção com o público. Esta peça tem a particularidade de ser um espectáculo de rua e portanto mais descomprometido mas ao mesmo tempo mais próximo do público. Também está adequada à situação descontrolada do vaivém do público sendo que não assenta numa narrativa contínua mas sim em vários fragmentos, possibilitando a alguém que não acompanhe desde o início compreender o fragmento. Este é um espectáculo de um artista só, que conta as histórias, manipula as marionetas, opera as luzes e as músicas.



Fig. 27 – Rui Sousa com as suas marionetas da peça “Pupetologia”.

A sequência do espectáculo é estabelecida pela ordem das marionetas apresentadas. É uma espécie de desfile de marionetas em que cada uma apresenta a sua particularidade. Elas foram desenhadas e construídas segundo determinadas características e movimentos específicos. Começando pelo apresentador que anuncia a chegada da festa das marionetas com movimentos de boca com a função de reunir o público; a mulata vidente com um magnífico vestido dotada de muitas articulações e com movimentos suaves; o saxofonista ou o acordeonista que tocam ao ritmo da música concentrando os movimentos nos respectivos instrumentos; dos lutadores de capoeira, marionetas de varão que se movimentam pela acção de rotação e de translação do varão, uma manipulação bastante simples mas muito eficaz em termos visuais; os dançarinos de samba que dançam a um ritmo frenético; o esqueleto que começa a separar todos os seus membros esticando-se pelos fios transparentes como se por magia.

Uma panóplia de marionetas com características particulares, manipuladas de formas diferentes mas partilhando o mesmo género de comando, ou seja, uma variação do comando horizontal. Este é tão simples de manipular que o marionetista Rui Sousa convida vários membros do público a fazerem determinados números com as marionetas deixando-os surpreendidos pelos resultados obtidos. Este comando, com duas camadas permite facilmente criar o movimento do andar, o comando das mãos é geralmente independente sendo que para movimentos mais específicos o manipulador puxa directamente os fios que ligam as articula-

ções. O domínio do artista no controlo das marionetas é tão grande que por vezes dá a sensação que têm vida própria. Os espectáculos podem ser efectuados durante o dia ou durante a noite, sendo que, neste último caso, beneficia do desenho de luz e também do facto de o marionetista se vestir de preto fazendo-o “desaparecer” ficando apenas a sua cara. Todas as marionetas deste espectáculo foram desenhadas e construídas por Rui Sousa necessitando de revisões frequentes devido ao enorme desgaste. Verifica-se que estas marionetas, quando desenhadas para cumprir uma determinada acção, podem ter comportamentos incomparáveis com os outros tipos de marionetas. No entanto, é difícil construir uma marioneta genérica com bons resultados.

4.1.2.4 Workshop de marionetas de fios

Para aprofundar a matéria da construção de marionetas de fios foi proposta a participação num workshop dirigido por Rui Sousa que se revelou fundamental na análise e ponderação na construção de uma marioneta virtual. O objectivo do workshop era o de compreender quais os materiais utilizados e as técnicas de construção, para no final obter uma marioneta por participante. Apesar de se abordarem vários materiais passíveis de serem aplicados nas marionetas, neste workshop apenas foi utilizado o papel de jornal, o fio e a fita de papel. Com apenas estes materiais foi possível construir marionetas de um metro de envergadura, no entanto foi necessário muito material e muito tempo.



Fig. 28 – Workshop de marionetas de fios.

O esquema de construção baseou-se numa estrutura de dois U's invertidos, uma para os braços e ombros e outra para as ancas e pernas. Estes U's, produzidos a partir de tubos de papel enrolado com as mesmas dimensões mas com espessuras diferentes para dar pesos diferentes eram finalizados com várias camadas de fita de cola. Um fio atravessa todos os tubos separando-os com pequenos nós para produzir as articulações. O tronco é produzido a partir de um rectângulo de papel com várias camadas de papel e fita até ganhar volume. A cabeça é produzida a partir de uma bola de aglomerado de papel modelada com as várias tiras de fita de cola. O comando horizontal é construído com os mesmos materiais e técnicas, através de vários tubos de papel sustentam toda a marioneta e permitem o seu movimento. O resultado final foram várias marionetas completamente articuladas e testadas bastante orgânicas e com movimentos diferentes. Apesar de todos construírem segundo as mesmas orientações, os resultados foram bastante diferentes mas curiosos. Como conclusão deste workshop salienta-se a facilidade de construção destas marionetas seguindo um modelo, o elevado tempo dispendido para as fazer e a quantidade de materiais existentes que se podem aplicar às marionetas. Dois aspectos fundamentais para a reflexão do projecto prático foram a distribuição de pesos pela marioneta de forma a criar equilíbrios com algumas compensações e a posição de descanso não ser um corpo completamente direito, mas sim com as pernas flectidas e os braços com alguma inclinação para o interior do corpo com as mãos dobradas ligeiramente para cima. A explicação desta pose é pelo facto de facilitar o movimento das articulações.

O trabalho de campo foi portanto uma etapa decisiva na compreensão do funcionamento do teatro de marionetas na sua globalidade e da construção e manipulação das marionetas em específico. Foram analisadas as marionetas de manipulação directa, de varetas, de varão e de fios e todas elas têm o seu espaço de existência, não sendo possível afirmar que umas são melhores do que as outras ou mais eficientes. A construção de uma peça de marionetas na sua globalidade é um processo que depende de muitos factores, especialmente se forem introduzidas as variáveis da criatividade e experimentalismo. As equipas de trabalho podem fazer toda a diferença na rápida resolução de problemas. Alguns conceitos foram assimilados pela observação durante o acompanhamento da produção destas peças, nomeadamente a importância do desenho de luz e som na estrutura temporal da peça e na criação de ambientes. Um outro aspecto reflectido foi o de que uma marioneta não depende da sua complexidade, pormenor ou esquema de construção, mas sim da sua personalidade e da sua expressão visual e corporal. Assim, uma marioneta com apenas uma articulação na cabeça pode bastar para se ter uma marioneta bastante expressiva. O movimento pode estar implícito no próprio desenho. Aliás, pode-se obter uma marioneta com elevada expressão corporal com apenas

um varão ou vareta desde que possua algumas articulações, com a vantagem de que a sua manipulação fica extremamente simplificada.

4.2 Tecnologias e ferramentas

Para o desenvolvimento do projecto era fundamental fazer uma análise sobre as tecnologias e as ferramentas disponíveis, para assim encontrar a solução mais equilibrada. Foram tidos em consideração alguns aspectos comparativos importantes tais como a forma de seleccionar e distinguir as várias plataformas. Os principais aspectos avaliados prendiam-se com os processos de desenvolvimento da aplicação, a sua compatibilidade, a distribuição, expansibilidade, métodos de visualização tridimensional e motores de dinâmicas. Um dos aspectos que resultou na primeira selecção foi o da procura de ferramentas com uma distribuição híbrida, *on-line* para a Internet e *off-line* para CDROM, esta era uma condição de base para a expansibilidade da aplicação. As ferramentas de desenvolvimento analisadas e algumas extensões de dinâmicas e visualização 3D foram as seguintes: O Macromedia Director em conjugação com a plataforma Shockwave 3D nativa e o motor de dinâmicas Havok Dynamics; O Adobe Flash complementado com os ambientes tridimensionais, Sandy 3D e 3DFS e com os motores de dinâmicas APE, Box2DFlashAS3 e Fixengine; Java da Sun Microsystems com a API Java 3D e o motor de dinâmicas Phys2D; 3DVia Virtools contemplando o seu sistema proprietário de dinâmicas e de visualização 3D.

A primeira grande distinção encontrada entre estas ferramentas ou plataformas foi o facto de ferramentas como o Macromedia Director, Adobe Flash e o 3DVia Virtools serem consideradas ferramentas de autoria multimédia com barra temporal não linear, enquanto que o Sun Java pertence à classe das linguagens de programação, situando-se num segmento de mercado diferente. Assim, foi estabelecida uma organização de análise começando pelos ambientes de autoria multimédia em geral, os sistemas de visualização 3D e os motores de dinâmicas.

4.2.1 Ambientes de autoria multimédia

O Macromedia Director recentemente adquirido pela Adobe, é uma ferramenta de autoria multimédia multi-plataforma de distribuição em ambientes *off-line* e *on-line* através do uso da tecnologia Shockwave.

A sua utilização a partir da Internet é relevante e segundo a Adobe a tecnologia Shockwave já foi instalada em cinquenta e cinco por cento (55.4%) dos *browsers* (navegadores) em todo o mundo.

Esta ferramenta é caracterizada pela sua capacidade em operações rápidas de imagem bidimensional; pelo seu desempenho tridimensional; pela sua flexibilidade de distribuição e autoria e, finalmente, pela sua expansibilidade através da utilização do Flash e de *plugins*.

O Director começou por se chamar VideoWorks em 1985. Desenvolvida inicialmente pela MacroMind para a plataforma Macintosh, foi pensada para o desenvolvimento de CDROM e quiosques informáticos através de uma interface baseada na metáfora do cinema, em que o autor assumia uma postura de realizador. A sua próxima versão terá como prioridade a actualização do seu motor tridimensional. A interface foi desenvolvida para se tornar bastante intuitiva tendo como exemplo disso o *Lingo*, uma linguagem de programação interpretada (*script*) bastante intuitiva, nas últimas versões do Director foi implementada também a linguagem de programação *JavaScript*.

As suas funcionalidades podem ser expandidas através da integração do Flash com todas as suas potencialidades e a partir de *plugins* desenvolvidos em C++ que possibilitam ultrapassar algumas limitações.

O seu motor tridimensional complementado com o sistema de dinâmicas *Havok* permite o desenvolvimento de jogos e aplicações tridimensionais em tempo real. No entanto, nos últimos anos, esta ferramenta falhou no acompanhamento dos avanços de hardware tridimensional, tendo como resultado a migração de muitos dos seus utilizadores para outras ferramentas como a do Virtools. No entanto, a Adobe já anunciou o lançamento de uma nova versão para Janeiro de 2008; o regresso desta ferramenta afasta assim os rumores de que seria descontinuado. Algumas das novas características bastante importantes referem-se a aspectos de compatibilidade com os novos Macintosh com processadores Intel e com o Windows Vista, e a compatibilidade com o DirectX 9 abrindo as portas a várias novas possibilidades no âmbito do 3D; fica no entanto por se saber se esta nova versão incluirá o Havok Dynamics 5. Esta versão mais recente disponibiliza uma quantidade de funcionalidades incomparáveis com a versão disponibilizada actualmente, a primeira.

Por outro lado, o 3DVia Virtools apesar de ser compatível com vários navegadores apresenta apenas uma versão da aplicação para o sistema operativo Windows. A primeira versão foi lançada em 1999 com o objectivo de entrar no mercado do CDROM, nas simulações 3D em tempo real para empresas. Foi adoptado pela Electronic Arts e pela Microsoft para o desenvolvimento de jogos. Possui grande parte das características dos outros ambientes podendo mesmo as suas limitações serem resolvidas através da programação em C++; dispõe de um motor de dinâmicas simples, mas pode recorrer às dinâmicas do motor Havok através do res-

pectivo licenciamento; tem também um servidor de multi-jogador. O seu desempenho é inferior ao Java 3D e ao Shockwave 3D [39].

Um outro ambiente de autoria multimédia que se expandiu a partir do final da década de 90 foi o Flash. A primeira versão surgiu em 1997 como FutureSplash. Depois da sua aquisição pela Macromedia, esta ferramenta foi amadurecendo tornando-se um verdadeiro *standard* para a Internet. No entanto esta ferramenta disponibiliza conteúdos para vários meios de distribuição *on-line* e *off-line*, nomeadamente conteúdos para Internet, para CDROM, ou para dispositivos móveis. Recentemente a Adobe adquiriu a Macromedia passando vários produtos a fazer parte do pacote de aplicações Creative Suite, dos quais faz parte o Flash e dentro em breve o próprio Director. Possui um motor de visualização vectorial como resposta aos requisitos da largura de banda da Internet e assim reduzindo o tamanho dos ficheiros produzidos. Pode ser programado em *Actionscript*, uma linguagem interpretada do tipo *script* que tem sofrido grandes alterações apresentando-se actualmente com uma estrutura bastante sólida. Não apresenta qualquer motor tridimensional nem de dinâmicas, mas com as novas versões do *Actionscript* tem sido possível criar classes de funções e comportamentos capazes de simular ambientes 3D e motores de dinâmicas. As primeiras versões do Flash não ofereciam muitas funcionalidades e para se produzirem alguns efeitos semelhantes aos produzidos no Director era necessário mais código e mais procedimentos. Mas com a sua evolução, o Flash foi-se aproximando do Director, tanto a nível de interface como de funcionamento, sendo natural que algumas funcionalidades dedicadas ao Director transitassem para o Flash como o *multiuserServer* que passou a integrar o Flash sendo retirado do Director. No entanto, como existe uma integração do Flash com o Director, este pode aceder a todas as funcionalidades do Flash, incluindo o carregamento de projectos Flash, para dentro do Director. O Flash ao contrário do Director, não possui *Xtra* como expansibilidade, mas a evolução dos componentes em Flash tem possibilitado o aparecimento de muitos pequenos módulos parametrizáveis para determinadas funções ou comportamentos.

4.2.2 Ambientes Tridimensionais

Shockwave 3D é uma tecnologia 3D incluída no Macromedia Director e que foi desenvolvida pela Macromedia e pela Intel.

Foi publicada no ano 2000 com o objectivo de conquistar o mercado de jogos 3D essencialmente na Internet, é compatível com vários sistemas operativos e corre sobre todos os navegadores. Segundo a própria Adobe cerca de 60% do mercado tem este *plugin* instalado. As

suas principais características são: a importação de modelos tridimensionais da maioria das aplicações 3D disponíveis; a criação de primitivas ou malhas através de programação; malhas de múltiplas resoluções, subdivisão de superfícies, materiais e texturas por importação de dos modelos ou através de programação; atribuição de múltiplos materiais e texturas, incluindo mapas de reflexão, texturas multi-camada e texturas transparentes; detecção de colisões; neblinas; efeitos de partículas; câmaras de perspectiva ou ortográficas, animação por *keyframes* ou por ossos; projecções de imagens em camadas. Apresenta uma biblioteca de comportamentos parametrizáveis simplificando todo o processo de programação.

Um aspecto muito importante e que distingue este motor dos restantes é o facto de ser compatível com a ferramenta Character Studio para o 3DStudio Max, desta forma pode ser desenvolvida facilmente uma estrutura de esqueleto através da opção *biped* desta ferramenta e atribuída a uma personagem. A aplicação do modo *physic* do Character Studio faz com que a sua geometria seja deformada com a animação da personagem. Esta ferramenta tem várias opções que facilitam a animação de personagens, incluindo um modo de pegadas ou o sistema de edição de captura de movimento. Este sistema importa vários ficheiros obtidos a partir da captura de movimento, simplifica-os, organiza-os em árvores de relações, possibilitando criar uma sequência de movimentos, como por exemplo, repetir três vezes um ciclo de andar, misturar os últimos passos com um movimento de saltar e começar a correr. A ferramenta faz a mistura dos movimentos capturados de forma a criar um movimento sem interrupções. Com estes movimentos a geometria pode ser deformada para acompanhar os ossos do *biped* como forma de evitar membros em separado e assim uma perna pode ser apenas uma geometria que dobra no joelho em vez de duas geometria rígidas distintas.

Em termos de desempenho, como faz uso da aceleração por hardware através do DirectX ou OpenGL, tudo depende do desempenho da placa gráfica. Uma placa gráfica de apenas 32 Mbytes de memória pode visualizar centenas de modelos em simultâneo e mais de 20.000 polígonos, mas uma placa gráfica mais aceitável poderá visualizar milhares de modelos e mais de 100.000 polígonos. No entanto, também pode ser utilizado o *render* por *software* com um desempenho bastante inferior.

O Java 3D é uma API gráfica de alto nível. Define o seu próprio ambiente de execução, deixando para a aplicação a tarefa de simplesmente descrever a cena, retornando ao Java 3D para processamento. Tem compatibilidade com os sistemas Windows, Linux, Mac OSX, Solaris, HP-UX, IRIX, AIX.

A sua primeira versão foi lançada em 1996 e tem várias aplicações como o apoio de visualização de projectos científicos, desenho assistido por computador e jogos. Possui um sistema

de *render* completo com detecção de colisões, comportamentos, som tridimensional e aceita várias interfaces de interacção. Algumas aplicações utilitárias apoiam a criação do universo tridimensional. O Java 3D faz uso da aceleração por hardware sendo que o seu desempenho esteja relacionado com o das placas gráficas.

Sandy 3D¹¹ é um motor tridimensional para a plataforma Flash com compatibilidade a partir do Flash Player 7. É uma biblioteca *open-source* desenvolvida em *Actionscript* por Thomas Pfeiffer que permite simular ambientes tridimensionais no Flash. As capacidades deste motor estão relacionadas com a performance da máquina virtual que não oferece qualquer aceleração 3D nativa por *hardware* ou *software*. As suas principais características são: o facto de disponibilizar várias primitivas 3D; manipular facilmente os objectos nas suas propriedades de translação, rotação e escala podendo igualmente ser gerada a animação; controlo avançado da câmara através do movimento linear ou de percursos gerados por curvas de *bezier*; compatibilidade com alguns formatos 3D como os ASE, WRL, Collada e 3DS; um sistema de materiais capaz de criar transparências ou rugosidade em faces de objectos, texturas de imagens matriciais, texturas vídeo podendo mesmo ser *streaming* vídeo; utilização dos filtros do Flash para a produção de efeitos visuais; suporte para múltiplas câmaras;

O motor de visualização é o vectorial do Flash sendo que o desempenho não é a sua melhor característica, no entanto e segundo os autores, o desempenho em computadores recentes atinge os 9000 polígonos por segundo. O processo de funcionamento desta plataforma é descrito seguindo as seguintes etapas: criação da geometria; ligação da geometria à forma 3D – esta etapa corresponde à criação dos polígonos, das normais dos vértices e da geração dos polígonos vizinhos; criação da aparência, com dois materiais para ambas as faces; a ligação da aparência à forma, que automaticamente se liga a cada polígono; depois da cena criada é feita uma actualização das transformações locais, criada uma árvore com essas transformações e comparadas com as da memória, cálculo da visualização para os objectos visíveis e amostragem de cada material ligado aos polígonos.

Um outro motor 3D para a plataforma Flash igualmente desenvolvido em *Actionscript* é o 3DFS¹² por Antonin Stefanutti em 2007. Compatível com o Flash Player 7 oferece uma visibilidade de superfícies exacta mesmo que interceptadas por outras superfícies. Este sistema no entanto é bastante mais rudimentar que o Sandy3D que já dispõe de uma equipa de

¹¹ Sandy3D – <http://www.flashsandy.org/>

¹² 3DFS – <http://3dfs.playpixel.net/>

desenvolvimento permanente, apresentando limitações na área das texturas, das luzes e das câmaras.

