

# Geração Automática de Olhares Expressivos em Humanos Virtuais

Rossana Baptista Queiroz  
fellowsheep@gmail.com

*Orientador:* Profa. Dra. Soraia Raupp Musse  
soraiarm@unisinis.br

Universidade do Vale do Rio dos Sinos  
Ciência da Computação  
Av. Unisinis 950 – São Leopoldo – RS – Brasil

Novembro de 2006

## 1 Introdução

Os olhos representam um canal de comunicação que envia muitos sinais e reage aos vários estímulos que recebe. O movimento dos olhos possui um papel fundamental na comunicação não-verbal entre os seres humanos, pois revela muito mais do que o que é expresso em um diálogo. A movimentação dos olhos expressa emoções e regula o fluxo de conversação. Além do mais, a direção dos olhos indica o foco atencional do indivíduo. Diante disso, nota-se a importância de modelos animados de humanos e de outros seres virtuais apresentarem aspectos realistas e convincentes em seu olhar.

Existem diferentes abordagens para a simulação realista dos movimentos dos olhos. Algumas procuram simular os movimentos mais sutis, como o comportamento dos saccades visuais [LEE 02b] [VIN 04]. Outras levam em consideração o olhar em alto nível, mas atentando em aspectos comportamentais durante uma conversação [CAS 97] [COH 00], ou na percepção e acompanhamento de objetos em

um ambiente [ITT 04]. Além disso, existem trabalhos mais voltados à expressividade dos olhos e emoção [POG 02].

Este trabalho busca, através da integração de algumas técnicas vistas na literatura e a inclusão de outras diretrizes comportamentais, desenvolver um modelo de geração automática de olhares expressivos em humanos virtuais. Espera-se, através desta pesquisa, fornecer uma base para o desenvolvimento de aplicações que auxiliem o animador através da utilização de diretrizes de alto nível, durante o desenvolvimento de aplicações como filmes, agentes comunicativos e jogos. Este trabalho faz parte das atividades do projeto de pesquisa Virtus<sup>1</sup>, que tem como macro objetivo a simulação de personagens virtuais com emoção em narrativas interativas para novas mídias.

A fim de construir um modelo de olhares expressivos e realistas, foi realizado um estudo aprofundado sobre o estado-da-arte e fundamentação teórica da animação de olhos, apre-

---

<sup>1</sup>Projeto financiado pelo CNPq em cooperação com PUC-Rio/UFRJ e IMPA

sentados na próximas seção. Em seguida, são apresentados o modelo preliminar do protótipo em desenvolvimento, uma descrição do andamento deste projeto e algumas considerações a respeito deste.

## 2 Fundamentação Teórica

Nesta seção são apresentados, em primeiro lugar, alguns conceitos de animação comportamental e animação facial (onde a animação de olhos está inserida), assim como algumas informações sobre a movimentação de olhos humanos, sob o ponto de vista biológico e comportamental (psicológico e social). Logo após é apresentado o estado-da-arte da animação de olhos e alguns trabalhos a respeito de emoções.

### 2.1 Animação Comportamental

De maneira geral, em *softwares* de animação, os animadores precisam descrever detalhadamente cada movimento de seus personagens, tendo no máximo a ajuda de algum interpolador entre os quadros-chave (*keyframes*). Não basta apenas indicar ao personagem para que ele aja “feliz” ou que “vá para lugar X”, mas é necessário especificar cada movimento que expressa a felicidade no ator ou cada passo e trejeitos de seu percurso até X. Esse tipo de ferramenta de animação modela somente a forma e as propriedades físicas dos personagens, enquanto na animação comportamental procura-se modelar o comportamento do personagem. Neste caso, o foco principal são suas ações, além de sua movimentação em particular. Os comportamentos podem incluir desde atividades de um simples trajeto planejado até interações emocionais complexas entre os personagens [REY 87].

Segundo Reynolds, na animação comportamental, um personagem autônomo determina suas próprias ações, pelo menos até um certo

nível. Isso dá ao personagem alguma habilidade de improvisar, e libera o animador de precisar especificar cada detalhe da movimentação de cada personagem. Em [BAD 99], é apresentada uma visão bastante abrangente de animação corporal humana com controle comportamental. De acordo com Musse [MUS 01], o principal objetivo da animação comportamental é prover “autonomia” aos atores virtuais, de maneira que eles possam “evoluir” num determinado ambiente, sem a intervenção do usuário. Trata-se de uma área que está relacionada com Inteligência Artificial [THÓ 04] e estritamente relacionada ao campo de *Vida Artificial* [TER 99] [MAE 95].