4.2.3 Motores de dinâmicas

Um dos motores de dinâmicas com mais funcionalidades e maior desempenho é o Havok Physics. Está disponível para as consolas de jogos PlayStation2R, XboxT, GameCubeT e para PC. Este motor é o líder de mercado na indústria de jogos, com clientes como a EA Sports, Valve, Pandemic e Midway. Também é utilizado para a produção de efeitos especiais em filmes como no filme *Matrix* ou no filme *Troia*. Foi integrado na ferramenta de autoria multimédia Director através do Shockwave 3D e no Adobe Atmosphere. É o motor de dinâmicas nativo da aplicação tridimensional Discreet 3DStudio Max e foi recentemente implementado no jogo *HalfLife*. Depois de ter sido lançado em 1998 e integrado na versão 8.5 do Director Shockwave Studio no mesmo ano a partir de um *Xtra (plugin)*, este motor já vai na sua quinta versão, no entanto como a Macromedia não revalidou o contracto de utilização deste motor, apenas pode ser utilizada a 1ª versão do Havok. O Havok é um motor de simulação dinâmica de corpos rígidos e corpos deformáveis completamente integrado na plataforma Shockwave 3D. Oferece o acesso completo a propriedades físicas dinâmicas permitindo um controlo completo do mundo simulado. Possibilita a atribuição de propriedades como a massa ou a elasticidade a objectos dinâmicos, a aplicação de forças, de impulsos, de velocidades, entre muitas outras. Possui um sistema de colisões com grande desempenho e possibilita a importação de um ficheiro no formato HKE (*Havok Enviroment*) com todas as propriedades e atributos dinâmicos produzidas directamente nas aplicações tridimensionais sem necessidade de qualquer programação. Este formato está disponível para as aplicações 3D mais utilizadas, como o Discreet 3DStudio Max ou o Aliás Maya. O Havok *Xtra* para o Director vem acompanhado de uma biblioteca com vários comportamentos para darem vida a um universo tridimensional estático.

Os motores de dinâmicas para Flash também estão afirmar-se, desenvolvidos em *Actionscript* apresentam uma nova perspectiva de futuro na linguagem das páginas de Internet.

O APE, sigla que significa *Actionscript Physics Engine* é um motor *open-source* bidimensional de dinâmicas físicas desenvolvido em *Actionscript* 3.0 para ser utilizado em Flash ou Flex. Desenvolvido em finais de 2006 por Alec Cove, apresenta as seguintes funcionalidades: partículas de diferentes formas, fixas ou dinâmicas, com rotação, tracção, velocidade

angular, massa variável, elasticidade e fricção; molas e elásticos com rigidez, com ou sem colisões com constrangimentos; detecção de colisões.

Box2D é um motor de dinâmicas *open-source* programado em C++ por Erin Catto e direccionado para o campo dos jogos. Como o nome indica, Box2D é um motor 2D que ainda se encontra em fase de desenvolvimento e foi iniciado como um tutor para a conferência de desenvolvimento de jogos em Março de 2006. A partir deste motor foram solicitadas adaptações para projectos de integração em Flash através de chamadas de referência do *Actionscript 3.0* para a biblioteca em C++. Um desses projectos é o Box2DFlashAs3¹³ por Matthew Bush com alguns exemplos já disponíveis para visualização na Internet. Um outro sistema de dinâmicas para Flash baseado no Box2D é o Motor – *Rapid Flash Dynamics*. Este é um motor 2D de dinâmicas de corpos rígidos que se encontra numa fase de finalização. Uma adaptação do Box2D para Java é o Phys2D¹⁴ que introduziu algumas extensões como a fricção, articulações elásticas ou fixas, velocidade angular, entre muitas outras.

Um outro motor bastante promissor e que encontra ainda na versão alfa é o The Fisix Engine¹⁵, um motor de dinâmicas 2D para Flash completamente escrito em *Actionscript 3.0* e que aproveita o melhor desempenho do CPU do Flash Player 9. Este sistema apresenta as características gerais dos outros motores, ou seja, sistema de partículas, corpos rígidos, constrangimentos, molas e colisões.

Muitos outros sistemas de dinâmicas para Flash têm sido apresentados e divulgados na Internet como o Revive, baseado em intercepções dinâmicas que produz movimentos de objectos muito rápidos, ou o PopShapes, um motor de dinâmicas que trabalha com detecção de penetrações de qualquer objecto. Se uma intercepção for detectada, o simulador consegue resolver essa colisão com elevado grau de pormenor com grande desempenho.

Apesar do desempenho do Flash em simulação dinâmica e tridimensional ser bastante inferior a plataformas como o C/C++, Java ou Shockwave 3D existe um espaço muito amplo para a sua utilização. O Flash é a principal ferramenta de autoria para a Internet e, como tal, a utilização destes motores em páginas da Internet poderá ter um novo impacto nas interfaces, no entanto a primeira vaga de aplicação destes motores será a dos jogos *on-line*, não da complexidade de jogos como o HalfLife mas com outra dimensão e talvez com a mesma popularidade.

¹³ Box2DFlashAs3 – <http://box2dflash.sourceforge.net>

¹⁴ Phys2D – <http://www.cokeandcode.com/phys2d/>

¹⁵ Fisix Engine – <http://fisixengine.com/>

4.2.4 Tecnologias de aceleração 3D

As duas principais plataformas de aceleração tridimensional são o Direct3D e o OpenGL. Estas tecnologias alimentaram um conflito entre a Microsoft e a Silicon Graphics desde o aparecimento da Microsoft DirectX, para encontrar uma única plataforma gráfica *standard*. Esta esteve muito perto de aparecer com a API gráfica Fahrenheit, uma tentativa de unificação das duas plataformas que acabou por ser abandonada devido às diferentes políticas das duas empresas.

Direct3D é uma API (interface de programação) desenvolvida pela Microsoft para construir aplicações gráficas 2D e 3D, sendo uma componente do DirectX. DirectX é um conjunto de APIs multimédia que permitem aceder directamente ao *hardware* como forma de melhorar o desempenho. É apenas compatível com os sistemas operativos Windows e em versões incorporadas nas consolas Microsoft Xbox.

Em termos de usabilidade, a interface Direct3D começou por ser considerada por muitos programadores uma API complicada (tosca / desajeitada), isto porque para executar a mesma função que no OpenGL eram necessários inúmeros passos. As versões actuais do Direct3D já não são consideradas complicadas mas continuam a seguir um paradigma diferente do OpenGL, visto que o Direct3D foi desenvolvido sobre a plataforma COM (modelo de objecto por componente) da Microsoft produzindo assim um código de programação C++ um pouco diferente do *standard*.

OpenGL (*Open Graphics Library*) é uma API multiplataforma *standard* desenvolvida pela Silicon Graphics para produzir aplicações gráficas 2D e 3D. O OpenGL está disponível para vários sistemas operativos, incluindo o Windows, vários sistemas operativos de base Unix, tais como Mac OS X e Linux e para a consola de jogos PlayStation 3. Para as consolas Nintendo GameCube, Wii, Nintendo DS, PlayStation Portable são utilizadas variantes do OpenGL. Com a excepção dos sistemas operativos Windows e da consola de jogos Xbox, todos os sistemas operativos que permitem aceleração gráfica 3D por Possui um *hardware* utiliza o OpenGL como API 3D gráfica principal.

O OpenGL é uma especificação baseada na linguagem de programação C mas que pode ser implementada noutras linguagens de programação. As versões mais recentes do OpenGL são mais orientadas aos objectos.

Em geral, o Direct3D é designado como uma interface de hardware 3D. As suas características derivam das disponibilizadas pelo hardware. Por outro lado, OpenGL é designado como sendo um sistema 3D de visualização que pode ser acelerado por Hardware. Estas duas

API's foram desenvolvidas com fundamentos diferentes, apesar disso elas apresentam actualmente funcionalidades semelhantes. No entanto, existe uma grande diferença em termos de funcionalidade que se prende com a gestão de recursos de hardware. O Direct3D deixa para a aplicação a gestão de recursos, traduzindo-se numa maior facilidade de implementação mas obrigando a um desenvolvimento independente dessa mesma plataforma. O OpenGL implementa essa mesma gestão, facilitando o desenvolvimento da API, mas aumentando a complexidade da implementação.

A utilização destas duas plataformas foi diferenciada especialmente por factores históricos. O OpenGL sempre foi visto como uma referência no mercado profissional gráfico, enquanto que o Direct3D sempre foi a plataforma eleita no mercado dos jogos. As primeiras ferramentas profissionais gráficas tridimensionais desenvolvidas para as estações gráficas dedicadas da Silicon Graphics utilizam o IRIX GL que mais tarde foi generalizado como OpenGL e adoptado pelas principais marcas de placas gráficas. O DirectX foi criado com o propósito do desenvolvimento de jogos possibilitando um melhor desempenho através do acesso de baixo nível ao hardware. Actualmente os fabricantes de hardware contemplan a compatibilização das duas plataformas.

4.2.5 Selecção da plataforma de desenvolvimento

Após vários estudos comparativos e algumas experiências e ensaios, a plataforma escolhida foi o Macromedia Director. Esta permite a integração de vários softwares e extensões capazes de ultrapassar qualquer limitação. O ambiente Shockwave 3D desenvolvido pela Macromedia e Intel apresenta um desempenho notável em comparação com os outros ambientes estudados. O motor de dinâmicas Havok é considerado um dos melhores motores comerciais vem já incorporado no Director sem necessidade de custos adicionais, no entanto o facto de apenas ser disponibilizada a primeira versão deste *plugin* apresentou-se como uma grande desvantagem, visto que a partir da segunda versão é disponibilizada uma função especialmente desenhada para trabalhar com esqueletos, podendo simplificar todo o processo. As outras plataformas não cumpriam alguns requisitos ou encontravam-se de alguma forma inferiorizadas. O Java não foi escolhido porque apenas apresentava um motor de dinâmicas bidimensional bastante rudimentar, apesar de existirem mais investigações nesta área. Também por não ser uma plataforma de autoria multimédia, que poderia levar a um acréscimo considerável de tempo dispendido no desenvolvimento da aplicação. O Virtools tem bastantes desvantagens em relação ao Director, nomeadamente o facto de ser compatível

apenas com o sistema operativo Windows, não ser compatível com todos os navegadores e a percentagem de *plugins* instalados nos navegadores ser bastante diminuta. O motor de dinâmicas nativo é bastante simplificado sendo no entanto possível recorrer ao motor Havok através da sua aquisição. Por outro lado, o Adobe Flash apresenta como vantagem a sua grande implantação na Internet, mais de 80% dos navegadores têm disponível o Flash Player. No entanto, não possui qualquer ambiente tridimensional nativo, sendo que os ambientes apresentados são todos versões alfa, ainda em investigação e longe de se apresentarem como plataformas fiáveis e estáveis. Tal como os motores de dinâmicas escritos em *Actionscript* 2.0 ou 3.0 padecem de um bom desempenho estando muito afastados dos recursos de baixo nível. No entanto, dada a popularidade do Flash, é de adivinhar que tanto a visualização 3D e os motores de dinâmicas comecem a popular a Internet.

O Director, como está num patamar acima do Flash, permite carregar para dentro do seu ambiente aplicações em Flash, utilizar os seus recursos e componentes, podendo por exemplo, utilizar os motores de dinâmicas e a visualização 3D do Flash. Não só é possível controlar as aplicações em Flash como é possível partilhar os seus recursos como controlar dispositivos a partir do Director via Flash. Um exemplo disso pode ser uma aplicação em Flash carregada para dentro do Director que captura o volume do microfone e envia estes valores para o Director que os processa e representa através de gráficos animados. Uma outra vantagem do Director em relação às restantes plataformas é o processo simplificado de trabalho no desenvolvimento de uma aplicação 3D com dinâmicas, podendo todo o projecto ser modelado, texturado, deformado e animado na aplicação 3D e com todas as atribuições dinâmicas, aplicação de forças e definição de colisões estabelecidas igualmente na aplicação 3D. Toda esta informação é passada para o Director em dois ficheiros sendo apenas necessária a atribuição de alguns comportamentos parametrizáveis para que funcione todo um universo tridimensional altamente complexo, dinâmico e interactivo em tempo real.

4.3 Implementação do projecto

Depois de todo o processo de investigação, experimentação, selecção e reflexão é chegada a altura do desenvolvimento da aplicação. Para isso foram definidos vários parâmetros de evolução que caracterizam a aplicação em várias etapas do seu desenvolvimento.

A aplicação iria ser construída numa primeira fase segundo alguns parâmetros generalizados que mais tarde deveriam ser especificados e concretizados, nomeadamente a definição do público-alvo, a compatibilidade, a sua distribuição, as interfaces de interacção, entre muitos

outros. Numa segunda fase, e devido às múltiplas aplicações do projecto, seria importante segmentar esta ferramenta. As áreas proeminentes seriam as da animação, do entretenimento, do teatro e da pedagogia. Assim, poderia surgir uma versão profissional da ferramenta com características para os estúdios de animação e produtoras de televisão para distribuição *off-line*, ou seja uma versão *standalone* da aplicação. Por outro lado, uma versão performativa para aplicação em companhias de teatro, versão também *off-line*. A versão pedagógica seria uma das mais completas em termos de trabalho de colaborativo, podendo ser distribuída *on-line* e *off-line*. Neste caso faria todo o sentido a possibilidade de trabalhar com a aplicação em múltiplos postos de trabalho de forma a que toda a equipa possa participar. A versão entretenimento seria mais simplificada, com o objectivo de distribuição na Internet, a ideia de poderem participar muitos utilizadores em simultâneo apresentava-se como uma mais valia. Nesta versão, várias marionetas podiam interagir umas com as outras, numa peça de teatro virtual ou em diversos jogos. Todas estas versões diferem no público-alvo, no método de distribuição e essencialmente no objectivo da aplicação e assim se explica a necessidade de as segmentar. Exemplo disso é a diferença do desenho de interfaces de uma aplicação infantil para uma aplicação profissional.

O projecto seria desenvolvido num ambiente tridimensional tirando partido do alto desempenho do Shockwave 3D e das imensas possibilidades que este ambiente apresenta. A utilização da simulação dinâmica seria um dos aspectos mais interessantes a explorar e que poderia trazer uma nova dimensão à animação interactiva de bonecos articulados.

Uma outra característica importante a definir seria as interfaces de interacção, nomeadamente o rato e o teclado.

4.3.1 Estrutura e definição do projecto prático

A aplicação a ser desenvolvida no âmbito deste projecto recebeu o nome de aniMatic como analogia aos primeiros ensaios de animação em desenho criados na primeira fase de produção dos filmes de animação.

aniMatic é o nome utilizado para definir o esboço animado de um filme de animação. Como nos filmes de animação cada segundo é precioso e não se podem desperdiçar fotogramas, são utilizados os “animatics” de forma a visualizar o filme num primeiro estágio. Os “animatics” são construídos a partir do *storyboard*, que depois de devidamente separado em planos servem como base para a animação dos elementos mais importantes. Movimentos de câmara, efeitos especiais e transições podem também ser contemplados. O “animatic” serve para se

poder fazer uma pré-montagem do filme e assim se definir o número de planos e o tempo de duração de cada plano para a produção da animação, servindo igualmente para o realizador ter uma primeira noção do filme em termos gerais.

Uma das aplicações deste projecto é o ensaio da animação em tempo real, assim a analogia aos “animatics” é devidamente fundamentada. O facto de o nome em si ser identificado a nível internacional também ajuda a uma possível compreensão e distribuição global da aplicação. A própria sonoridade do nome invoca uma certa relação entre a animação e as tecnologias.

Foram pensadas três etapas distintas de desenvolvimento do projecto a curto, médio e longo prazo. A primeira, a ser apresentada com esta dissertação tem como objectivo desenvolver a parte fundamental do motor da performance da marioneta virtual. Esta etapa será caracterizada pelo estudo de possibilidades e do desenvolvimento de um protótipo de uma marioneta virtual devidamente articulada para ser animada pelo utilizador em tempo real. Assim, será possível fazer uma análise mais profunda da viabilidade do projecto e também servirá para experimentar a aplicação nos diferentes públicos. A segunda etapa tem como objectivo construir uma aplicação genérica com as várias valências e funcionalidades independentemente do público a que se destina. Desta forma, iremos procurar definir e distinguir quais as melhores funcionalidades para cada segmento, métodos de distribuição, desenho das interfaces. Com uma definição de funcionalidades concretas para cada área de intervenção passa-se para a última fase, o desenvolvimento das várias aplicações para distribuição comercial e gratuita para entidades escolares e um portal de apoio à comunidade aniMatic.

Esta divisão tem como objectivo amadurecer o projecto, criar um modelo de negócio, integrar equipas, e sobretudo avaliar resultados antes da sua publicação.

Prevendo um desenvolvimento gradual e por equipas apresenta-se uma estrutura modelar do projecto. No entanto, esta estrutura fica temporariamente organizada para abarcar todas as áreas de intervenção para que numa última etapa se possa organizar consoante cada versão. Desta forma a organização dos vários módulos previstos durante o desenvolvimento da segunda etapa encontram-se relacionados com as várias fases de produção, ou seja a pré-produção, produção e pós-produção. Todos os módulos seriam carregados pelo motor principal da aplicação com uma interface por janelas possibilitando trabalhar com vários monitores e vários módulos em simultâneo.

4.3.2 Construção da marioneta virtual

O processo de desenvolvimento da marioneta virtual passaria muito pelos métodos e processos aplicados nas aplicações 3D. Estes foram intensamente experimentados e revelaram-se cruciais na relação entre as aplicações 3D e no ambiente de autoria. Foi verificado que grande parte das aplicações 3D dispunham da exportação em Shockwave 3D, mas apenas a aplicação Discreet 3DStudio Max possuía o *plugin* Havok (Reactor 1.0) capaz de exportar todos os atributos dinâmicos. Mesmo esta aplicação apenas disponibilizou este *plugin* em duas versões sendo mais tarde incorporado numa outra aplicação 3D da mesma empresa orientado especialmente para o desenvolvimento de jogos, com o nome de Discreet Plasma. Esta ferramenta bastante mais simplificada tinha incorporado um simulador de Shockwave 3D capaz de detectar incompatibilidades e verificar o funcionamento em tempo real e de uma forma interactiva dos modelos. Esta foi uma ferramenta importante para testar alguns métodos e processos de trabalho, no entanto e apesar de utilizar o mesmo *plugin* Havok Dynamics, este não era compatível com o 3DStudio Max e apresentava algumas diferenças. Esta ferramenta também seria mais tarde descontinuada para dar lugar a uma outra com o nome de Discreet Gmax incorporando a nova versão do Reactor 2.0 da Havok Dynamics, incompatível com o Director.

Este foi um processo atribulado até encontra um esquema de trabalho que libertasse dos problemas técnicos para focar apenas na construção da marioneta. Uma outra questão que foi levantada durante o desenvolvimento do projecto foi a forma indirecta de trabalhar com o universo do Shockwave 3D. Ou seja, determinados processos supostamente simples podiam ser apresentados como autênticos enigmas. Como, por exemplo, a animação de câmara não passava para o Director, para contornar este problema criava-se um objecto de referência (*dummy*), a este objecto estava ligada a câmara passando esta a ser refém do movimento desse objecto; ao animar o objecto na aplicação 3D, este forçava a câmara também a animar. Desta forma era possível passar para o Director a animação da câmara.

Apesar de estes processos não serem muito claros nem directos era possível trabalhar com muitas condições, especialmente o facto de se poder construir e animar os modelos, atribuir materiais com texturas e definir comportamentos dinâmicos tudo dentro da aplicação 3D era um processo bastante simplificado, visual e capaz de ser simulado antes mesmo de ser enviado para o ambiente de autoria.

A geometria da marioneta começou a ser modelada em polígonos podendo mesmo ser utilizada a subdivisão de superfícies. Este último seria um bom método para construir uma

marioneta de malha única, capaz de ser deformado para a animação através dos ossos, ou mesmo para a animação de roupas com comportamentos dinâmicos. No entanto, optou-se para este projecto pela segmentação de todos os membros, como as marionetas tradicionais, construídas em vários blocos, partindo assim da modelação 3D de paralelepípedos para simular uma marioneta bípede. Devidamente alinhados e com as proporções correspondentes às de uma marioneta, estes blocos estariam fisicamente separados sendo necessária a criação de ligações para as articulações. Foram definidos 12 paralelepípedos para formar todo o corpo da marioneta, dois para cada membro, três para o tronco e um para a cabeça. A organização do esqueleto apresenta a seguinte configuração: Ao membro da perna pertence a coxa e a perna; ao tronco estão associados o tórax, o estômago e a pélvis; Ao braço pertencem o antebraço e o braço. Os pés e as mãos ficariam anexos às pernas e aos antebraços.

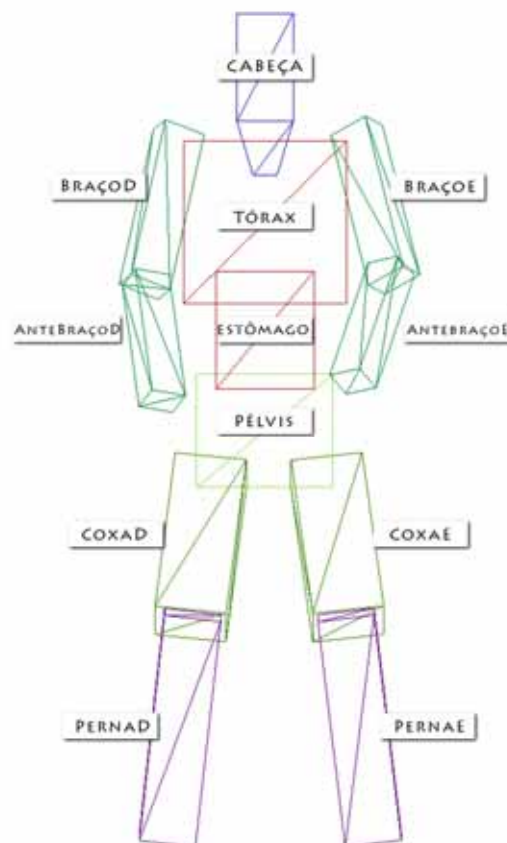


Fig. 29 – Esqueleto da marioneta em polígonos

Para a ligação de todos os paralelepípedos seria necessário criar articulações para cada membro e, estas deviam ser correctamente posicionadas nos eixos de rotação e se necessário devidamente constringidas. Estão disponíveis vários métodos para produzir estas articulações, nomeadamente através da utilização de ossos, de ligações de dependência, pelo método de *biped* disponibilizado pelo *plugin* Character Studio, ou por ligações dinâmicas como as molas e os elásticos. Estas articulações definem uma hierarquia no esqueleto do boneco, de forma a que o antebraço esteja ligado ao braço e que por sua vez este esteja ligado ao tronco. O posicionamento destas articulações também influencia o movimento do boneco.

O método dos ossos é bastante popular na animação digital, como forma de obter esqueletos articulados para a animação através da técnica de cinemática inversa. No entanto, só pode ser utilizado no Director em modo de animação gravada através da função *bonesplayer*. Por outro lado, as ligações de dependência não são as mais indicadas para a animação de esqueletos quando existem outros métodos disponíveis, esta é uma forma genérica de criar dependências de uns modelos para os outros. Por exemplo, a ligação de parentesco entre várias rodas possibilita a animação de apenas uma das rodas, pois as restantes seguem o seu movimento. Um outro método para a animação de esqueletos disponível apenas no 3DStudio Max pelo *plugin* Character Studio é o *biped*. Este, tal como o método dos ossos, só pode ser utilizado com animações gravadas podendo ser despoletadas pelo utilizador. Como exemplo, podem ser gravados na aplicação 3D, o ciclo de movimento do andar no intervalo dos primeiros 20 fotogramas, o ciclo do correr do fotograma 21 ao 30 e o movimento de saltar nos 8 fotogramas seguintes. Podem ser atribuídos nomes a estes intervalos para facilitar o acesso a estes movimentos no Director, podendo o movimento de saltar ser accionado através de um salto no tempo para o fotograma 31 ou através do nome “saltar”. O Director permite fazer o chamado *frame blending*, a transição suavizada de um movimento para o outro, para que assim não existam saltos abruptos de movimento. Este é o sistema típico utilizado nos jogos de computador, onde todos os movimentos são previamente gravados. A sua aplicação neste projecto poderia simplificar todo o processo, através da gravação dos vários movimentos de uma marioneta. No entanto, o movimento produzido nunca seria verdadeiramente gerado pelo utilizador, este apenas indicava a sua acção. Com este projecto pretende-se uma nova abordagem na interacção de bonecos articulados, que seja verdadeiramente interactiva, dinâmica e em tempo real e portanto este não seria o método mais indicado.

As primeiras experiências com a marioneta virtual foram produzidas com ligações de parentesco nas articulações e com a ausência do motor de dinâmicas. Os resultados desta abordagem não foram muito satisfatórios, a relação de movimento de uns membros para os outros

era muito mecânica e o boneco apresentava um comportamento demasiado estático e rígido, assemelhando-se a um boneco articulado para a animação em *stop motion*. A geração de movimentos secundários poderia ajudar a superar o problema do estático, mas não seria muito fácil criar pequenos movimentos automáticos em vários membros para trazer dinâmica. Uma outra forma de ultrapassar este problema poderia ser a inclusão do sistema de dinâmicas fornecendo à cena tridimensional uma série de propriedades e forças físicas.

A introdução das dinâmicas em cena veio reformular as relações entre os objectos, deixando de estar relacionados apenas pela sua hierarquia para se tornarem literalmente uns pesos suspensos uns nos outros. O método de ligações das articulações também teve de ser alterado para funcionar num universo dinâmico e assim foram introduzidos os elásticos nas articulações. As propriedades dinâmicas atribuídas a cada membro foram as da massa, elasticidade e fricção para uma determinada escala e gravidade. Foram então definidos vários parâmetros de referência para ser possível utilizar o sistema de dinâmicas. Tentámos fazer um paralelo entre a realidade e este mundo virtual procurando definir alguns valores e medidas mais próximos da nossa realidade. A unidade de medida de referência adoptada foi o metro, o valor atribuído à gravidade foi o de -9.81m sobre o eixo Z simulando a gravidade terrestre a uma escala de 1 metro para o real, a tolerância das colisões foi de 0,1 metros. Depois de serem definidos os valores globais da cena, era fundamental definir os valores da massa, elasticidade e fricção para os diversos membros. Estes valores foram experimentados com base no conhecimento adquirido sobre marionetas. No entanto, foi necessário desenhar uma aplicação especial para se poder ajustar os vários valores e verificar as diferenças em tempo real e assim, poder observar o comportamento da marioneta sob a influência dos vários parâmetros das dinâmicas e a reacção aos métodos de manipulação.

O cálculo das dinâmicas afecta directamente o desempenho, sendo necessária uma filosofia de optimização na modelação dos modelos. O cálculo de dinâmicas de modelos côncavos exige mais processamento do CPU, ao contrário dos modelos convexos como as esferas, os cilindros ou os paralelepípedos. Assim, como forma de evitar os modelos côncavos mas sem limitar a forma da geometria da marioneta foram produzidas duas marionetas. A primeira, totalmente modelada com formas convexas, vários paralelepípedos e uma esfera a servir de cabeça, funcionava como referência para o cálculo das dinâmicas, para as articulações e para a interacção com o utilizador, assumindo um estado de invisibilidade. A segunda, modelada com formas côncavas ou convexas, é modelada com base na referência da primeira mas com toda a liberdade, sendo esta a marioneta visível para os utilizadores. A marioneta de referência funciona como um escudo protector geométrico no cálculo das colisões, sobrepondo-se

um pouco para fora do corpo da marioneta visível. Desta forma, o utilizador ao seleccionar o braço da marioneta visível para o movimentar está na realidade a seleccionar e a movimentar o braço invisível, mas como a marioneta visível está totalmente ligada à sua referente, todos os movimentos produzidos são-lhe transmitidos. Com esta técnica privilegia-se o desempenho em tempo real, e caso não existem grandes diferenças na ocupação de espaço entre a marioneta de referência e a marioneta visível a sua interacção apresenta óptimos resultados. Esta é a técnica utilizada nos jogos de computador aplicada a personagens, veículos, objectos e adereços. Neste projecto poderá ser também utilizada nos restantes elementos caso não sejam convexos.

4.3.3 Expressões corporais e métodos de interacção

A expressão corporal é uma forma de comunicação com uma linguagem muito própria mas universal, a linguagem do corpo. É através da expressão corporal que uma marioneta ganha vida e é caracterizada essencialmente pelo movimento da marioneta e pela sua postura, que lhe definem um perfil psicológico.

A animação do corpo está relacionada com todas as variáveis dinâmicas que definem a personagem e com os métodos de manipulação aplicados. Estes, por sua vez, estão relacionados com os dispositivos de interacção. Foram estudados dois tipos de manipulação de marionetas virtuais a título comparativo e com o objectivo de viabilizar um destes métodos. Estes foram os métodos de manipulação directa, através do rato como dispositivo de interacção e o de manipulação por fios através de um *gamepad*. Na manipulação directa o marionetista garante uma grande liberdade de movimentos. O método da manipulação por fios apresenta uma dinâmica muito própria podendo ser aproveitada para uma maior expressão de movimento. Em ambos os casos, as articulações desempenham um papel fundamental no movimento do corpo. Foi adoptado o método de elásticos (*dashpots*) depois de alguns estudos comparativos com outras soluções como o das molas, ou o das ligações de parentesco.

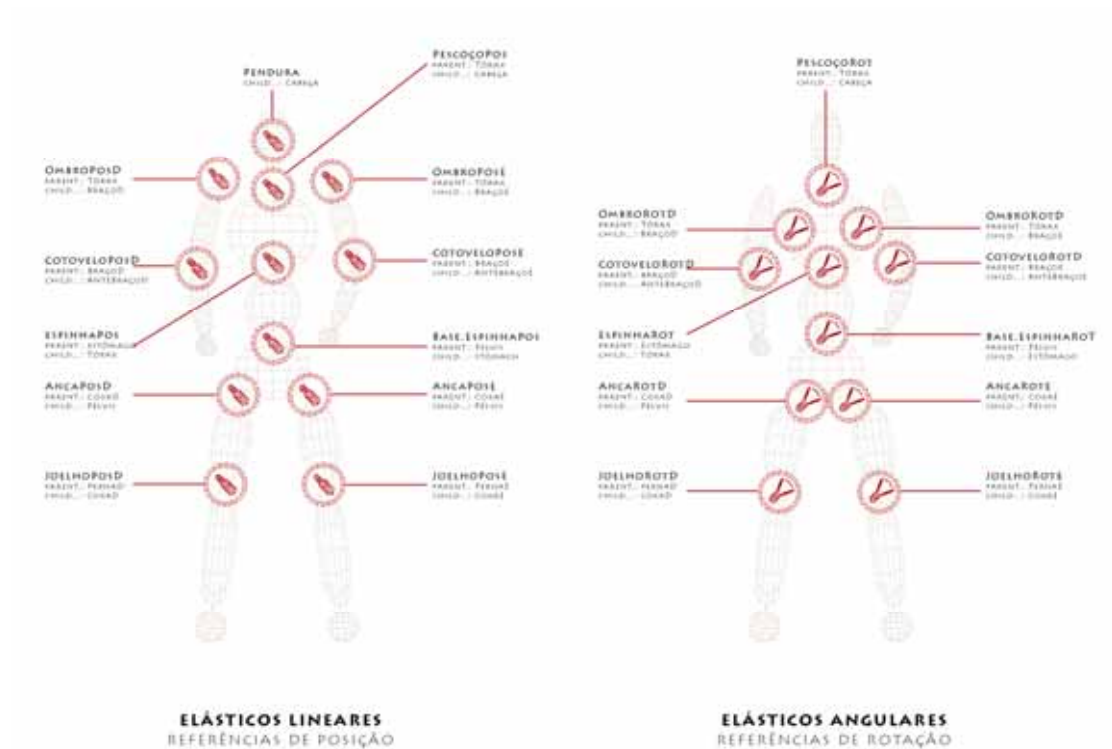


Fig. 30 – Esqueleto da marioneta com os elásticos lineares e angulares nas respectivas articulações.

Estes estudos revelaram que a marioneta responde com mais dinâmica com os elásticos apresentando um movimento mais ondulado, orgânico e com mais vitalidade. Na realidade existem dois tipos de elásticos, podendo ser utilizados em separado ou em conjugação, são eles o elástico angular e o elástico linear. O angular permite fixar o modelo a uma determinada orientação, podendo esta estar fixa à orientação de um outro modelo e assim restringir a rotação de um dado modelo a um outro. O elástico linear fixa a posição de um determinado modelo a uma posição no espaço tridimensional ou a um segundo modelo, permitindo restringir o seu posicionamento. A combinação dos dois elásticos possibilita a criação de articulações devidamente limitadas. Os parâmetros do elástico angular são a definição dos dois modelos que se pretende ligar, a definição do eixo de orientação que o elástico tenta manter, o ângulo de orientação a manter, a força do elástico e a velocidade que volta à posição de descanso elástico linear apresenta também os parâmetros de definição dos dois modelos a ligar, um ponto para cada modelo que define o espaço local de ligação ao elástico, a força do elástico e a velocidade a que o elástico volta à posição de descanso. Os elásticos são então colocados em todas as articulações e devidamente configurados; para cada articulação são

atribuídos dois elásticos que perfazem um total de 20 elásticos. As primeiras experiências apenas com os elásticos lineares revelaram-se bastante positivas, introduzindo-se os elásticos angulares para limitar rotações exageradas.

4.3.3.1 Manipulação directa

A primeira abordagem à marioneta virtual foi através da utilização do rato para manipular os diferentes membros, ou seja, através da manipulação directa. Os movimentos produzidos por este método são bastante fluidos e dinâmicos, podendo-se produzir movimentos rápidos ou lentos, exagerados ou com bastante pormenor, totalmente controlados pelo utilizador de uma forma bastante intuitiva e simples.

Para iniciar este processo de manipulação, foi necessário em primeiro lugar construir uma marioneta simplificada, apenas com a cabeça, tronco e braços. Em segundo lugar definir todas as variáveis dinâmicas para cada modelo e finalmente produzir todas as articulações. A marioneta depois de importada para o Director teve de ser presa por um elástico na cabeça para não cair com a gravidade. Nos primeiros ensaios as articulações apresentavam uma elasticidade tão grande que bastava um pequeno movimento para por a marioneta a girar sobre ela própria. Este tubo de ensaio serviu para tirar algumas conclusões sobre os valores atribuídos e sobre as posições dos respectivos modelos e dos seus eixos. Depois de todos os valores corrigidos, passou-se para um modelo mais completo e os resultados obtidos superaram as primeiras expectativas passando para uma marioneta completamente articulada, interactiva e reagindo em tempo real com comportamentos dinâmicos muito interessantes. Aliás, os elásticos transmitiam uma vitalidade à marioneta produzindo movimentos bastante caricatos. A interacção da marioneta virtual através do rato assemelha-se de certa forma à manipulação directa de uma marioneta real sendo possível recriar alguns movimentos. Mas para manipular vários membros em simultâneo teria de ser implementado um sistema com vários ratos, uma tarefa difícil de concretizar tanto em termos técnicos, como em termos de manipulação, tornando-se um sistema complicado de coordenar. Desta forma e apesar dos bons resultados obtidos na manipulação e animação, o recurso a este dispositivo tornava a aplicação um pouco limitada, podendo apenas ser animado um membro de cada vez.

Foram então estudadas alternativas a este modelo, partindo agora para a abordagem das marionetas de manipulação por fios.

4.3.3.2 Manipulação por fios

A partir de vários esquemas de marionetas de fios e de alguma experiência obtida durante toda a fase de investigação partiu-se para a adaptação de uma marioneta de fios num ambiente virtual. Depois dos bons resultados obtidos com a manipulação directa havia um certo optimismo em alcançar rapidamente iguais resultados. No entanto, esta foi a fase mais demorada e complicada de ultrapassar. A razão para inúmeras experiências falhadas era determinada pela forma como a marioneta ligava ao comando. Na realidade, não existiam fios de ligação, mas sim, elásticos e estes teimavam em produzir efeitos incontrolláveis. Depois de um longo período de experiências e análises os elásticos foram substituídos por molas. Isto deve-se essencialmente ao facto de se poder definir nas molas o parâmetro da distância de descanso. Aliás, este parâmetro pode ser introduzido na aplicação 3D calculando automaticamente a distância de um modelo para o outro. Se os elásticos funcionavam muito bem para pequenas distâncias, já produziam comportamentos altamente irregulares em grandes distâncias. Um outro parâmetro muito importante nas molas é o permitir a inibição na compressão ou na extensão da distância de descanso definida. Assim, pode ser definido que a mola só é accionada caso a distância seja comprimida ou estendida. A grande dificuldade de ultrapassar este problema foi o facto de não existir grande documentação sobre a utilização do *plugin* Havok tanto para o Director como para o 3DStudio Max, sendo que a partir da experimentação o tempo necessário para obter resultados é sempre superior.

Para a manipulação de fios construiu-se um comando horizontal simples com as molas ligadas ao comando e aos vários membros. Apesar dos resultados com as molas serem encorajadores, as suas ligações não permitiam uma boa manipulação. Foram revistos os valores dinâmicos dos vários modelos e as respectivas articulações para ajustar à nova realidade. No entanto, tal como numa marioneta de fios real, a posição inicial do boneco não pode estar completamente na vertical. As pernas têm de se encontrar ligeiramente flectidas com os joelhos para cima e os braços ligeiramente dobrados com as mãos para o interior. Desta forma, a posição do corpo ajuda à articulação dos joelhos e das mãos, locais de ligação dos fios. O mesmo acontece com a marioneta virtual e só depois do posicionamento correcto dos vários membros é que os resultados começaram a aparecer.

O comando também se apresentou como um verdadeiro desafio complexo de ultrapassar. Foram experimentados vários comandos adaptados do real, fossem eles horizontais ou verticais apresentavam sempre resultados muito limitados. A amplitude de movimento das pernas ou dos braços era muito pequena. Para resolver este problema foi inventado um novo

comando baseado no comando horizontal com umas teclas de puxar. A este comando chamamos de pianoMatic e funciona de uma forma muito simples podendo mesmo ser aplicado a marionetas reais.