### 2.2 Animação Facial

Pesquisas em animação facial são desenvolvidas desde a década de 70 e têm alcançado vários resultados, incluindo a definição de técnicas para a execução de expressões faciais em modelos de faces sintéticas. Estudos relevantes de relações entre os músculos e expressões faciais são vistos no sistema FACS (*Facial Action Code System*), desenvolvido por Ekman[EKM 78]. Este modelo codifica as expressões faciais humanas, através da determinação dos conjuntos de músculos responsáveis pelas expressões. Recentemente, foi lançado o padrão MPEG-4<sup>2</sup> de animação facial, que procura padronizar os parâmetros de deformação facial para a comunicação e integração de conteúdos de multimídia [OST 98][PAR 02].

Atualmente, o sistema FACS atualmente tem sido a melhor base para parametrização de expressões em baixo-nível. Porém, ela é um tanto abstrata, do ponto de vista do animador. O desenvolvimento do modelo de animação facial MPEG-4, com a introdução dos FAPs (*Facial Animation Parameters*), permite que os

---

<sup>2</sup> *Moving Picture Experts Group*, 1999

desenvolvedores de aplicações tenham uma entrada para a animação (expressões, visemas e movimentos de músculos específicos da face) e então a interpretem e tratem as deformações do modelo da sua maneira. Entretanto, ainda assim a utilização das diretivas MPEG-4 pode ser considerada como de baixo nível para os animadores.

No contexto de animação facial, a busca por padrões de comportamento é bastante vasta, como será visto no decorrer deste trabalho. A animação comportamental em faces é uma abordagem que se justifica facilmente, pelo fato da face ser o centro da comunicação humana. Por esse motivo, ela exerce atividade intensa e cada movimento expressa as emoções e percepções sensoriais, que são baseadas diretamente em padrões comportamentais do indivíduo.

### 2.3 Os Movimentos dos Olhos

Nossos olhos movimentam-se intensamente pelo fato que, ao contrário das câmeras de vídeo convencionais que amostram uniformemente o mundo visual, os olhos humanos somente concentram as informações visuais detalhadas em uma pequena região central do campo de visão, chamada *fovea*. Por este motivo, o ser humano é dotado de olhos extremamente móveis que podem quase que instantaneamente apontar a *fovea* para qualquer local do mundo visual [ITT 04].

Segundo [TER 04], o olhar é a direção do olho no espaço. O trabalho de Lee [LEE 02a] indentifica quatro tipos de movimentos de olhos:

- **Movimentos Sacádicos:** a região *foveal*, que tem a abertura de aproximadamente 2 graus do campo de visão, é especializada para uma visão de alta precisão e colorida. Para ver um objeto claramente, os movimentos de deslocamento de olhar direcio-

nam o olho para o alvo. Esses movimentos são os chamados sacades visuais, ou simplesmente sacades. São movimentos muito rápidos, com controle voluntário. Os sacades visuais serão detalhados adiante, pois constituem o tipo de movimento ocular que será simulado no modelo.

- **Movimentos de Retenção do olhar:** Pelo fato que o olhar é a soma da posição da cabeça com a posição do olho, estes movimentos dos olhos compensam os movimentos da cabeça e corpo, a fim de aumentar a estabilidade da imagem retinal. Esses movimentos compreendem os *reflexos optocinéticos*, que são dirigidos pelo movimento da imagem retinal (conhecido como fluxo ótico) e os *reflexos vestibulo-oculares*, que são dirigidos pelos órgãos de equilíbrio no ouvido interno.
- **Movimentos de Fixação:** Mesmo quando fixos em um objeto parado, os olhos fazem contínuos micro-movimentos de três tipos: lentas trações, rápidos tremores de pequena amplitude e micro-sacades que recuperam o olhar quando a pequena tração tiver movido o olho para muito longe do alvo. Quando o objeto-alvo realiza um pequeno deslocamento, os dois olhos devem convergir para o alvo. Isso se chama movimento de convergência.
- **Movimentos de Perseguição (*pursuit*):** Ocorrem quando os olhos seguem um objeto em movimento, voluntária ou involuntariamente. Este movimento é um pouco diferente dos sacades: são mais suaves, mais lentos e com uma menor latência (intervalo entre os movimentos), em reação ao deslocamento do objeto.