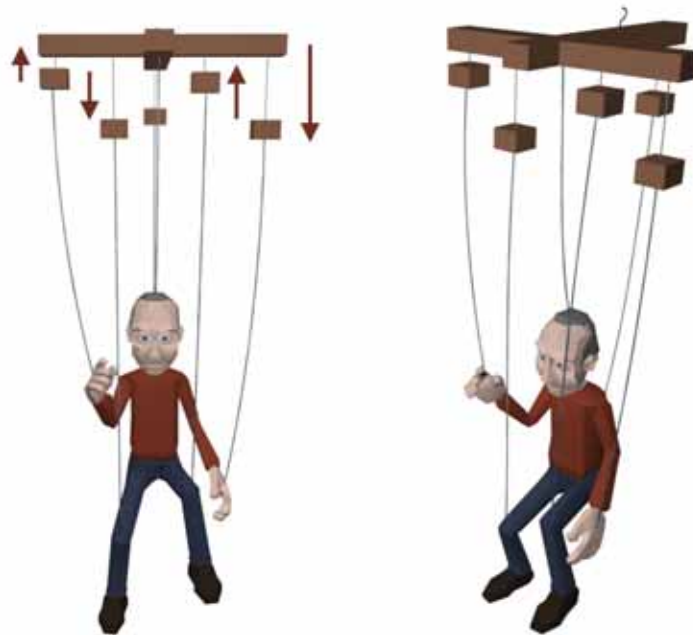


Fig. 31 – Marioneta virtual manipulada pelo comando pianoMatic

A marioneta encontra-se suspensa no comando através de um elástico que prende a cabeça ao centro do controlo. Este apresenta-se com umas teclas suspensas através de uns elásticos que o ligam aos vários membros. Ao puxar as teclas para cima os membros sobem, podendo estes ser accionados individualmente ou em grupo, o que normalmente não acontece, como por exemplo com as pernas que são geralmente alternadas para produzir o movimento do andar. Como as teclas estão ligadas ao controlo principal, acabam por receber os movimentos produzidos por este, ou seja, se rodarmos o controlo principal as teclas acompanham esse movimento transmitindo-o para os membros. O comando principal também pode ser inclinado de forma a dobrar a marioneta, através de um fio que liga as costas à extremidade de trás da barra longitudinal. No entanto, para que a cabeça e o restante corpo se inclinem para a frente é necessário dar folga ao elástico que prende a cabeça e que sustenta todo o corpo através da redução da força deste elástico. Este comando é caracterizado por dois paralelepí-

pedos cruzados e dispostos na horizontal por cima da marioneta formando uma cruz. Quatro pequenos paralelepípedos encontram-se suspensos por baixo da barra principal e ligados a esta por elásticos lineares e angulares, num total de 8, que por sua vez ligam às articulações das mãos e dos joelhos por molas. Um pequeno paralelepípedo suspenso por um elástico por baixo da barra longitudinal na extremidade traseira, liga a zona da pélvis permitindo a inclinação da marioneta. Os resultados obtidos com a adaptação do pianoMatic à marioneta virtual não foram imediatos, mas serviram para ultrapassar os problemas graves de manipulação.

A implementação de um comando para controlar a marioneta implicava o recurso a um novo dispositivo de interacção diferente do rato devido às múltiplas possibilidades de controlo. Foi adoptado o *gamepad* por ser um dispositivo bastante acessível, generalizado, de baixo custo e que possui vários controlos. Entre os vários *gamepads* disponíveis no mercado foi escolhido aquele que oferece dois *joysticks* de controlo como forma de produzir vários movimentos independentes em simultâneo. A adaptação deste dispositivo ao comando foi alvo de uma análise aprofundada na perspectiva de encontrar a melhor combinação, dada a panóplia de movimentos possíveis. Assim, foi tida como referência a forma como a mão manipula um comando real, possibilitando o movimento de translação e rotação de toda a marioneta em simultâneo com o movimento dos braços ou das pernas. Para se conseguir este tipo de manipulação seria necessário atribuir a um *joystick* o movimento dos braços ou das pernas e ao outro, o movimento de translação ou de rotação de toda a marioneta.

O controlo do *joystick* dos membros deveria também possibilitar uma alternância, de modo a produzir por exemplo o movimento do andar, conseguido através do balancear do comando real para um lado e para o outro. Para introduzir esta funcionalidade foi atribuído ao movimento do *joystick* para cima a acção de puxar a tecla de uma perna e o movimento do *joystick* para baixo a acção de puxar a tecla da outra perna. Como as teclas do pianoMatic são afectadas pela gravidade quando se larga uma tecla, esta cai, voltando a ficar suspensa no comando e transmitindo esse movimento à perna.

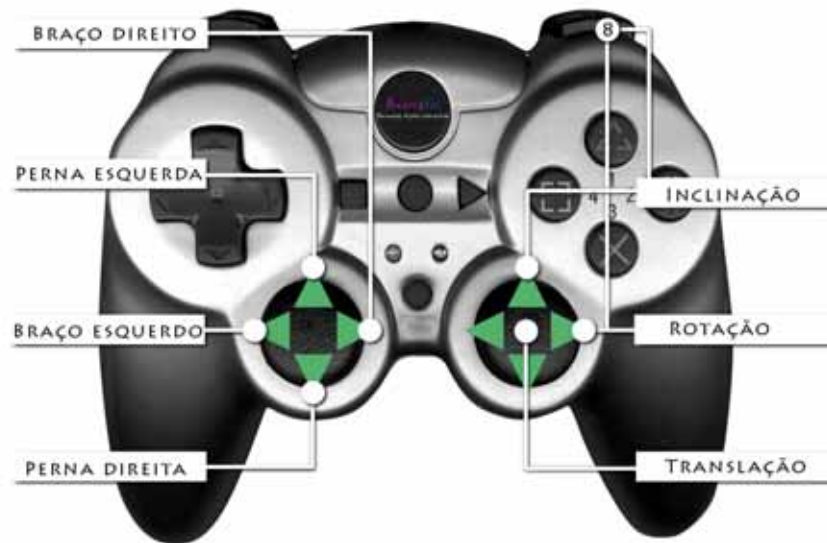


Fig. 32 – Atribuição dos movimentos ao *gamepad*.

A animação das pernas é produzida da seguinte forma: ao carregar no *joystick* para subir faz com que a perna esquerda suba e quando o *joystick* volta ao centro a perna esquerda volta para baixo. Em sentido contrário, quando se desce o *joystick* a perna direita sobe e quando o *joystick* volta ao centro a perna direita desce. O mesmo acontece para os braços, neste caso com o *joystick* para um lado e para o outro. Assim, é possível criar um movimento de andar alternando uma perna para cima com a outra e em simultâneo com um braço para cima e para baixo caso se utilize as diagonais do *joystick*. Ou seja, quando se puxa um *joystick* na diagonal para cima e para o lado direito, estamos a subir a perna esquerda e o braço direito; puxando o *joystick* no sentido oposto, portanto para baixo e para o lado esquerdo, estamos a subir a perna direita e o braço esquerdo enquanto os outros membros voltam para baixo. Para além da conjugação em simultâneo destes movimentos dos membros, pode ainda ser combinado o movimento de translação ou rotação de toda a marioneta através do outro *joystick*. Assim, para além do movimento de andar com o balancear das pernas e dos braços, pode ser possível em simultâneo a deslocação lateral de toda a marioneta dando a sensação que esta está mesmo a andar no espaço.

A rotação de toda a marioneta é feita através da combinação do *joystick* direito para os lados com o botão número 8 (R1) do *gamepad* e a inclinação da marioneta é conseguida através da mesma conjugação mas com o movimento do *joystick* para cima ou para baixo. O movimen-

to da cabeça é produzido a partir da combinação do botão 6 (R2) do *gamepad* com o *joystick* do lado direito.

4.3.3.3 Manipulação híbrida

A manipulação por fios permite vários movimentos em simultâneo, como o movimento de andar. Também possibilita a translação e rotação de toda a marioneta ou a sua inclinação. No entanto, todos os movimentos estão limitados a uma determinada zona, não sendo possível puxar um braço para um lado e para o outro. Esta é a grande diferença para uma marioneta de fios real, que apresenta geralmente um comando independente para os braços ou através do puxar directamente dos fios.

A grande vantagem da manipulação directa com o rato é que se consegue uma grande liberdade de movimentos com elevada naturalidade, no entanto, só é possível produzir um movimento de cada vez. A junção destes dois métodos poderia aumentar as possibilidades de manipulação e movimento ultrapassando as limitações verificadas. Na realidade, muitas marionetas de varetas apresentam uma manipulação híbrida, como a personagem do sapo Cocas da série “Os Marretas” manipulado com a mão para a animação da boca e por varetas para a animação dos braços.

Para juntar os dois modelos de manipulação foram necessários ajustes de vários parâmetros. Depois de experimentados muitos valores, a marioneta ficou a pesar 91 kg distribuídos da seguinte forma: 5 kg para a perna e para a pélvis, 7 kg para a coxa e para a cabeça, 15 kg para o estômago, 30 kg para o tórax, 3 kg para o braço e 2 kg para o antebraço.

O resultado desta união, para além de quebrar algumas limitações, veio possibilitar a interacção de mais um utilizador com a marioneta aumentando ainda mais o potencial da animação. Assim, um utilizador pode ficar incutido do movimento geral da marioneta e da sua deslocação no espaço, enquanto o outro fica encarregue de manipular os membros. Esta divisão de tarefas libertava os utilizadores para se concentrarem em funções mais específicas, contribuindo para uma maior riqueza de movimento.

Ao rato seriam ainda atribuídas mais algumas funções de grande importância, nomeadamente: a interacção com outras marionetas ou adereços, sendo possível atirar uma bola para a marioneta; aceder a toda a interface, janelas, botões, painéis; o movimento dos olhos e da cabeça poderia ser activado passando a cabeça a acompanhar o movimento do rato através da orientação da cabeça e dos seus olhos.

Para além dos dispositivos já mencionados, um outro dispositivo de interacção também está incluído na animação da marioneta, o teclado. Podem ser atribuídas a várias teclas comportamentos gravados ou aleatórios com o objectivo de aumentar a capacidade de movimento da marioneta. Podiam ser gravados alguns movimentos, como os de andar, dançar ou saltar ou despoletar comportamentos gerados pelo movimento do rato em outros membros, por exemplo fazer o espelho da animação de um braço em outro braço.

A manipulação híbrida apresenta-se portanto como uma solução para ultrapassar limitações dos modelos de manipulação directa e por fios, para enriquecer o movimento da marioneta, oferecendo ainda a possibilidade da manipulação em equipa.

4.3.4 Expressões faciais

As expressões faciais animadas são um aspecto não muito explorado nas marionetas tradicionais pela dificuldade que apresentam. No entanto, existem muitas marionetas com movimento de olhos e de boca mas que acabam por se tornar muito complicadas de manipular e geralmente os seus movimentos não são muito naturais. Por isso, em detrimento da animação facial é explorada uma única expressão facial com todo o detalhe como forma de transmitir mais dramatismo à personagem.

A aplicação foi concebida para possuir um motor de animação facial aplicando as expressões faciais como forma de contribuir para a dramatização da peça e dar uma maior vitalidade à personagem.

Os métodos utilizados para produzir as expressões faciais são os da animação do modelo, da deformação da geometria ou da comutação de texturas. O método de animação do modelo é muito semelhante ao utilizado nas marionetas tradicionais, modelando a boca e os olhos em separado da cabeça de forma a estes modelos serem animados em separado. Geralmente estes modelos apresentam uma animação bastante linear, com o movimento da boca a ser descrito numa trajectória para cima e para baixo. O método de deformação da geometria produz efeitos mais complexos que também consomem mais processamento. Este método é muito utilizado com uma estrutura de ossos que servem para simplificar o processo de animação, os ossos influenciam uma determinada área da geometria a ser deformada. Para a deformação da geometria é utilizado a função da linguagem Lingo *meshdeform* que permite deformar os pontos de uma determinada geometria. Estes pontos são definidos pelos ossos dentro da aplicação 3D sendo apenas necessário programar a animação dos respectivos ossos. Para a animação de uma boca, são geralmente utilizados quatro ossos que definem a

zona dos lábios; para os olhos, bastam apenas dois ossos para descrever o movimento de abertura e de fecho dos olhos.

Para este projecto foi escolhido o método da comutação de texturas. Este método, apesar de consumir mais memória e processamento e ser aplicado em duas dimensões, permite que o utilizador tenha acesso à pintura das expressões faciais. Para além desta vantagem, podem ser introduzidos vários pormenores nas expressões faciais que dificilmente se conseguiria com os outros métodos. Esta opção recai também por questões estéticas, ganhando a marioneta um aspecto de boneco pintado à mão.

O método de comutação de texturas, tal como o nome indica, significa que as texturas vão sendo trocadas à medida das ordens recebidas. Para otimizar as texturas e o processo de comutação, foi atribuído um material por camadas (*multilayer*) à cabeça segmentado em duas texturas e uma cor base. As duas texturas representam os olhos e a boca possibilitando a animação de um destes segmentos. Para além de reduzir o tamanho da textura, permite uma maior liberdade de atribuições, ou seja, no caso de uma textura para cada posição dos olhos e da boca seria necessário multiplicar o número de posições das bocas pelo número posições dos olhos para se encontrar o número total de texturas a serem calculadas. A memória e o processamento requisitados para este método fariam diminuir o desempenho da aplicação. Assim, a segmentação das texturas, permite que apenas seja alterada uma pequena textura num dado momento.

O sincronismo labial faz parte das expressões faciais, sendo a função que mais exige por parte do processador. Esta função é caracterizada pelo sincronismo da animação da boca do boneco com o sinal áudio da voz. As poses da boca são organizadas por fonemas que por vezes se agrupam para diminuir o número de imagens. A comutação muito rápida das diferentes posições da boca provoca uma transição demasiado abrupta, passando por exemplo da posição de boca fechada e apertada para uma posição aberta e alargada. Para corrigir este efeito foi introduzido um sistema de interpolação de posições de boca permitindo uma transição suave através de posições intermédias. Para além das poses atribuídas aos fonemas, podem existir poses específicas para determinadas expressões faciais, como as de triste, aborrecido, contente, etc.

Para produzir o sincronismo labial era necessário capturar o sinal áudio da voz e processá-lo em tempo real de forma a atribuir os volumes ou as frequências às poses da boca. Apesar de o Director não disponibilizar funcionalidades para aceder às propriedades do microfone directamente, alguns *plugins* apresentavam-se como alternativas viáveis. Por outro lado, a possibilidade de integrar as funcionalidades áudio do Flash no Director também podiam ser

consideradas. Foram efectuados alguns testes com este último método com resultados razoáveis, mas com alguma latência e com a apresentação de uma janela de segurança típica do Flash. Foram também experimentados dois *plugins* para o Director com resultados bastante distintos mas superiores aos do Flash, um deles apenas permitia o acesso ao volume e à entrada de linha de vários canais, mas com um excelente desempenho. O outro *plugin* com o nome de *asFFT Xtra* produz uma transformada rápida de Fourier em tempo real do sinal capturado da placa de som. Consegue aceder às frequências e aos volumes, apresenta funcionalidades no âmbito da equalização, agrupando as frequências de acordo com a percepção auditiva do ser humano, ou a normalização das frequências, atribuindo valores às frequências proporcionais aos do volume resultando em valores mais intuitivos.

Os resultados de ambos os *plugins* foram bastante positivos. No entanto, o segundo permitia explorar novas abordagens dada a sua potencialidade. Assim, este foi o *plugin* seleccionado para implementar o motor de expressões faciais, sendo ponderada a análise das frequências em paralelo com os volumes de forma a obter mais detalhe. Apesar de a análise de volumes ser suficiente para o sincronismo labial em marionetas virtuais, o recurso às frequências como complemento poderá ajudar a identificar algumas expressões faciais, ou a detectar fonemas, vogais, ou consoantes.

Foi introduzida uma função bastante importante na aplicação para ajustar os valores recolhidos às condições técnicas e acústicas da captura. A função de calibrar o microfone é essencial para o desempenho do motor das expressões faciais visto que permite definir o intervalo de volumes e frequências a ser utilizado. O calibrador apresenta graficamente as frequências e os volumes em tempo real e uma cabeça simula as expressões faciais de forma a se poder calibrar melhor o microfone. Neste painel são ainda disponibilizadas as funções de normalização e equalização do som. A primeira acção do calibrador é de distinguir o volume do som ambiente do da voz definindo um valor máximo de ruído. A segunda acção é a de encontrar uma média de frequências e volumes para o classificador. Este analisa e classifica as frequências e os volumes calculados a partir de um vector de vários valores capturados num dado instante.

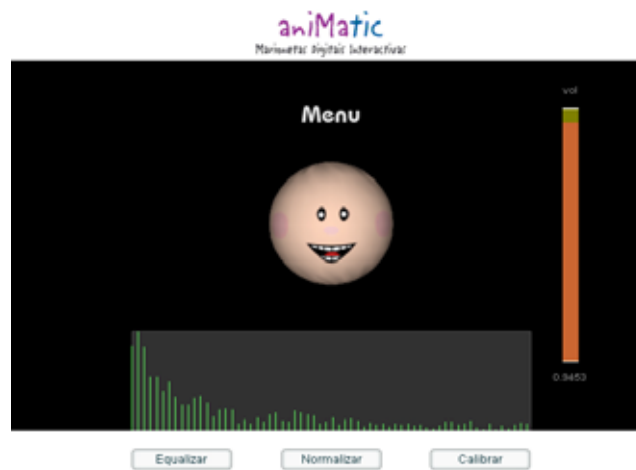


Fig. 33 – Processo de calibração do microfone.

Foram efectuados vários estudos e experiências para a atribuição das frequências e dos volumes às expressões faciais. O desempenho obtido com estas experiências já em modelos de marionetas em 3D obrigou a uma optimização das texturas e a uma simplificação do número de poses de boca. O resultado desta reformulação acabou por aumentar o desempenho e beneficiar o aspecto visual, ficando a animação mais perceptível e dando mais espaço para a interpolação das bocas de transição. Foram utilizadas 7 poses de boca conjugando consoantes e vogais representadas por bocas mais abertas, fechadas, alargadas ou apertadas. Também foram adicionadas 4 poses de boca para expressões faciais de demonstração de estados de espírito.

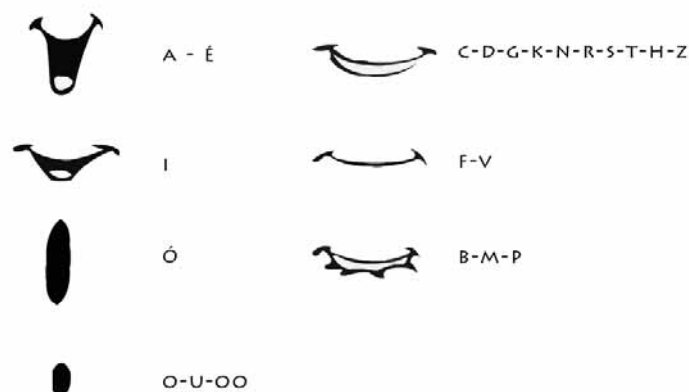


Fig. 34 – Associação das vogais e consoantes às poses da boca.

4.4 Processos de trabalho e articulação de ferramentas

Um dos aspectos que se demonstrou ser fundamental no processo de trabalho foi o elevado grau de integração do ambiente de desenvolvimento 3D com o ambiente de autoria multimédia. A possibilidade de experimentar alguns comportamentos da marioneta sem haver necessidade de sair da plataforma tridimensional ajudou a reduzir o número de processos. Também, o facto de serem necessários poucos procedimentos para um controlo básico da marioneta no ambiente de autoria ajudou a progredir para interacções mais complexas.

A sequência dos processos de trabalho espelhava o *workflow* entre as aplicações, transitando entre o ambiente de desenvolvimento 3D e o ambiente de autoria multimédia, passando sempre por uma ferramenta de tratamento de imagem.

A marioneta virtual foi desenvolvida e concebida na aplicação Discreet 3D Studio Max passando por vários estágios de produção. Os primeiros ficaram associados à experimentação das técnicas de interacção com o ambiente de autoria Macromedia Director acabando por culminar na primeira marioneta feita de elásticos para manipulação directa. Esta primeira marioneta foi ainda desenvolvida numa segunda fase na aplicação Discreet Plasma que disponibilizava um leitor de Shockwave3D para simular o comportamento dinâmico e interactivo. Esta aplicação tornou-se muito importante nesta fase porque eliminou a necessidade de utilizar o Director para verificar os resultados. Assim, foram simulados os comportamentos dos elásticos com o rato dentro do próprio ambiente 3D facilitando todo um processo bastante experimental e demorado.

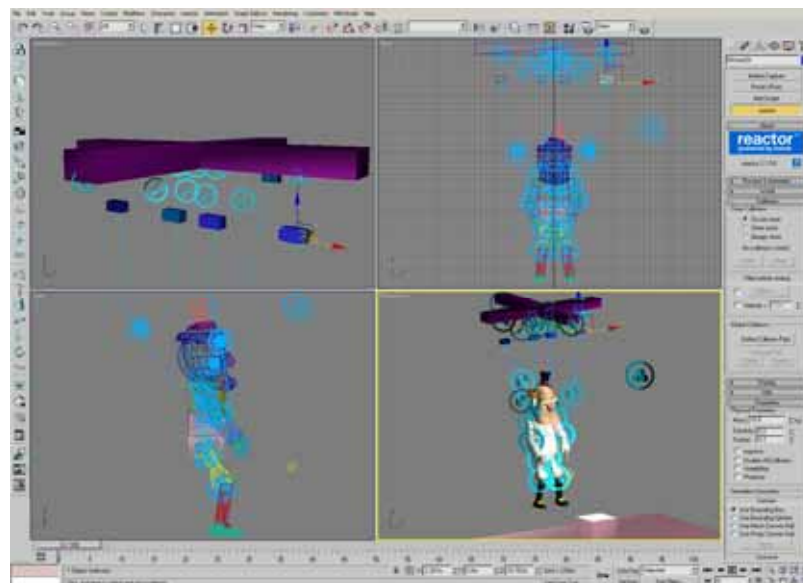


Fig. 35 – Ambiente de desenvolvimento tridimensional Discreet 3DStudioMax.

A definição de todas as características dinâmicas, das colisões e relações entre objectos foi definida no ambiente 3D. Também poderiam ser definidas e alteradas durante a autoria multimédia, mas não eram apoiadas por uma interface visual. Por exemplo, para ligar um objecto a um outro na aplicação 3D, introduzia-se um elástico e interactivamente colavam-se os pontos de ligação resultando numa ligação visual através de uma linha. Pelo contrário, para a mesma acção no ambiente de programação tinha de se criar um código com a seguinte estrutura:

```
-- Cria o objecto ElásticoA com o nome "elástico" referenciando o
membro que define as dinâmicas do universo 3D
ElasticoA=member(Numero.Membro.Havok).linearDashpot("elástico")
ElasticoA.strength = 10 -- Força do elástico

-- Define a velocidade que o elástico volta à posição de descanso
ElasticoA.damping = 0.5

-- Vector com a coordenada espacial onde está colocada a primeira
extremidade do elástico
novaPosA = vector(X, Y, Z)
ElasticoA.pointA = novaPos

-- Define o primeiro objecto rígido ligado pelo elástico
ElasticoA.setRigidBodyA(ObjectoRigidoLigacaoA)

novaPosB = vector(X, Y, Z)
ElasticoB.pointB = novaPos

-- Caso o valor do objecto seja "none" fica ligado à coordenada cen-
tral do mundo 3D
ElasticoA.setRigidBodyB(ObjectoRigidoLigacaoB)
```

Os vectores com as coordenadas que definem os pontos das extremidades do elástico se não coincidirem com as coordenadas de um outro ponto conhecido são difíceis de definir, pois são pontos invisíveis que vão servir de referência para o comportamento do elástico. Enquanto que no ambiente 3D estes pontos estão visíveis e podem ser deslocados com o rato. No entanto, nem tudo podia ser facilmente simulado nas ferramentas 3D, sendo por vezes necessário contornar alguns problemas de uma forma bastante imaginativa. Exemplo

disso foi a forma de sustentar a marioneta de fios num comando que tinha de ter massa para permitir a sua deslocação. O comportamento do comando era naturalmente o da queda influenciado pela gravidade, mas para conter esta queda no simulador foi necessário introduzir um objecto sem massa por baixo do comando impedindo-o de cair. Este objecto foi apenas utilizado durante as primeiras experiências de comportamento dinâmico da marioneta e não foi utilizado no ambiente de programação, aliás, no Director foi apenas necessário inserir o comando “`comando.pinned=true`” para que o comando não fosse influenciado pela gravidade mas que pudesse ser manipulado.

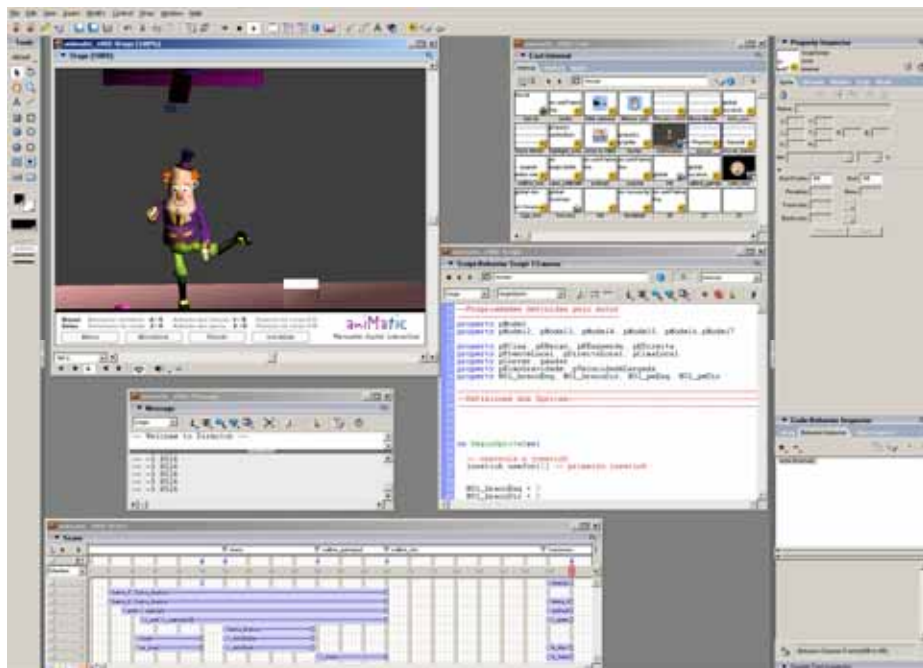


Fig. 36 – Ambiente de autoria Multimédia Macromedia Director.

Em termos de programação, grande parte das funções e comandos utilizados para controlar os objectos tridimensionais derivaram das classes do Shockwave 3D e do Havok. Aliás, para se movimentar um objecto com atributos dinâmicos era necessário defini-lo como objecto rígido. Os primeiros ensaios de movimento do comando da marioneta de fios foram controlados pelas teclas de cursor. O exemplo seguinte é um pequeno excerto de código utilizado para controlar o comando nas translações com as teclas.

```

-- Inicialização de algumas variáveis como exemplo
pFrenteLocal = vector( 0, 0, 1 )
pDireitaLocal = vector( 1, 0, 0 )
pVelocidadeLargada = 0.1
lv = vector(0,0,0) -- Vector de movimento
(...)

-- Atribui diferentes valores para um movimento lento ou rápido
if( the shiftDown ) then
  ls = pCorrer
else
  ls = pAndar
end if

-- Atribui o movimento ao comando com as teclas de cursor
if keyPressed( pKCima ) then
  lv = lv + pFrenteLocal
else if keyPressed( pKBaixo ) then
  lv = lv - pFrenteLocal
else if keyPressed( pKEsquerda ) then
  lv = lv - pDireitaLocal
else if keyPressed( pKDireita ) then
  lv = lv + pDireitaLocal
end if

if( 0.001 < lv.length ) then
  -- Controla a velocidade
  t = transform()
  lv.normalize()
  tV = lv * ls
  -- Transmite o impulso
  comando.position = comando.position+tV
else
  -- Se não estiver a mover liberta a velocidade
  tV = comando.linearVelocity
  tV = tV * pVelocidadeLargada
  tV[pEixoGravidade] = comando.linearVelocity[pEixoGravidade]
  comando.linearVelocity = tV
end if

```

Controlar o comando por teclas apresenta bastantes limitações, nomeadamente o facto de não ser possível produzir velocidades diferentes como com o *rato* ou com o *joystick* de um *gamepad*, podendo apenas ser simulada como no exemplo acima através da combinação de teclas. A expressão corporal depende em muito das acelerações e desacelerações dos movimentos que são capturados pela sensibilidade destes dispositivos. O recurso ao *gamepad* veio aumentar as possibilidades de controlo e também aumentar o próprio código. Como o acesso ao *gamepad* se processava em modo analógico foi necessário criar um calibrador de *gamepad* dada a constante variação de valores apresentados. Esta calibração é efectuada em

ambos os *joysticks* através da sua deslocação em várias orientações, podendo ser visualizada no ecrã através de duas janelas que apresentam a posição dos *joysticks* no espaço.



Fig. 37 – Processo de calibração do *gamepad*.

Os valores retirados da calibração são equacionados no controlo do comando pelo *joystick* de forma a corrigir alguns desvios.

```
-- Equacionado o valor da calibração do joystick através da variável
joylb_x
origemX2 = joystick.rPos() - joylb_x

-- Verificação da orientação do 2ª joystick
if origemX2 < 0 then
  -- Converter a posição para um valor positivo
  origemX2=origemX2*(-1)
  lv = lv - pDireitaLocal
else if origemX2 > 0 then
  lv = lv + pDireitaLocal
end if
ls = origemX2/2000.0 -- Converter o valor para uma medida mais adequada
```

Este exemplo é aplicado ao segundo *joystick* para apenas atribuir a deslocação do comando para a direita. A marioneta responde directamente ao comando visto estar ligada por vários elásticos e molas, desta forma, apenas é necessário executar a translação do comando para que a marioneta também se desloque.

```

-- Detecta qual o botão do gamepad que está a ser pressionado
if joystick.button(8) = 1 then
    origemX2 = joystick.rPos() - joylb_x -- Calibração
    if origemX2 < 0 then -- rodar para a esquerda
        origemX2=origemX2/4000.0 -- Converter o valor para uma medida
mais adequada

        -- verifica qual a orientação do modelo para aplicar a
rotação pretendida

        rmodelo = member(pMembro).model(pModelo).transform.rotation.z
        if (rmodelo < 0) then
            -- Aplicação da rotação ao comando

            comando.rotation = comando.rotation+[vector( 0.0000, 0.0000,
-1.0000 ), origemX2]
        else if (rmodelo >= 0) then
            comando.rotation = comando.rotation+[vector( 0.0000, 0.0000,
1.0000 ), origemX2*(-1)]
        end if
    else if origemX2 > 0 then -- rodar para a direita
    (...)

```

A combinação dos botões do *gamepad* permite criar diversas variações de acção, sendo possível atribuir um *joystick* para controlar um braço e a outra para controlar o outro braço. Para isso basta definir estas variáveis e programar as possibilidades de movimento. A programação aplicada apresenta uma estrutura bastante rudimentar mas funcional, podendo ser optimizada para aceitar parâmetros e assim reduzir a quantidade de linhas de código. Aliás, a utilização de funções comportamentais anexas ao próprio Shockwave 3D e ao Havok permitem iniciar todo o processo com apenas um arrastar de comportamentos para os objectos e definir uma série de parâmetros.

As etapas de trabalho que definiram os processos de desenvolvimento da marioneta de manipulação directa podem ser sintetizadas da seguinte forma:

1. Modelação da marioneta de referência em paralelepípedos.
2. Inicialização das dinâmicas, atribuição da gravidade e dos objectos rígidos influenciados pelas dinâmicas.
3. Criação das articulações, ligação dos objectos por elásticos.
4. Definição das colisões dos objectos dinâmicos.
5. Modelação da marioneta virtual, aquela que vai ser visível para o utilizador.
6. Ligação da marioneta virtual à de marioneta de referência.
7. Atribuição das texturas à marioneta.

8. Exportação dos ficheiros Shockwave3D (W3D) e Havok Dynamics (HKE).
9. Colocação do Shockwave3D em cena no Director
10. Inicialização e ligação das dinâmicas importadas pelo ficheiro HKE.
11. Captura dos eventos do rato relacionando-os com comportamentos interactivos com a cena 3D.
12. Importação das várias poses faciais para vários membros do Director
13. Programação do sincronismo labial comutando a textura da cabeça com os vários membros de imagem.

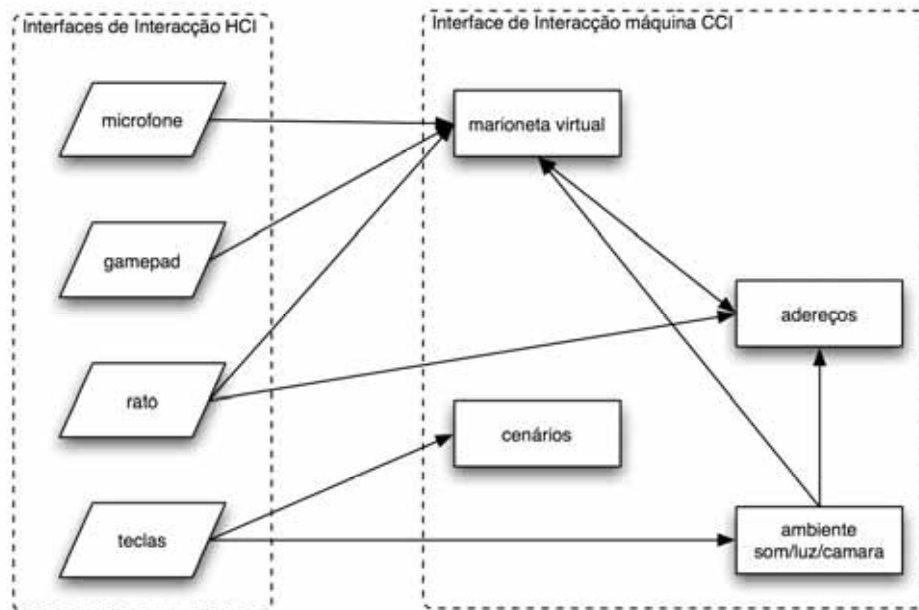
Em relação ao desenvolvimento da marioneta de manipulação por fios, apresenta algumas diferenças, nomeadamente toda a rede de ligações de elásticos e molas entre a marioneta e o comando e toda a programação envolvida para o controlar.

O protótipo desenvolvido pretende mostrar as potencialidades da aplicação não oferecendo todas as funcionalidades imaginadas. Estas são definidas na caracterização funcional da aplicação no ponto 4.6.

4.5 Resultados

Os resultados obtidos pelo protótipo são bastante positivos demonstrando a viabilidade deste projecto. No entanto, os testes foram bastante limitados, não sendo possível testar o protótipo com um público diferenciado e com um tempo de utilização suficiente para o desenvolvimento crítico. Está prevista para breve a construção de três protótipos para distribuição nas áreas do teatro de marionetas, das artes performativas e da educação sendo que já foram contactados alguns dos receptores dos protótipos e que mostraram bastante interesse em participar nos testes. Só assim será possível avaliar o verdadeiro impacto desta ferramenta em diferentes áreas com diferentes públicos.

O protótipo desenvolvido apresenta algumas limitações de movimento e o seu desempenho foi um pouco deteriorado com a introdução de um modelo de marioneta bastante mais pormenorizado do que os primeiros modelos. Também foi verificado que o controlo da marioneta pelo método de manipulação por fios se torna um pouco complexo, rapidamente ultrapassado com algum treino, tal como qualquer jogo que necessite de alguma coordenação.



Esquema 2 – Interfaces de interacção.

As limitações apresentadas pelo modelo do método de manipulação directa foram transpostas com o modelo de manipulação por fios, complementando-se. Este modelo híbrido, para além de alcançar uma liberdade de movimentos muito grande, permite a interacção com vários utilizadores. Também o facto de se ter optado por produzir as articulações com elásticos dotou toda a marioneta de uma dinâmica própria quebrando uma certa rigidez e monotonia. Esta opção foi baseada na observação de muitas marionetas reais que por vezes com apenas um controlo possuem várias articulações dinâmicas que lhe imprimem uma personalidade muito vincada, transmitindo toda uma energia vital. As expressões faciais contribuem igualmente para uma maior riqueza e definição da personalidade da marioneta, sendo a forma mais simples de manipulação da marioneta. A conjugação de todos os elementos interactivos na criação da animação em tempo real produz efeitos muito intensos, especialmente porque exige bastante do utilizador que necessita de um grande controlo e coordenação. Estes são alguns factores que podem motivar os utilizadores a apreciarem esta aplicação, de forma a ultrapassarem as suas limitações. Aliás, esta é uma aplicação que pode apresentar resultados bastante imprevistos dado o número de variáveis relacionadas e de todo o universo dinâmico.

4.6 Caracterização funcional da aplicação

Para além das funcionalidades elementares da marioneta virtual e da sua principal aplicação, foram estudadas várias possibilidades ao nível de futuras funcionalidades, características e outras aplicações. Neste processo de maturação nasceu o projecto aniMatic caracterizado pela sua grande dimensão e pela aplicação do conceito de marioneta virtual a um universo um pouco mais alargado do que apenas ao um teatro de marionetas virtual, assim é pertinente explicar e descrever as funcionalidades e aplicações previstas para o futuro deste projecto. Todas as funcionalidades apresentadas foram previamente experimentadas na plataforma de autoria.