Visto que a cabeça tem uma massa significativamente maior que a dos olhos, a dinâmica da cabeça é muito mais ociosa que a dinâmica

dos olhos. De acordo com [CAR 88], quando um sujeito voluntariamente rotaciona bastante a cabeça e os olhos para um alvo no plano horizontal, o movimento dos olhos consiste em uma sacade inicial seguindo a direção do movimento da cabeça, seguido de um retorno devagar para o centro orbital. Durante a aquisição do alvo, a velocidade da cabeça é normalmente correlacionada com a amplitude do deslocamento do alvo visual.

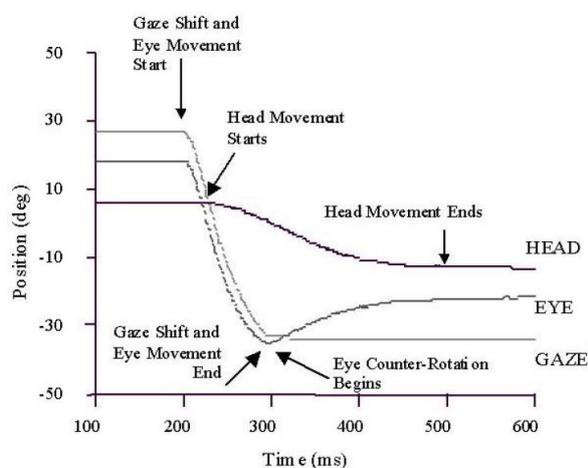


Figura 1: Cinemática Típica da cabeça/olhos/olhar

A cinemática típica da cabeça/olhos/olhar está representada na Figura 1 [TER 04]. As posições da cabeça, olhos e olhar são plotadas como funções do tempo durante um deslocamento de olhar de  $60^\circ$ , composto dos movimentos coordenados de olhos e cabeça. A cabeça contribui aproximadamente com  $10^\circ$  da mudança total do deslocamento do olho durante este movimento. Os  $50^\circ$  restantes são executados pelo movimento sacádico do olho.

### 2.3.1 Os Sacades Visuais

Sacades são movimentos rápidos de ambos os olhos de uma posição de olhar para outra [LEE 02b] *apud* [LEI 91]. São os únicos

movimentos de olhos que podem ser executados prontamente, conscientemente e voluntariamente por seres humanos. Há poucas convenções usadas na literatura sobre movimentos de olhos que descrevem os sacades. O artigo relaciona quatro características principais que podem ser medidas em um sacade:

- A *magnitude* (ou amplitude) de um sacade é o ângulo através do qual o globo ocular rotaciona quando ele muda de uma posição para outra.
- A *direção* do sacade define o eixo 2D de rotação. Ela, essencialmente, descreve a posição do olho em coordenadas polares. Por exemplo, um sacade com magnitude 10 e direção de 45 graus é equivalente a um globo ocular rotacionando 10 graus na direção direita-cima.
- A *duração* de um sacade é o tempo que o movimento leva em sua execução, tipicamente determinado usando-se um limiar de velocidade.
- O *intervalo inter-sacádico* é a quantidade de tempo que transcorre entre o término de um sacade e o início do próximo.

As métricas (características espaço-temporais) dos sacades já foram bem estudados. Um movimento normal de sacade começa com uma alta aceleração inicial ( $30.000 \text{ graus/s}^2$ ) e termina com uma rápida desaceleração. A velocidade de pico para grandes sacades está entre 400 e 600 graus/s. Sacades são precisos quando a magnitude é pequena. O tempo de reação sacádico é entre 180 e 220 ms, em média. O intervalo inter-sacádico mínimo varia de 50 a 100ms.

A duração e velocidade de um sacade são funções de sua magnitude. Para sacades entre 5 e 50 graus, a duração tem aproximadamente

uma taxa de aumento constante com a magnitude e pode ser aproximado por uma função linear, como mostrada no artigo.

Movimentos sacádicos são freqüentemente acompanhados por uma rotação da cabeça na mesma direção (*gaze saccades*). Olhadas com grandes deslocamentos sempre incluem uma rotação de cabeça, sob condições naturais; de fato, normalmente a ocorrências de *saccades* raramente tem uma magnitude maior que 15 graus. Os movimentos da cabeça e olhos são síncronos.

## 2.4 Sobrancelhas, Pálpebras e outros Músculos

Quando se fala em animações de olhos, a primeira coisa que normalmente vem em mente nas pessoas são os olhares em conjunto com as expressões formadas pelo posicionamento das sobrancelhas, pálpebras e outros músculos auxiliares. De fato, se for isolado o globo ocular de algum personagem virtual, não será possível perceber com facilidade o que se passa com ele. O comportamento dos *saccades* e dos reflexos oculares, embora varie com as emoções e com as intenções do indivíduo, não as identifica de forma tão clara como o conjunto de músculos que cerca os olhos, que forma a expressão facial. Os trabalhos que contemplam esse tipo de animação normalmente estão relacionados com emoção e comunicação, como por exemplo [ROD 03] e [BYU 02]. O trabalho de [POG 02] faz uma análise dos significados e sinais do olhar para geração de expressões faciais automáticas dirigidas por dados semânticos. Esse trabalho contempla e mapeia os movimentos das sobrancelhas, pálpebras, “*rugos*” e globo ocular (tipo de olhar, direção da cabeça, brilho dos olhos, dilatação das pupilas) de acordo com uma série de fatores que levam os seres humanos a enviar sinais expressivos com os olhos e reagir de formas diferentes.

## 2.5 O Comportamento do Olhar

De acordo com estudos psicológicos, há quatro funções para o olhar [LEE 02a] (cada uma seguida de exemplos ilustrativos):

- **Envio de sinais sociais:**

- Quem está falando tende a enfatizar palavras, frases ou expressões inteiras.
- Quem está ouvindo tende a sinalizar a atenção ou o interesse em algum ponto em particular da conversa. Em caso de reprovação, ele pode ainda evitar ou desviar o olhar.

- **Abertura de um canal para recebimento de informações:**

- Quem está falando irá olhar para os ouvintes durante pausas na fala para julgar como suas palavras estão sendo recebidas e se os ouvintes demonstram interesse que ele continue.
- Os ouvintes continuamente monitoram as expressões e direção do olhar da pessoa que está falando.

- **Regular o fluxo da conversação:**

- Quando está parando de falar, normalmente a pessoa lança um olhar para o ouvinte, indicando o fim de seu turno de conversa.
- Os participantes da conversa podem olhar para um dos ouvintes para sugerir que ele seja o próximo a falar.

- **Expressar emoções:**

- As pessoas tendem a olhar para baixo quando estão tristes, tímidas ou envergonhadas.
- Quando uma pessoa fica surpresa, as pálpebras se mantêm bem abertas por algum tempo.

Os fatores que interferem no comportamento do olhar durante uma conversação são [COH 00]:

- **Idade:** mais longo em adultos do que em crianças;
- **Sexo:** mais longo em mulheres que em homens;
- **Distância entre os conversantes:** olhar mútuo é mais longo quanto mais próximos os conversantes estão;
- **Cultura:** por exemplo, a postura do olhar dos povos ocidentais e orientais, de acordo com crenças e regras disciplinares.

Em relação à tarefas, as pesquisas categorizam os padrões de movimento dos olhos em quatro diferentes tipos [LEE 02a]:

- **Olhar espontâneo:** o olhar espontâneo é a percepção de uma cena sem uma tarefa específica em mente. O padrão do olhar durante um olhar espontâneo é direcionado às partes da imagem que contêm mais informação.
- **Olhar relevante à tarefa:** este tipo de olhar resulta da observação de uma cena com uma tarefa específica em mente. O padrão do olhar em uma cena particular é correlacionado à questão que está sendo analisada.
- **Orientação do pensamento:** é o padrão de olhar de quando a pessoa não está dando atenção para o que seus olhos estão olhando em virtude dos seus pensamentos.
- **Olhar intencional de manipulação:** resulta do movimento dos olhos para uma localização específica ou de uma maneira específica, com a intenção de manipular alguma coisa através da sua movimentação do olhar.