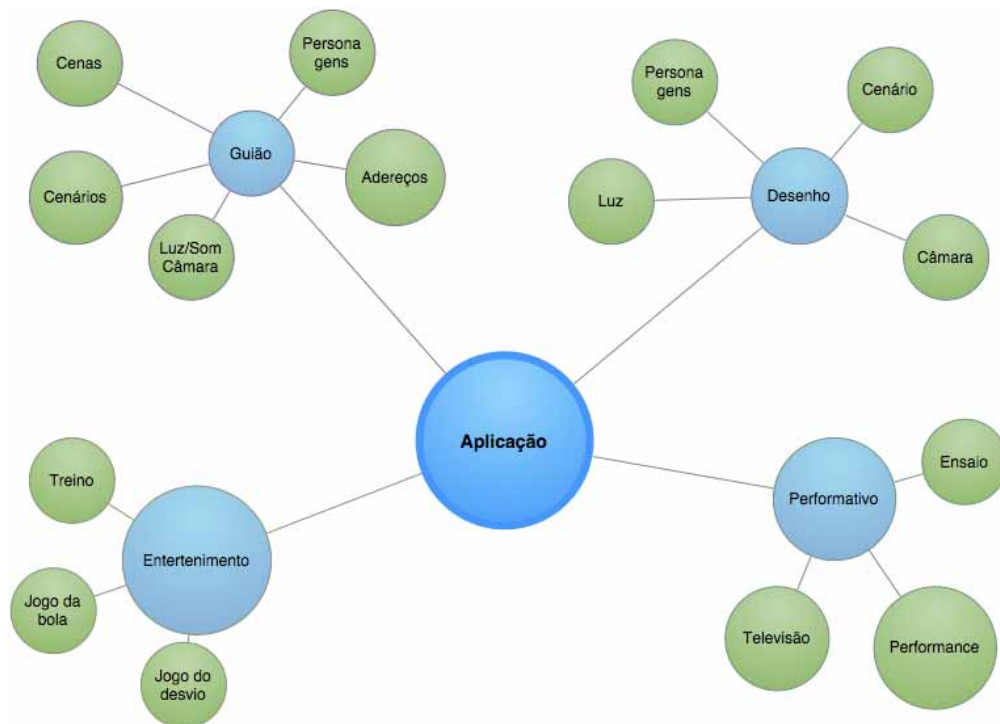
O projecto aniMatic é transversal a várias áreas culturais e a diferentes públicos, sendo necessário desenvolver determinadas funcionalidades para cada uma em particular. Como tal, o projecto foi concebido de um modo modular de forma a acoplar ou a separar módulos dependendo do objectivo da aplicação, seguindo a filosofia dos Legos. Para além de permitir uma maior flexibilidade também possibilita o desenvolvimento de vários módulos em paralelo. O protótipo do projecto aniMatic enquadra-se num destes módulos que foram agrupados em etapas de produção correspondendo às várias fases do desenvolvimento de um projecto de animação, nomeadamente: a fase de pré-produção com os módulos de guião e de desenho; a fase de produção, com os módulos performativo e de entretenimento; a fase de pós-produção com o modulo de montagem. Cada módulo possui várias funcionalidades respondendo a diferentes processos de trabalho e criação. A estrutura proposta para a aplicação baseada nos diversos módulos apresenta-se então da seguinte forma:

- Motor da aplicação
- Módulo Guião
 - o Definição do guião, cenas e planos
 - o Atribuição dos cenários às cenas/set
 - o Atribuição das personagens às cenas/set
 - o Atribuição de adereços às cenas/set
 - o Atribuição dos desenhos de luz/som e câmara às cenas
- Módulo de Desenho
 - o Desenho/pintura de texturas
 - o Desenho de luz
 - o Desenho de Câmara

- Desenho de som
- Construção e desenho do cenário
- Módulo Performativo
 - Performance
 - Ensaio
 - Televisão
 - Animação
- Módulo de Montagem
 - Edição
 - Pós-produção e efeitos especiais
 - Pré-visualização
 - Exportação
- Módulo de entretenimento
 - Treino de movimentos
 - Jogo da bola
 - Jogo do desvio

Os módulos são carregados externamente a partir do motor principal que faz a gestão de memória, de processos e de comunicação entre os vários módulos.

A divisão da aplicação em pré-produção, produção e pós-produção vai de encontro aos processos de trabalho do cinema de animação, apenas o módulo de entretenimento sai fora desta estrutura e dos processos de trabalho. Os conteúdos desta divisão seguem uma analogia ao teatro de marionetas e à animação digital procurando igualmente metáforas para a interface. Com o objectivo de segmentar os processos de desenvolvimento da peça de marionetas virtual, apresenta-se esta estrutura na perspectiva de se constituírem equipas de trabalho com tarefas específicas coordenadas por um agente educativo. O resultado destas experiências permite criar competências técnicas e artísticas num ambiente colaborativo. Servem pois, como um tubo de ensaio para experiências futuras, incentivando os utilizadores ao trabalho em equipa, a métodos de organização e planificação e acima de tudo a terem ideias e a conceberem projectos.



Esquema 3 – Organização dos módulos da aplicação.

Na base da aplicação encontra-se o módulo principal, o agregador de toda a informação, o responsável por carregar todos os restantes módulos e pela gestão de memória e dos recursos.

Existem várias etapas no desenvolvimento total de um teatro de marionetas, estando associadas aos vários módulos que constituem a aplicação.

O primeiro passo a ser dado na construção de uma peça de teatro de marionetas virtual na aplicação aniMatic é o da concepção. Apesar de esta etapa não estar materializada na aplicação, é essencial como ponto de partida para a planificação e organização, devendo começar pelo desenvolvimento ou adaptação de uma história. Partindo da história, definem-se as personagens, através da sua caracterização, nomeadamente o perfil físico e psicológico e o seu estatuto na narrativa. Posteriormente são definidos os adereços e os cenários e a sua relação com a história. Outros elementos, como os apontamentos de sonoplastia, também são contemplados na fase de concepção.

4.6.1 Módulo Guião

A segunda etapa é o da construção de um guião, que se apresenta como a materialização da fase da concepção visto estar contemplado na aplicação como módulo “guião”. O guião ser-

ve de orientação para todos os restantes processos, caracterizando-se pela organização e planificação da informação dispersa na fase da concepção. A história é então dividida em cenas devidamente numeradas e identificadas com um título. A cada cena são atribuídos adereços, cenários, luzes, câmaras, sonoplastia, diálogos, banda sonora e personagens derivados do módulo de design.

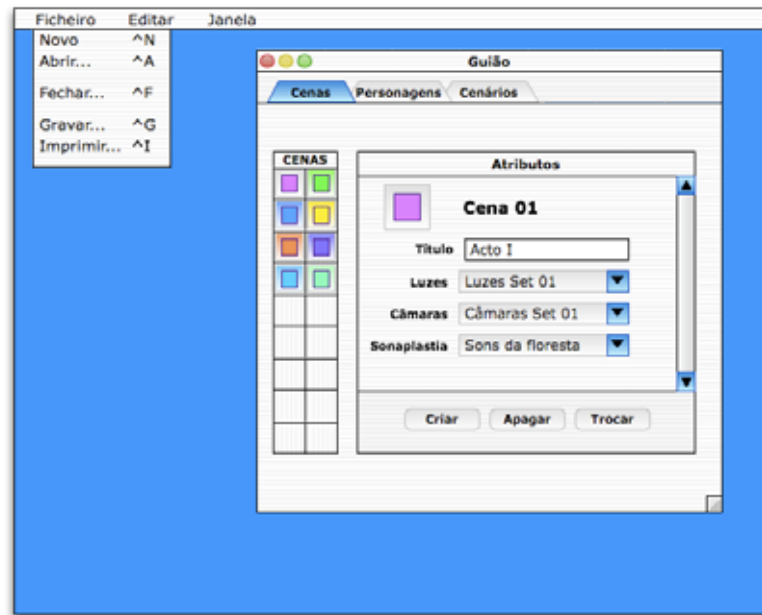


Fig. 38 – Esboço do módulo “Guião”.

Existem algumas funções genéricas que se podem encontrar na maioria dos módulos, como as funções de criar, abrir ou gravar. Neste módulo foi também introduzida a opção de imprimir como forma de ajudar a orientar toda a equipa. Esta opção permite imprimir em formato guião, um formato vertical e sequencial para ajudar à leitura e à interpretação da narrativa com todas as informações definidas no módulo. Como alternativa, é apresentado o formato *storyboard* na perspectiva de suscitar a discussão de ideias. Neste formato horizontal, cada vinheta proporciona uma imagem representativa do primeiro plano de câmara escolhido com as respectivas personagens, por baixo de cada vinheta ilustrativa da cena existe um espaço de texto com todas as informações e atribuições e ainda um espaço reservado a observações. As principais funcionalidades previstas para este módulo são as de: introduzir e remover cenas; trocar a sua ordem; associar uma imagem a cada cena; atribuir um título que poderá ser apresentado na performance como um separador; atribuir o conjunto de luzes (*sets*) de câmaras e

de sonoplastia a ser utilizada numa dada cena; escolher as personagens e as suas entradas e saídas de cena; a atribuição de cenários e os adereços.

Este módulo está dependente e relacionado com o módulo de desenho, podendo este ser trabalhado em paralelo numa primeira etapa por uma outra equipa utilizando outros computadores, adequando-se portanto, a um espaço de aula com vários computadores e várias equipas de trabalho.

4.6.2 Módulo Desenho

O módulo desenho é o espaço onde se concebe a iluminação, se define a localização das câmaras, onde se pinta e desenha as personagens e os cenários e onde se faz o desenho de som.

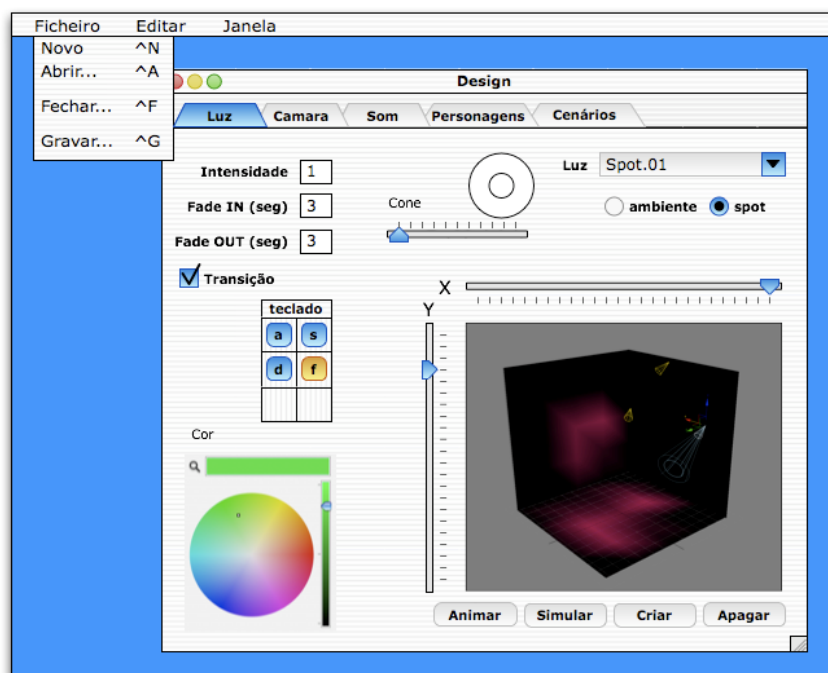


Fig. 39 – Esboço do módulo de desenho

Foi idealizada uma separação de funções neste módulo de forma a separar tarefas permitindo a um membro da equipa conceber o desenho de luz enquanto outro está a no mesmo período e em outro computador a criar os movimentos de câmara.

Foi criado um simulador em três dimensões para facilitar o posicionamento dos diversos elementos no espaço. Este simulador caracteriza-se por três faces de um quadrado com elemen-

tos simbólicos do que se está a manipular (luzes, câmaras, sons); o simulador reage em tempo real às diferenças produzidas na luz.

Foi adoptado um modelo tipo “sets” que constituem um conjunto de definições e atributos para uma ou mais luzes, câmaras, sons, cenários e adereços. Estes “sets”, identificados com um nome único e limitados em número, estão relacionados com as cenas no módulo guião ficando à disposição da equipa no momento da performance. Desta forma, o utilizador deverá atribuir às teclas acções de luz, câmara, som ou cenários previamente registados, podendo uma tecla accionar uma nova disposição de luzes, enquanto uma outra tecla poderá accionar uma textura sonora.

4.6.2.1 Desenho de luz

No desenho de luz, o utilizador tem à disposição uma série de funções para criar o ambiente necessário à descrição da narrativa. Estas funções são: a de criar, eliminar ou copiar luzes; definir o tipo de luz, podendo ser uma *spot* ou uma luz ambiente; os atributos da luz, como por exemplo a definição da cor, a intensidade ou o cone de luz; a forma de aparecer e desaparecer (*fade in/out*), estes parâmetros são introduzidos em valores numéricos correspondentes ao número de segundos da acção, podendo ainda ser adicionado os parâmetros de aceleração e desaceleração (ataque ou envelope) como forma de dar mais dinâmica e quebrar com a linearidade do movimento; a função de transição de luz de um estado para outro é parametrizada igualmente em segundos e permite misturar a luz no estado anterior com o próximo estado. O designer de luz pode igualmente animar as luzes individualmente para criar ciclos de luz ou situações repetidas de iluminação, como por exemplo o de criar um ambiente de trovoadas, que pode ser gerado através da animação do atributo da intensidade de luz como meio de provocar *flashes* como um *strobe*. Grande parte dos parâmetros de luz podem ser animados, incluindo a translação e a rotação da própria luz. Assim, para criar o movimento de uma sirene, o utilizador poderia criar três luzes de cores diferentes na mesma posição mas com orientações diferentes, essas luzes seriam do tipo *spot* com uma grande abertura do cone de luz, as três luzes seriam animadas com os mesmos valores no parâmetro da rotação sobre o eixo do X. Este módulo de desenho permite simular o comportamento das luzes, câmaras, sons, cenários e adereços em tempo real mesmo que animados, para fazer um ensaio da animação e assim verificar os tempos de entrada dos elementos existe uma opção chamada “simulação”.

Este sistema de animação foi simplificado, possibilitando apenas a criação de duas chaves de movimento, podendo ser em ciclo ou em uma única passagem, não tendo sido previsto a implementação de sistema de barra temporal nem de curvas de animação. Para movimentos mais livres e improvisados foi idealizado um sistema geral de animação que é partilhado pelas luzes, câmaras, sons, cenários e adereços, aqui designado por *animatron*. Este sistema permite animar em tempo real alguns atributos, na maioria dos elementos esses atributos são a translação e a orientação, podendo em casos particulares animar outros atributos. O sistema *animatron* baseia-se na animação individual dos elementos e para que isso aconteça é necessário identificar e seleccionar os elementos dentro de um “set”. Esta selecção é efectuada através da combinação de teclas. Imaginando por hipótese que, o primeiro “set” de luz tinha sido atribuído à segunda cena de uma peça e que tinham sido definidos quatro conjuntos de luz para este “set” atribuindo as teclas 1, 2, 3 e 4. No módulo performance quando a peça entrasse na segunda cena, as luzes responderiam ao “set” atribuído aparecendo na configuração desejada com ou sem animação. A partir deste momento o utilizador poderia carregar nas teclas 2, 3 ou 4 para mudar a configuração das luzes e, se carregasse em simultâneo com a tecla *Control*, o utilizador acederia a uma dada luz individual dentro do “set”. Assim, caso o utilizador fizesse, por exemplo, a combinação de teclas “CTRL-1” (estando o primeiro “set” escolhido) a aplicação iria aceder à primeira luz do primeiro “set” podendo depois accionar a tecla do *animatron*. Esta tecla iria possibilitar animar a luz em tempo real na translação através das teclas de *cursor* ou um outro dispositivo configurado como por exemplo um *gamepad*, poderia também orientar a luz através da combinação de teclas *CTRL-cursor* ou *gamepad*. No caso das luzes, seria igualmente possível animar a intensidade de cada luz através da combinação de teclas *SHIFT-cursor* para cima ou para baixo. No caso de uma câmara, a mesma combinação de teclas actuaria sobre os parâmetros de aproximação (*zoom in/out*), enquanto que no som actuaria sobre o parâmetro de volume.

4.6.2.2 Desenho de câmara

Tal como no desenho de luz, a configuração e definição das câmaras apresenta-se com um simulador para ajudar a posicionar devidamente as objectivas. Os “sets” de câmara permitem ao realizador escolher através do teclado, durante e após a performance, qual a câmara activa que está a filmar. Estes “sets” são conjuntos de câmaras devidamente posicionadas, configuradas e associadas a cada cena. As principais configurações são: a da definição da lente a utilizar, por exemplo uma lente de 35mm; as transições de câmara, podendo ser por corte

(*cut*), por dissolvência (*dissolve*), ou por *fade*; o alvo dinâmico, desta forma é possível fixar o alvo da câmara na face de uma marioneta ou adereço, acompanhando assim o seu movimento automaticamente.

4.6.2.3 Desenho de personagem

Por outro lado, o desenho de personagens é apresentado de uma forma um pouco diferente do desenho de luz e câmara. A janela do desenho de personagens apresenta uma configuração mais direccionada ao desenho, com um navegador para aceder à biblioteca de marionetas, umas quadrículas para as expressões faciais, uma grelha para o corpo, um simulador com a aparência da marioneta em três dimensões e uma panóplia de ferramentas de desenho. O utilizador deverá em primeiro lugar escolher uma marioneta para intervir. A partir do momento em que escolhe uma marioneta da biblioteca são preenchidos os quadros com as várias expressões faciais e a grelha com o corpo da marioneta. Estes elementos são texturas bidimensionais ligadas ao corpo em três dimensões. Desta forma, é necessário ter alguma atenção à forma como a textura cobre o corpo. Para pintar o corpo da marioneta, o utilizador deverá fazê-lo dentro dos limites apresentados pelos polígonos; tudo o que for pintado fora dos limites não será apresentado no simulador. Também o facto de as texturas envolverem uma forma tridimensional significa que as extremidades se tocam, sendo necessário ter algum cuidado para que não existam desfasamentos. Para fazer a sua intervenção o utilizador tem à disposição uma série de ferramentas de desenho (lápiz, pincel, linha, cor, etc.) e de edição (selecção, copiar, apagar, mover).

O processo de desenho e pintura das expressões faciais é um pouco mais complexo. O facto de existirem várias expressões para possibilitar o sincronismo labial e ajudar a dar expressividade à marioneta, implica que o utilizador tenha de intervir numa série de imagens. No entanto, para ajudar este processo, é disponibilizado em transparência uma imagem de referência da expressão em causa. O utilizador terá de trabalhar a boca e os olhos em quadrículas separadas devidamente alinhadas para ajudar a uma visualização mais completa. Este método permite à aplicação otimizar os processos de *shading* (atribuição de materiais) conseguindo combinar bocas com olhos diferentes. O utilizador deverá simular a sua intervenção com alguma frequência e para testar as expressões faciais foi disponibilizado igualmente um simulador de sincronismo labial. A aplicação também aceita imagens provenientes de fontes externas para serem associadas tanto ao corpo como às expressões faciais. Desta forma, as texturas podem ser geradas de formas diferentes, podendo ser de origem fotográfica, ou

desenho à mão; em ambos os casos será necessário uma digitalização para o computador. Os ficheiros de imagem devem obedecer a alguns critérios estipulados pela aplicação para serem aplicados à marioneta.

Este foi um meio encontrado para superar alguma limitação e que potencia a criatividade. Também possibilita trazer alguns trabalhos manuais para dentro do espaço virtual, tal como recuperar e reciclar alguns materiais direccionando-os para a aplicação. Com esta abordagem o objectivo é o de aproximar o espaço real do espaço virtual, partilhar experiências em vários processos, experimentar soluções inovadoras e acima de tudo conjugar várias equipas com métodos diferentes. Esta multiplicidade de olhares e pensamentos contribui para a criação de peças bastante ricas e diferentes do comum.

4.6.2.4 Desenho de cenário

O desenho de cenários e adereços é constituído pela construção de superfícies e pelo seu preenchimento. Para construir as superfícies estão disponíveis algumas representações de sólidos poligonais, tais como os paralelepípedos, as esferas, as pirâmides, os tubos e os planos. As dimensões por defeito destas superfícies podem ser alteradas antes de serem criadas alterando os parâmetros do tamanho, ou posteriormente transformadas através do escalonamento proporcional ou variável da forma. Estas superfícies devem ser posicionadas devidamente no espaço tridimensional com uma certa orientação, sendo possível construir um cenário com vários planos de profundidade. Os adereços são também dotados de propriedades físicas dinâmicas como as do atrito ou da massa, provocando toda uma cadeia de relações e interacções com outros objectos e com as próprias personagens. A detecção de colisões é efectuada para todos os objectos, personagens e cenários apresentados na cena. Esta será uma das propriedades mais significativas e que mais contribuirá para despoletar novas abordagens de interacção. Com estas propriedades o utilizador pode criar jogos de acção/reactão com as suas relações de causa e efeito. Podendo mesmo atirar objectos para dentro de cena tendo as personagens como alvo, como se de um jogo de “tiro aos patos” se tratasse. A personagem pode dar um pontapé a uma bola que por sua vez acerta na perna de uma outra personagem que reage de imediato. Os adereços com alguma massa que sejam colocados suspensos em altura, caem imediatamente quando se inicia a performance devido ao efeito da gravidade. A massa é igualmente determinante na relação de movimento e de força entre os objectos, provocando o movimento a uns e, a mudança de trajectória a outros.