No que diz respeito a modelos de animação comportamental, as pesquisas têm como forte base estudos psicológicos, como [KEN 67, ARG 76], que estudam o comportamento do olhar na interação social. Argyle e Cook são responsáveis por um estudo psicológico dos padrões de olhar e olhar mútuo (*Gaze and Mutual Gaze*). Este livro não aborda apenas aspectos fisiológicos, mas principalmente comportamentais, buscando padrões nos olhares trocados entre as pessoas. Trata-se de uma obra bastante respeitada, que serviu como base para o modelo de simulação de olhar de vários trabalhos [COH 00, CAS 97, VER 01] levando em consideração o comportamento dos olhares quando na troca de turnos em uma conversação. Segundo Vergetaal [VER 01], o olhar pode ser usado para reconhecer quem vai assumir o discurso quando na troca de turno. Modelos como o de [COH 00], [FUK 02], [LEE 02b] e [VIN 04] levam em consideração se o participante da conversa encontra-se em um dos dois estados: **interlocutor** ou **ouvinte**, para a determinação de parâmetros que geram olhares diferenciados. Verificou-se em [LEE 02b] que esses dois estados apresentam diferentes distribuições de probabilidade no intervalo entre os movimentos oculares. O trabalho de Renault e Thalmann [REN 90] influenciou [ITT 04], que utilizou visão artificial para detectar o foco atencional do personagem virtual, a fim de gerar uma animação bastante realista.

## 2.6 Modelos de Simulação dos Movimentos Oculares

Para simular os movimentos oculares, diferentes modelos foram construídos utilizando diversas abordagens, contemplando mais ou menos itens de animação, de acordo com o enfoque do problema dado pelos pesquisadores.

Cassel [CAS 97] descreve um modelo de animação de olhos baseado na estrutura de

conversao entre duas pessoas. O modelo leva em considerao dois aspectos: a troca de turnos durante uma conversa, onde os dois participantes intercalam suas falas e a estrutura do discurso, com a análise do conteúdo proposicional. Foram feitos experimentos em busca de padrões de olhar durante a ocorrência dos elementos da estrutura de informao identificados em um discurso. Com base nesses experimentos e em algum conhecimento prévio a respeito de regras do olhar, o artigo apresenta um algoritmo para a animao dos olhos, que foi implementado no agente comunicativo Gandalf [TH 97].

O modelo proposto em [COH 00] foi baseado principalmente na psicologia. É um modelo estocástico, representado por uma máquina de estados hierárquica. Entretanto, não foram implementadas diferenças relativas a idade, sexo ou cultura. Foram considerados os valores médios de adultos ocidentais. O contexto onde os humanos virtuais estão inseridos é o de agente comunicativo (conversa com o usuário), conversa com outro avatar ou entre vários avatares (em uma videoconferência).

Lee et al [LEE 02b] propõe um artigo referenciado da área, pois relata experimentos feitos com um sistema baseado em dados reais. Trata-se de um modelo estatístico montado em cima de dados coletados via rastreamento do globo ocular (*Eye Tracking*). Através do modelo estatístico, a síntese das sacades apresentam características bastante realistas. O modelo apresenta-se bastante robusto mediante a avaliao feita, onde é comparado com um agente de olhos parados e um com movimentos aleatórios dos olhos.

O modelo de Lee [LEE 02b] é estendido por Vinayagamoorthy et al [VIN 04], que constrói um modelo comportamental usado para simular um comportamento de olhar realístico e outras animações corporais, que fazem parte do comportamento não-verbal, para avatares representando participantes de um ambiente

imersivo compartilhado.

Fukayama et al [FUK 02] propõem um modelo dirigido a agentes comunicativos. Para isso, eles procuram padrões de olhar que causem impacto ao usuário. O modelo é implementado com uma cadeia de Markov de 2 estados e os parâmetros de olhar por eles considerados são três: quantidade de olhar, durao média do olhar e pontos de olhar distante (*away*), parâmetros esses retirados de estudos psicológicos, também observados de alguma forma em outros trabalhos [COH 00, LEE 02b]. Apresentam, então, uma avaliao das impressões causadas por nove padrões de olhar criados através da alterao dos parâmetros de olhar.

Poggi e Pelachaud [POG 02] tratam de uma abordagem que tenta encontrar padrões para a parametrizao das expressões do olhar, através de um estudo dos principais sinais que os olhos humanos emitem em funo de diversos fatores, como percepções e intenções dos indivíduos no meio em que se encontram. O trabalho de Pelachaud em [PEL 03] propõe um modelo de olhar para agentes conversacionais, através de um modelo estatístico associado  informações comunicativas do seu trabalho anterior [POG 02].

No trabalho de Itti et al [ITT 04], os autores têm um estudo voltado ao *foco atencional* de um indivíduo. O modelo é baseado no sistema neurobiológico de macacos. São utilizadas técnicas de processamento de imagens e Redes Neurais Artificiais para a determinao do foco atencional do indivíduo, ou seja, para onde ele direciona o olhar. Nesse artigo, o ambiente não é mais o de conversa um-para-um ou de videoconferência, como visto em outros trabalhos, como em [COH 00, GAR 01, FUK 02], por exemplo. O humano virtual tem capacidade de reao dos olhos a uma variedade de vídeos clipes, *outdoors* reais e saídas de consoles de jogos. A idéia é que os avatares possam estar imersos em um mundo virtual, com di-

versos elementos que podem ou não ser percebidos (através de visão artificial) e, de acordo com sua focalização, seja gerada uma animação coerente e realista de seus olhares.

Terzopoulos [TER 04] traz uma abordagem bastante completa sobre animação comportamental facial. A parte de movimentação dos olhos é diretamente sincronizada com os movimentos da cabeça. Eles baseiam-se em observações e dados coletados na fisiologia humana [CAR 88, FRE 00]. Foi implementado um comportamento de cabeça e olhos que leva em consideração os fenômenos observados como reportados na literatura. O esquema usa funções exponenciais com diferentes constantes de tempo para a cabeça e os olhos, para aproximar as curvas cinemáticas observadas empiricamente, mostradas na Figura 1. O modelo, que suporta os movimentos de retenção e deslocamento de olhar, implementa a camada de controle de movimentação cabeça-olhos da face sintética. Para dar ainda um ar um pouco mais natural à cabeça, os ângulos de rotação foram perturbados com ruído usando a técnica de Perlin (*Perlin Noise*), em baixo nível.

Peters et al [PET 05] propõe um modelo de atenção e interesse usando o comportamento do olhar em agentes comunicativos. Segundo o artigo, quando o transmissor produz seus sinais comunicativos, para que a interação prossiga, o receptor precisa passar pelos seguintes passos: atenção, percepção, compreensão, reação interna, decisão e geração. O agente conversacional deve ser capaz de começar, manter e terminar uma conversação. O modelo proposto procura contemplar essas habilidades, a fim de estabelecer a noção de engajamento em uma conversa dos pontos de vista do ouvinte e do interlocutor.

O trabalho de Lance et al [LAN 04] procura fornecer um modelo de olhares expressivos para humanos virtuais. A abordagem do estudo deles é um tanto diferente dos trabalhos citados até agora, uma vez que os dados de padrões

de olhar são extraídos de filmes de Computação Gráfica. Trata-se de um trabalho cuja ênfase está na metodologia e em alguns dados coletados, sendo que os resultados ainda são preliminares.

O modelo de Gu e Badler [GU 06] busca padrões para o desenvolvimento de um modelo que simule os olhares de agentes conversacionais num ambiente de conversação, considerando não apenas o engajamento na conversa, mas também a distração que ocorre em um ambiente dinâmico, em que movimentos periféricos podem influenciar no comportamento do olhar.

## 2.7 Mapeamento das Emoções

Para desenvolver uma face animada sintética com o comportamento baseado em emoções, é necessário ter um modelo emocional que determine a emoção que o personagem está sentindo no momento e um modelo que mapeie as emoções para as expressões faciais correspondentes, determinando os parâmetros de animação facial (como os músculos envolvidos e intensidade dos movimentos).

Existem muitos estudos de modelos emocionais, com diferentes níveis de alcance e complexidade. Estudos recentes, como de Su et al [SU 05] apresentam modelos bastante completos, baseados na psicologia e implementados com técnicas de Inteligência Artificial. Em [SU 05], as emoções são determinadas através de regras *fuzzy*, sob a justificativa de que as emoções não são exclusivas: uma pessoa não está somente feliz ou totalmente apática em um dado instante.