Para preencher as superfícies existe uma área de desenho com ferramentas específicas de desenho e pintura e uma ferramenta particular de preenchimento com padrões previamente definidos para ajudar a criar texturas, como por exemplo a textura de uma cortina ou a textura da madeira. Na área de desenho está disponível uma borracha, que actua sobre o parâmetro da opacidade, aumentando a transparência da textura. Assim o utilizador pode apagar/pintar uma zona de preenchimento como se estivesse a remover parte da própria geometria. Por omissão, a área de desenho começa completamente transparente; à medida que o utilizador vai pintando, vai aumentando a sua opacidade. Esta propriedade permite criar formas não geométricas aumentando consideravelmente as possibilidades de construção contribuindo igualmente para uma maior expressividade. Assim, o utilizador poderia por exemplo criar facilmente uma árvore para o cenário através da construção de um plano bidimensional e do desenho e pintura da mesma, começando por exemplo por desenhar o contorno do tronco e da copa da árvore para em seguida preencher automaticamente com a ferramenta de preenchimento o interior dos dois contornos com as respectivas cores. Tudo o que estiver para fora do contorno e do respectivo preenchimento fica em transparência. Este foi um meio encontrado para tornar possível várias camadas de cenário em planos diferentes como composição global do cenário como forma de criar profundidade de campo. Tal como no desenho de personagens, podem ser carregadas imagens externas derivadas de outras aplicações informáticas de desenho digital ou através de processos de digitalização de imagens capturadas do real. Mais uma vez, é de salientar a possibilidade de introduzir processos de construção manual de cenários e adereços na aplicação como forma de aumentar a expressividade e experimentar novas abordagens, tendo apenas a imaginação como limite.

Tal como no desenho de luz e câmara, é possível accionar animações pré-gravadas ou o sistema *animatron* durante a performance. A animação gerada neste módulo serve para criar pequenos ciclos de animação, como por exemplo a rotação contínua do sol, ou a animação do mar. Este último poderia ser animado em várias camadas geradas a partir de planos bidimensionais com um preenchimento de umas ondas. Estas camadas posicionadas em profundidade seriam animadas em sentido contrário umas das outras criando um desfasamento no movimento. Esta é uma técnica de animação adaptada a um contexto virtual, que demonstra a viabilidade dos princípios e métodos tradicionais numa realidade virtual. Também podem ser definidas as animações de entrada de adereços ou de elementos do cenário, por exemplo a saída do sol para a entrada da lua. Mesmo a entrada de todo o cenário em bloco pode ser animado como transição de um *set* para o outro, possibilitando efeitos de mudança de cenário semelhantes aos dos pequenos teatros de fantoches onde os elementos são coloca-

dos com as mãos. No desenho de cenários está também contemplada a possibilidade de carregar ficheiros Shockwave Flash como forma de animação de múltiplos elementos num único plano aumentando as possibilidades de intervenção.

A construção, posicionamento, orientação e manipulação da geometria é simulada em tempo real, mas para visualizar uma textura na respectiva forma é necessário atribuir essa textura à geometria e activar o modo de visualização de texturas, tal como para simular os comportamentos dinâmicos dos objectos e experimentar a animação dos vários elementos é preciso activar a função simulação.

O desenho de som apresenta-se bastante simplificado, podendo o utilizador atribuir um ou mais sons a um dada tecla, até um máximo de oito teclas e posicioná-los no espaço através dos parâmetros de volume e balanço de forma a criar mais dinâmica recriando certos ambientes para cada cena. Os sons podem ser animados previamente ou durante a performance com o sistema *animatron* registando a deslocação no espaço através da animação dos parâmetros de balanço e volume.

4.6.3 Módulo Performativo

Depois da primeira etapa completa, passa-se para a produção propriamente dita. Esta é caracterizada pelo módulo performativo, o mais importante de todos. Toda a aplicação orbita em torno da performance em tempo real, existindo três tipos de performance: o modo ensaio, o modo performance teatral e o modo televisivo.

4.6.3.1 Performance Teatral

O modo de performance teatral tem como objectivo a produção de uma peça de teatro de marionetas completa em tempo real. Este modo possibilita a uma equipa de trabalho ou a um único elemento apresentar uma peça virtual organizada em cenas previamente estabelecidas no módulo guião.

As cenas são iniciadas pelo elemento da equipa que assume as funções de operação/realização e, as transições de cena podem acontecer através do apagar das luzes, de uma cortina ou até de um elemento gráfico do cenário que cobre todo o palco num dado momento, podendo ser introduzido o título da cena seguinte. Portanto, o início e o fim de uma cena são controlados por um elemento que também acciona a entrada de cena das personagens, adereços e cenários. Este elemento é fundamental para o desenrolar da peça, ele é responsável por controlar as luzes, as câmaras, os sons, os cenários e os adereços. Também está

encarregado da animação em tempo real de vários elementos através do sistema *animatron*, podendo ser atribuído um outro dispositivo como um *gamepad* para controlar este sistema facilitando a animação. A complexidade destas funções e tarefas pode no entanto ser repartida por vários elementos caso sejam ligados mais teclados ao computador. Esta é uma forma simples de contornar esta questão e integrar um maior número de participantes como forma de envolver toda a equipa no momento da performance. Também é importante dizer que a complexidade destas operações está relacionada directamente com a estrutura da peça e com o número de elementos disponíveis durante as cenas, ou seja, uma peça pode ter apenas uma personagem e ser constituída por uma única cena, com apenas um cenário e uma luz, não sendo neste caso necessário nenhum operador.

O elemento imprescindível na produção da peça é o manipulador da marioneta virtual, o qual pode controlar uma série de acções, nomeadamente a da operação de cena. O manipulador ou marionetista tem à sua disposição três dispositivos de controlo da marioneta: o rato, para a manipulação directa ou varetas; o *gamepad*, para controlar o comando dos fios; o microfone, para produzir as expressões faciais e o respectivo sincronismo labial. O manipulador pode controlar estes dispositivos em simultâneo ou estes podem ser controlados por vários elementos, sendo esta a opção ideal para se alcançar em movimentos e expressões de elevado detalhe. Controlar um *gamepad* e um rato em simultâneo é uma tarefa complicada e exige alguma coordenação. No entanto, manipular uma marioneta virtual com três elementos também requer alguma coordenação. É de notar que quando estão mais marionetas em cena só é possível a manipulação directa (através do rato como dispositivo de controlo) de uma marioneta de cada vez, isto faz com que o elemento que controla este dispositivo passa a intervir em todas as marionetas. Para além destas, também controla os adereços móveis, podendo assim, atirar uma bola para o palco, deslocar uma caixa ou dar movimento a um pêndulo.

A peça pode ser filmada para mais tarde vir a ser editada ou publicada, sendo esta filmagem é disponibilizada para todas as câmaras configuradas. Também se pode fazer uma pausa para recomeçar mais tarde, ou mesmo gravar a actuação até um dado momento em ficheiro para que mais tarde seja retomada.

4.6.3.2 Performance Televisiva

A performance televisiva apresenta uma configuração diferente da performance teatral e tem como objectivo a inserção de marionetas virtuais em espaços reais através da técnica de *chroma keyer*. Esta técnica é muito utilizada em televisão e cinema para colocar personagens

em cenários diferentes, podendo estes ser reais ou virtuais. Para se obter o *chroma keyer* é necessário que o cenário seja substituído por um fundo de cor plana uniforme e homogénea, geralmente azul ou verde puro, para ser posteriormente substituído por um outro canal de imagem. Esta substituição ou mistura pode acontecer em tempo real para eventos em directo como os noticiários ou em pós-produção para um melhor controlo. Existem algumas condições para se conseguirem bons resultados com esta técnica, são elas: a boa iluminação do fundo, sendo necessária uma iluminação completa e homogénea; o recurso à luz de recorte das personagens de forma a distanciá-la do fundo; evitar cores semelhantes às do *chroma* nas personagens e evitar materiais que possam reflectir a cor do fundo. Portanto, para adaptar esta técnica à aplicação seria necessário utilizar uma cor plana verde ou azul como fundo e impedir que não existissem proximidades cromáticas nas personagens ou adereços que entrassem em campo.

Este modo pode ser utilizado para introduzir personagens animadas por cima de imagens reais, como as de um noticiário, ou por cima de imagens virtuais como as de um filme de animação, em ambos os casos a aplicação permite trabalhar a luz para ajudar a inserção da personagem no ambiente, também é possível configurar as câmaras para obter o mesmo efeito de deformação de lente, ou o mesmo movimento de câmara existente nas imagens de destino.

Uma outra característica importante deste modo é a forma como é gerado o sinal audiovisual, podendo este ser directo ou indirecto. O sinal directo pressupõe uma saída especial de vídeo e áudio devidamente configurada e calibrada sendo adaptável a emissões em directo como no caso dos noticiários. Enquanto que o sinal indirecto seria gerado para um ficheiro de vídeo linear compatível com as aplicações de edição não lineares e em formato *standard* de *broadcast* em sistema PAL a 720x576 *pixels* a 25 fotogramas por segundo (fps), ou em sistema NTSC a 720x480 *pixels* a 30 fps. Estas também seriam as especificações para a saída de vídeo em tempo real, no entanto teria de ser configurado o canal de saída e o respectivo dispositivo, podendo este ser efectuado através de uma placa com uma saída *standard* nos meios televisivos do tipo SDI (*Serial Digital Interface*) com uma razão de transferência de informação na ordem dos 270 Mb/s [55], sendo neste caso necessário a geração de um sinal de sincronismo entre a imagem vídeo e o áudio.

Para este modo a aplicação disponibiliza uma interface baseada em múltiplos ecrãs através da utilização de janelas. Esta interface também pode ser utilizada na performance teatral ao vivo caso existam múltiplos dispositivos vídeo. A esta interface particular chamamos de “performance ao vivo” e basicamente assenta na possibilidade de utilizar um outro dispositi-

vo de saída visual, podendo este ser um projecto, um monitor, uma televisão ou uma saída especial para emissão em formato *standard* televisivo (*broadcast*). Esta interface caracteriza-se pela separação entre a projecção e o controlo, passando a projecção da peça a ser efectuada numa ou mais saídas dedicadas sem interferências, enquanto que o controlo passa a ocupar outros dispositivos disponíveis apresentando-se em um ou mais ecrãs com várias janelas, em que pelo menos uma é o espaço da performance e que é espelhada no dispositivo de projecção.

Assim, a aplicação passa a contemplar várias janelas passíveis de ser configuradas com o objectivo de fornecerem algumas informações e opções adicionais. Destas, destaca-se a janela da *régie* que inclui vários pequenos monitores com uma visão das câmaras configuradas numa analogia às *régies* de televisão; assim, o operador/realizador pode ter uma noção concreta do que se está a passar em cada câmara e assim escolher a que mais lhe convém. Uma outra janela evidencia certas semelhanças com uma mesa de mistura áudio, com vários *faders*, potenciómetros e botões para controlar o áudio, permitindo uma mistura de áudio em tempo real ajustado às necessidades. A janela dos adereços pode ser bastante útil numa performance ao vivo onde por vezes o improvisado reina e são necessários alguns objectos não contemplados na preparação do guião. Também os cenários podem ser alterados através de uma janela específica. Algumas janelas estão orientadas apenas para o modo performance televisiva, sendo uma delas a janela de *timecode* que permite visualizar o tempo síncrono que está a ser gerado ou capturado. Uma outra janela específica da performance televisiva é a janela de cor que possibilita alterar a cor do fundo (*chroma keyer*) em tempo real e apresenta os valores de crominância e luminância como forma de evitar superar os valores máximos permitidos em televisão, sendo possível calibrar estes valores em termos globais.

4.6.3.3 Ensaio

O modo ensaio tem como objectivo o utilizador poder experimentar livremente a manipulação das marionetas, experimentar os elementos definidos na pré-produção e ensaiar as cenas. Este modo apresenta uma interface com várias janelas semelhante ao da “performance ao vivo” orientadas à pré-produção. Desta forma podem ser ensaiados os *sets* de luz, câmara e som, podem ser testados os cenários e os adereços, podem ser experimentadas as personagens com as suas texturas, podem ser accionadas as animações como forma de definir os tempos de acção, entre muitas outras experiências. Neste modo são disponibilizadas as janelas da pré-produção de forma a ser possível alterar algum aspecto que não esteja devidamen-

te ajustado. O utilizador pode por exemplo a qualquer momento alterar o desenho da marioneta que está a manipular, bastando carregar no botão de actualizar para que a sua alteração se reflecta na janela da performance. Estão também disponíveis as janelas da performance ao vivo como forma de o utilizador ensaiar o seu funcionamento. Numa situação em que a marioneta virtual contracena com um actor real, o ensaio da performance em conjunto é fundamental, até porque o desenho de luz do teatro de marionetas virtual pode ser adaptado a condizer com o do teatro real e assim a luz que esteja a incidir no actor real num dado espaço pode ser simulada como a sua continuação no espaço virtual.

4.6.3.4 Animação

O modo animação está direccionado à animação digital e tem como objectivo principal a produção de animações para serem integradas em filmes de animação ou a produção de animações para serem integradas em *storyboards* animados. Este modo baseia-se no modo televisivo, podendo ser utilizado com um único dispositivo de saída visual. A grande diferença deste modo para os anteriores é o poder navegar no tempo da animação e assim poder voltar atrás no tempo para rever, corrigir ou adicionar movimentos e saltar para a frente no tempo até ao último momento registado. Esta navegação é feita através de uma barra temporal (*timeline*) disponibilizada na interface com indicações dos pontos-chave da animação (*keyframes*). Para se concretizar esta funcionalidade é fundamental o registo das alterações de comportamento dos elementos em cena que são despoletados pela interacção do animador. Este modo aplica o conceito de animação por camadas a que chamamos por analogia de animação cebola com o objectivo de produzir animações altamente detalhadas. Estas podem ser aplicadas num universo de tempo não linear, como por exemplo em programas de televisão gravados, filmes de animação ou principalmente em esboços de animação na fase de produção como nos “animatics”. A aplicação em *storyboards* animados poderá ser uma vantagem assinalável em futuras produções de cinema de animação. Também a utilização deste modo em fases de discussão de ideias (*brainstorming*) poderá ser uma mais valia, sendo possível simular e demonstrar alguns movimentos que se pretendam. Esta poderá ser, portanto, uma das aplicações mais interessantes em ambientes profissionais. Um exemplo da abordagem do animador à animação por camadas poderia começar pela animação global da marioneta através da manipulação do comando e dos fios que a sustentam e movimentam deslocando-a no espaço, esta manipulação seria efectuada com o *gamepad*. Posteriormente o animador poderia voltar atrás no tempo para animar os membros da personagem através do

recurso à manipulação directa com o rato. Por fim e voltando novamente atrás no tempo o animador poderia dedicar-se apenas às expressões faciais através do registo de voz.

Este é um bom método para se conseguir animações mais complexas e pormenorizadas reduzindo a taxa de erro normal na animação performativa.

É ideal para se criar “animatics” para filmes de animação. Assim, o realizador poderá ver um esboço da animação de uma personagem.

Podem ser utilizadas algumas funcionalidades da performance televisiva como forma de integração com a imagem final, sendo possível manipular câmaras e luzes e assim produzir os planos mais próximos do desejado pelo realizador. Neste modo é possível colocar como fundo o esboço do *storyboard* e assim animar tanto as personagens como o próprio cenário obtendo como resultado um “animatic” finalizado com referências de *timecode*.

4.6.4 Módulo Entretenimento

O módulo entretenimento foi especialmente desenhado para descontrair e está um pouco fora dos processos de trabalho até então definidos. Este módulo deverá servir de introdução a todos aqueles que experimentam a aplicação pela primeira vez. Este módulo possui duas vertentes; os jogos e o treino de movimentos. No entanto, todos os modos de entretenimento possuem pontuação de desempenho e assim o próprio treino de movimentos pode ser considerado um jogo.

O treino de movimentos tem como objectivo o aperfeiçoamento da técnica do utilizador na animação da marioneta. Neste modo são apresentadas duas marionetas lado a lado. Uma marioneta será manipulada pelo utilizador e a outra, com autonomia, apresenta-se como cicerone desafiando o utilizador a imitar os seus movimentos. Desta forma o cicerone vai propondo ao utilizador que este tente repetir os seus movimentos e para isso dispõe de um limite temporal. Para cada movimento efectuado existe uma pontuação de desempenho e à medida que se vai avançado nos desafios estes vão ficando mais difíceis de reproduzir.

Uma outra aplicação da marioneta virtual são os jogos e neste segmento pretende-se demonstrar uma nova relação entre o jogador e o boneco que o representa. Ao contrário dos bonecos clássicos com animações previamente gravadas das respectivas acções, a marioneta virtual permite ao utilizador controlar um boneco completamente articulado que responde em tempo real com comportamentos relacionados com o meio ambiente. Esta poderá ser uma pequena contribuição para uma nova abordagem ao desenvolvimento de jogos de computador. Beneficiando do motor tridimensional incorporado e do sistema de dinâmicas com controlo de

colisões, foram concebidos dois jogos muito simples mas que poderão deliciar os mais cépticos das marionetas, o jogo da bola e o jogo do desvio. O jogo da bola é basicamente um jogo de grandes penalidades, com uma baliza, uma bola e duas marionetas. Este jogo pode ser jogado com um ou dois jogadores. No caso de apenas um jogador, este controla a marioneta que marca a grande penalidade, podendo recorrer à manipulação directa ou por fios para dar o pontapé; a marioneta que representa o guarda-redes é controlada pelo computador. No caso de dois jogadores, o guarda-redes passa a ser controlado pelo outro jogador, podendo igualmente controlar a marioneta com o rato ou com o *gamepad*.

O jogo do desvio apresenta apenas uma marioneta no centro do ecrã e o objectivo é desviar-se de umas lâminas que percorrem o espaço. O jogador para se desviar destas lâminas pode baixar ou subir a marioneta, ou desviar-se para os lados. À medida que se vai progredindo no jogo, as laminas vão aparecendo com maior frequência e com uma maior velocidade, podendo aparecer mais do que uma lâmina em simultâneo, tornando a tarefa do jogador mais difícil.

4.6.5 Módulo de Montagem

O módulo de montagem enquadra-se na fase de pós-produção agregando as funções de visualização, edição, efeitos especiais e exportação. A interface deste módulo apresenta semelhanças com outras aplicações de edição não linear contemplando dois monitores, uma biblioteca de elementos, uma barra temporal, uma janela com efeitos e transições e várias ferramentas e opções. Neste módulo o utilizador assume o papel de editor podendo escolher a peça ou as peças que pretende trabalhar através da sua importação para a biblioteca. Esta também pode receber ficheiros de áudio, de imagem ou até mesmo animações em Flash. Todos estes elementos podem ser visualizados ou escutados no monitor de visualização genérico e inseridos na barra temporal, para isso o editor pode marcar o intervalo que pretende usar no monitor de visualização e enviar para a barra temporal através das funções de inserção (*insert*) ou de substituição (*overwrite*).

A barra temporal é constituída por camadas de vídeo e camadas de áudio que podem ser adicionadas ou apagadas. Quando um elemento é colocado na barra temporal ele assume o aspecto de um bloco que pode ser encurtado ou alongado dependendo da sua duração, pode ser copiado e repetido, movido no tempo ou simplesmente apagado. Os efeitos de áudio e vídeo podem ser aplicados aos elementos individuais da barra temporal ou a todo o filme. Estes efeitos de pós-produção permitem por exemplo colocar um filtro de cor por cima da

imagem para criar um efeito de filme antigo, colocar um efeito de reverberação no canal da voz ou fazer uma normalização dos volumes. Os efeitos de transição permitem passar de um elemento para outro sem ser por corte, podendo ser por um efeito de dissolvência ou de um flash de cor, entre muitos outros. Os efeitos de transição também se aplicam aos canais de som podendo ser aplicado um efeito de *crossfade* para unir dois sons.

Os elementos na barra temporal são visualizados no monitor principal que pode ser espelhado para um outro dispositivo visual. Elementos como imagens ou animações podem ser inseridos para funcionar como separadores ou até mesmo como blocos de conteúdo relacionado com a história. No caso de uma peça gravada no modo de performance televisiva, é possível substituir o fundo por uma imagem ou animação e assim produzir uma composição final. As vozes também podem ser dobradas directamente na edição, existindo para isso uma opção específica de gravação que reproduz o filme enquanto regista a entrada de microfone e assim permite aos actores de voz terem uma munção visual do filme e uma referência sonora das vozes para os ocultadores.

Quando é inserida na barra temporal uma performance teatral ou performance televisiva ficam activos quatro pequenos monitores numerados com a visualização das câmaras, sendo possível escolher qual a câmara activa num dado momento. Para simular o ambiente de uma *régie* as câmaras podem ser seleccionadas e registadas em tempo real, para isso basta accionar o botão de gravação que o filme começa a ser reproduzido e carregando nos números dos monitores as câmaras são seleccionadas. Podem ser igualmente alterados outros parâmetros registados na performance, como é o caso das luzes e dos sons.

O processo de edição passa portanto por carregar os diversos elementos para a biblioteca, colocá-los no monitor de visualização para marcar o respectivo intervalo, inseri-los na barra temporal com ou sem transição e efeitos, ajustar todos os valores para produzir o filme final. A peça pode terminar com a apresentação de uma ficha técnica que pode ser inserida a partir de uma imagem ou de uma animação em Flash. Quando o filme está terminado passa-se à fase de exportação ou publicação em formato vídeo linear. A janela de exportação permite ao utilizador escolher entre dois formatos de ficheiros de vídeo, em sequências de ficheiros de imagem ou dois formatos de áudio.

5 Conclusão

A animação digital atingiu um patamar de produção de elevada qualidade, conquistando os mercados do entretenimento e estando actualmente a penetrar em mercados como o da educação. Por outro lado, a animação digital em tempo real tem sido alvo de grandes investimentos apresentando-se como aposta no mercado dos jogos, da televisão e nas artes performativas. Isto deve-se em grande parte ao desenvolvimento tecnológico que possibilitou a utilização de determinados recursos em tempo real, como a utilização de motores de dinâmicas.

Este projecto posiciona-se dentro deste contexto de multiplicidade de aplicações da animação digital, apresentando-se como uma ferramenta diferente na animação de bonecos articulados. Como desafio para o desenvolvimento de uma ferramenta como esta encontravam-se aspectos como a liberdade de movimentos e a utilização de dispositivos de interacção genéricos e acessíveis, como o rato e o *gamepad*. A proposta para ultrapassar estes desafios foi o de construir uma marioneta virtual. Foi então iniciada uma investigação aprofundada sobre as marionetas, a animação e as tecnologias de forma a encontrar a direcção mais acertada.

Na reflexão e estudo das marionetas verificou-se que a sua história é marcada por muitas incertezas, talvez por ser considerada uma arte popular não tendo direito a registos literários. O seu conhecimento é transmitido de mão em mão, de geração em geração, distorcido e enriquecido pela comunicação mas que não deve ser perdido. A sua evolução tem alimentado alguma polémica quanto à sua verdadeira identidade e organização, sendo necessário clarificar a sua posição face aos novos desafios. A marioneta pode ser considerada no sentido lato uma representação ou uma máscara, potenciando a sua aplicação a uma esfera bastante genérica, especialmente numa época onde se fala tanto em “*avatars*”. É importante acompanhar a mudança e a evolução da sociedade alterando o paradigma das marionetas e adaptando-o a novas realidades. Apesar de no passado ter ocupado um espaço restrito como entretenimento, foi conquistando um estatuto mais artístico, apresentando-se actualmente como uma arte polivalente com variadas aplicações como as da terapia ou da educação.

Este projecto poderia também contribuir para um novo espaço de utilização das marionetas. No entanto, era importante saber se esta nova abordagem se enquadrava na categoria de marionetas. Apesar de múltiplas opiniões e teorias, parece-nos que a divisão em três categorias de marionetas apresentada por Steve Tillis, distinguindo-as pelo aspecto da tangibilidade, é a mais fundamentada, contextualizando este projecto na categoria de marionetas virtuais.

Os resultados obtidos demonstram a viabilidade deste projecto e sua aplicabilidade nas diversas áreas propostas (animação, performance teatral, jogos e educação). Os dispositivos de interacção funcionam em conjugação uns com os outros, sendo que o *gamepad* obriga a uma elevada coordenação de movimentos.

Concluimos que o projecto responde à proposta em toda sua plenitude, acabando por ser uma ferramenta distinta de todas as disponíveis na animação de bonecos articulados com elevada liberdade de movimento através de dispositivos genéricos. O facto de o boneco ser animado em tempo real também aproxima o operador que vibra com a improvisação do movimento transmitido à marioneta, retirando um pouco da ordem gerada dentro do computador tornando o movimento mais natural assemelhando-se de certa forma a uma marioneta real.

As funcionalidades previstas para a aplicação direccionam o projecto também para o espaço educativo, alimentando a magia e a ilusão da imaginação, proporcionando o trabalho em equipa e integrando os trabalhos manuais com os digitais.

5.1 Trabalho futuro

Como trabalho futuro dentro desta área propomos a abordagem de novas interfaces, nomeadamente a experimentação das plataformas multi-toque que permitem animar as formas directamente com os dedos. Estas plataformas assumem-se como futuro das interfaces de interacção prevendo a sua implementação para muito breve. A sua influência irá marcar todo o desenvolvimento de aplicações de nova geração abrindo novas perspectivas de interacção, especialmente para aplicações de animação que irão beneficiar com o facto de se poderem animar vários objectos em simultâneo com grande facilidade.

A integração do conceito de marionetas virtuais, em particular dos bonecos articulados com liberdade de movimento em tempo real poderá trazer algo de novo a um mercado de certa forma congelado e saturado. Esta integração poderá marcar uma nova etapa de relações entre o jogador e a sua “marioneta”.

O desenvolvimento deste tipo de aplicações orientado a fins educacionais pode ajudar os mais novos a olharem para os computadores como ferramentas de trabalho e instrumentos de apoio à criatividade e não apenas como máquinas de jogo.

Por outro lado, a aplicação destas ferramentas às artes performativas expande a utilização dos computadores a várias áreas, passando a ser considerados instrumentos polivalentes e que podem ter comportamentos de improviso, em tempo real, interactivos com outros meios.

BIBLIOGRAFIA

AMARAL, Ana (1991): *Teatro de Formas Animadas*, São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo.

BARRADAS, Mário (1999): *Caderno BIME 99: II Seminário Internacional de Marionetas de Évora*, Évora, Adágio.

BELL, John (2001): *Puppets, Masks and Performing Objects*, Londres, Mit Press.

CHESNAIS, Jacques: *Histoire Générale des Marionnettes*, D'aujourd'hui.

CURRELL, David (1985): *The Complete Book of Puppet Theatre*, Londres, A & C Black.

ERULI, Brunella (org.) (2006): *PUCK – La marionnette et les Autres Arts*, Charleville-Mézières, Institut International de la Marionnette.

FOURNEL, Paul (1982): *Les Marionnettes*, Paris, Bordas.

FRASCONE Bruno & FRASCONE Darlène (1998): *L'Art et la Technique de la Marionnette a Fils*, La Meignanne, Bruno Frascone.

GRANT, John (2001): *Masters of Animation*, Nova Iorque, Watson-Guption.

JÚNIOR, Alberto Lucena, (2002): *Arte da Animação – Técnica e Estética através da História*, São Paulo, Senac.

MALKIN, Michael (1977): *Traditional and Folk Puppets of the World*, New Jersey, A.S. Barnes and Co., Inc.

PASSOS, Alexandre (1999): *Bonecos de Santo Aleixo*, Évora, Adágio.

SIMMEN, René (1972): *Le Monde des Marionnettes*, Zurique, Silva Zurich.

WELLS, Paul (2006): *The Fundamentals of Animation*, London, Thames & Hudson.

WHITAKER, Harold & HALAS, John (2006): *Timing for Animation*, Burlington, Focal Press.

WILLIAMS, Richard (2001): *The Animator's Survival Kit*, Londres, Faber and Faber Limited.

REFERÊNCIAS

- [1]: BELL, John (2001): *Puppets, Masks and Performing Objects*, Londres, Mit Press.
- [2]: RIDGEWAY, William (1915): *The Dramas and Dramatic Dances of the Non-European Races*, Cambridge, Cambridge Press.
- [3]: MALKIN, Michael (1977): *Traditional and Folk Puppets of the World*, New Jersey, A.S. Barnes and Co., Inc.
- [4]: Wikimedia Commons, <http://commons.wikimedia.org>.
- [5]: ERULI, Brunella (2006): *PUCK – La Marionnette et les Autres Arts*, Charleville-Mézières, Institut International de la Marionnette.
- [6]: CHEVALIER, Jean & GHEERBRANT, Alain (1982): *Dicionário dos Símbolos*, Paris, edições Robert Laffont, edições Júpiter.
- [7]: PASSOS, Alexandre (1999): *Bonecos de Santo Aleixo*, Évora, Adágio.
- [8]: BAUDRILLARD, Jean (1968): *O sistema dos Objectos*. Trans. Zulmira Ribeiro Tavares 3rd ed (1997). São Paulo, Perspectiva.
- [9]: CURRELL, David (1985): *The Complete Book of Puppet Theatre*, Londres, A & C Black.
- [10]: 101 HandPuppets, <http://www.101handpuppets.com/professional-puppets/little-red-riding-hood.html>.
- [11]: ANDERSEN, Peter B. (1997): *A theory of Computer Semiotics: Semiotics approaches to construction and Assessment of Computer Systems*, Cambridge University Press.

-
- [12]: ISHII, Hiroshi & ULMER, Brygg (1997): *Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces Between People, Bits and Atoms*, Proceedings of CHI '97.
- [13]: AGARAWALA, Anand (2006): *Enriching the Desktop Metaphor with Physics, Piles and the Pen*, Toronto, Universidade de Toronto.
- [14]: AGARAWALA, Anand & BALAKRISHNAN, Ravin (2006): *Keepin' It Real: Pushing the Desktop Metaphor with Physics, Piles and the Pen*, Toronto, Universidade de Toronto.
- [15]: LEE, Chia-Hsun; HU, Yuchang & SELKER, Ted (2006): *iSphere: A Free-Hand 3D Modeling Interface*, Cambridge, MIT.
- [16]: CREVOISIER, Alain & POLOTTI, Pietro (2006): *Tangible Acoustic Interfaces and their Applications for the Design of New Musical Instruments*, Suíça, Universidade das Ciências Aplicadas de Yverdon, ISPG - Politécnico de Milão, Itália, VIPS – Universidade de Verona, Itália.
- [17]: LEE, SK; BUXTON, William & SMITH, K.C. (1985): *A Multi-Touch Three Dimensional Touch-Sensitive Tablet*, Nova Iorque, ACM Press.
- [18]: DIETZ, Paul & LEIGH, Darren (2001): *Diamondtouch: A Multi-User Touch Technology*, Nova Iorque, ACM Press.
- [19]: REKIMOTO, Jun (2000): *smartskin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces*, Higashigotanda, Sony Computer Science Laboratories.
- [20]: RYALL, Kathy; FORLINES, Clifton; SHEN, Chia & MORRIS, Meredith (2005): *Exploring the Effects of Group Size and Table Size on Interactions with Tabletop Shared-Display Groupware*, Cambridge, Mitsubishi Electric Research Laboratories, Stanford, Universidade de Sanford.

-
- [21]: HALLER, Michael; LEITHINGER, Daniel & SEIFRIED, Thomas (2006): *Coeno-Storyboard: An Augmented Surface for Storyboard Presentations*, Áustria, Upper Austria of Applied Sciences, Media Technology and Design.
- [22]: MATSHUSHITA, Nobuyuki & REKIMOTO, Jun (1997): *HoloWall: Designing a Finger, Hand, Body, and Object Sensitive Wall*, Proceedings of UIST'97.
- [23]: REKIMOTO, Jun & MATSHUSHITA, Nobuyuki (1997): *Perceptual Surfaces: Towards a Human and Object Sensitive Interactive Display*, Sony Computer Science Laboratory Inc. Japão.
- [24]: DAVIDSON, Philip & HAN, Jefferson (2006): *Synthesis and Control on Large Scale Multi-Touch Sensing Displays*, Nova Iorque, Courant Institute of Mathematical Sciences - New York University.
- [25]: BIRTINGER, Johannes (2002): *Dance and Media Technologies*, PAJ - A Journal of Performance and Art. 24/1.
- [26]: LÉVY, Pierre (1993): *As Tecnologias da Inteligência*, Rio de Janeiro.
- [27]: NICOL, A. (1990): *Interfaces for Learning – What do Good Teacher Know That We Don't*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- [28]: BORK, A. (1981): *Learning with Computers*, Cambridge, Digital Press.
- [29]: VYGOTSKY, L.S. (1974): *Thought and Language*, Massachusetts, MIT Press.
- [30]: KAY, Alan (1990): *User Interface: A personal View, in The Art of Human Computer Interface Design*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- [31]: PAPERT, S. (1980): *Mindstorms - Children, Computers, and Powerful Ideas*, New York, Basic Books.

- [32]: INGALLS, Dan; KAEHLER, Ted; MALONEY, John; WALLACE, Scott & KAY, Alan (2004): *Back to the Future – The Story of Squeak, A Pratical Smalltalk Written in Itself*, Glendale/Califórnia, Walt Disney Imagineering.
- [33]: POZO, J. (2002): *Teorias Cognitivas de Aprendizagem*, Porto Alegre, ArtMed.
- [34]: DIAS, Paulo; GOMES, Maria João & CORREIA, Ana Paula Sousa (1998): *Hiper Média & Educação*, Braga, Edições Casa do Professor.
- [35]: WILLIAMS, Richard (2001): *The Animator's Survival Kit*, Londres, Faber and Faber Limited.
- [36]: BAR-LEV, Adi; BRUCKSTEIN, Alfred & ELBER, Gershon (2006): *Virtual Marionettes: A System and Paradigm for Real-Time 3D Animation*, Haifa, Computer Science Department.
- [37]: MOSCOVICH, Tomer (1999): *Principles and Applications of Multi-toch Interaction*, Nova Iorque, Universidade de Nova Iorque.
- [38]: IGARASHI, Takeo; MOSCOVICH, Tomer & HUGHES, John (2005): *As-Rigid-As-Possible Shape Manipulation*, The University of Tokyo, Brown University, Presto, Jst.
- [39]: KOKKEVIS, Evangelos (2004): *Practical Physics for Articulated Character*, Game developers Conference 2004, Sony Computer Entertainment America Research & Development.
- [40]: LAM, David (2004): *Animating for Convincing Human Motion*, Parsons School of Design, a division of New School University.
- [41]: RASKAR, Ramesh; NII, Hideaki; DEDECKER, Bert; HASHIMITI, Yuki; SUMMET, Jay; MOORE, Dylon; ZHAO, Yong; WESTHUES, Jonathan; DIETZ, Paul; BARNWELL, John; NAYAR, Shree; INAMI, Masahiko; BEKAERT, Philippe; NOLAND, Michael;

BRANZOI, Vlad & BRUNS, Erich (1997): *Prakash: Lighting Aware Motion Capture using Photosensing Markers and Multiplexed Illuminators*, Cambridge, Mitsubishi Electric Research Laboratories (MERL).

[42]: YNOGUTI, Carlos Alberto (1999): *Reconhecimento de Fala Contínua Usando Modelos Ocultos de Markov*, Campinas, Universidade Estadual de Campinas.

[43]: BUSSO, Carlos; DENG, Zhigang; YILDIRIM, Serdar; BULUT, Murtaza; LEE, Chul; KAZEMZADEH, Abe; LEE, Sungbok; NEUMANN, Ulrich & NARAYANAN, Shrikanth (2005): *Analysis of Emotion Recognition using Facial Expressions, Speech and Multimodal Information*, Los Angeles, University of Southern California.

[44]: BREGLER, Christoph; COVELL, Michele & SLANEY, Malcolm (1997): *Vídeo Rewrite: Driving Visual Speech with Áudio*, ACM SIGGRAPH 97.

[45]: KALBERER, Gregor; MULLERLUE, Pascal & GOOL, Van (2002): *Generating Visemes for Realistic Animation*, Zurique, Computer Vision Lab.

[46]: KALBERER, Gregor; MULLERLUE, Pascal & GOOL, Van (2002): *Speech Animation using Viseme Space*, Zurique, Computer Vision Lab.

[47]: KSHIRSAGAR, Sumedha & MAGNENAT-THALMANN, Nádia (2003): *Visyllable Based Speech Animation*, Geneva, Eurographics.

[48]: CASSELL, Justine; PELACHAUD, Catherine; BADLER, Norman; STEEDMAN, Mark; ACHORN, Brett; BECKETT, Tripp; DOUVILLE, Brett; PREVOST, Scott & STONE, Matthew (1994): *Animated Conversation: Rule-Based Generation of Facial Expression, Gesture & Spoken Intonation for Multiple Conversational Agents*, Pennsylvania, ACM SIGGRAPH 1994.

[49]: ALBRECHT, Irene & HABER, Jorg & SEIDEL, Hans-Peter (2002): *Speech Synchronization for Physics-Based Facial Animation*, ACM SIGGRAPH 1994.

[50]: CAO, Yong; TIEN, Wen; FALOUTSOS, Petros & PIGHIN, Frédéric (2005): *Expressive Speech-Driven Facial Animation*.

[51]: BRAND, Matthew (1999): *Voice Puppetry*, ACM SIGGRAPH 97.

[52]: IGARASHI, Takeo & HUGHES, John (2006): *Voice as Sound: Using Non-Verbal, Voice Input for Interactive Control*, Wate, Computer Science Department, Brown University.

[53]: SIROTA, Alex; SHEINKER, Dov & YOSSEF, Oren (2006): *Controlling a Virtual Marionette using a Web Camera*, Technion - Israel Institute of Technology.

[54]: KIM, Sujeong; ZHANG, Xinyu & KIM, Young (2006): *Haptic Puppetry for Interactive Games*, Seoul, Department of Computer Science and Engineering.

[55]: PANK, Bob (1998): *The Digital Fact Book*, Newbury, Quantel.