No ponto de vista da Computação Gráfica, também não é uma tarefa trivial ajustar a intensidade dos parâmetros emocionais aos músculos, de maneira a representar emoções de forma bem diversa, ou ainda emoções combinadas. Badler et al [BYU 02] apresenta um sistema que mapeia os parâmetros emocionais

do modelo *EMOTE* de [CHI 00] para o padrão MPEG-4 e acrescenta os parâmetros *FacE-MOTE*, por eles propostos, para perturbar as expressões base e criar uma escala de formas de expressões faciais maior.

Existem ainda notáveis estudos sobre a expressão corporal, facial e ocular baseados na emoção. Vinayagamoorthy et al [VIN 02] relaciona emoções com comportamentos não-verbais corporais humanos. Poggi e Pelachaud [POG 00] fazem uma análise rigorosa do significado das emoções e expressões de faciais humanas. Seu outro trabalho [POG 02], trata de uma abordagem que tenta dar significado aos principais sinais de emoção que os olhos humanos emitem, de forma que possa incorporá-los na animação facial.

### 3 Escopo do Trabalho

Este trabalho busca explorar os principais elementos que produzem a expressividade e interatividade do olhar humano e integrar com técnicas já existentes, a fim de se obter uma geração automática e robusta coerente com aspectos emocionais do movimento dos olhos.

Os parâmetros faciais que interferem no olhar e na expressividade dos olhos, mapeados a partir da revisão do estado-da-arte são:

- sobrancelhas
- pálpebras
- globo ocular
  - magnitude
  - direção
  - duração
  - intervalo inter-sacádico
- pupilas
- umidade (brilho)

O ponto central do trabalho será a montagem de uma base de dados relacionando emoções e percepções do agente (cujas definições estão na seção seguinte) aos parâmetros que interferem no olhar e na expressividade dos olhos. Em outras palavras, esta base de dados comportamental define as regras ou padrões de olhar para as entradas recebidas e retorna os parâmetros de baixo-nível da animação relacionada (como músculos envolvidos, intensidades e direção dos movimentos, entre outros).

O trabalho não contempla a geração de um modelo emocional e de percepção do agente. Estes aspectos serão considerados como dados de entrada para o presente trabalho, de maneira que poderão ser obtido de modelos já existentes ou de acordo com o que o animador especificar.

### 4 Modelo Preliminar

A arquitetura do modelo em desenvolvimento está ilustrada na Figura 2.

As entradas para o modelo serão de dois tipos, anotadas em um arquivo de configuração (*XML-like*):

- **Emoções:** chamaremos de emoções as entradas referentes ao estado interno do agente. O trabalho de Poggi e Pelachaud [POG 02] trabalha isso como "Informações da Mente" que o agente exterioriza em sinais (olhares com significados). Elas separam essas informações em três categorias: **crenças** (*beliefs of sender's mind*), **metas** (*goals*) e **emoções** (*affec-tive eyes*).

Estas emoções poderão ser provenientes de algum modelo emocional ou simplesmente anotadas pelo artista, que deseja ver uma seqüência de ações (olhares) sendo executadas.

- **Percepções:** entenderemos como percepções as "Informações do Mundo", externo ao agente. No caso do trabalho de Poggi e Pelachaud, essas informações dizem respeito à objetos que o agente faz alguma referência (indicando com o olhar ou expressando sua impressão sobre o objeto através de um padrão de olhar). Nosso trabalho não pretende considerar apenas este aspecto, mas sim ter esta entrada como as informações daquilo que o agente está percebendo (o que está chamando atenção de seu olhar no momento). Em outras palavras, nesta entrada será fornecido o **foco atencional** do agente. A determinação deste foco atencional deverá ser proveniente de algum modelo de percepção ou simplesmente fornecido pelo artista, por meio de um arquivo de anotação.

O modelo é constituído de dois módulos:

- **Base de Dados Comportamental:** como descrito na seção anterior, o cerne do modelo será o que chamaremos de Base de Dados Comportamental. Esta base será constituída pelos sinais de entrada que podem ser recebidos (emoções e percepções) e determinará a *ação* (ou seqüência de ações) relacionada a esse sinal de entrada. Uma ação constitui na determinação dos músculos (ou parâmetros dos músculos) que contribuem para a expressão gerada e a variação dos valores que constituirá a animação do modelo. Um exemplo ilustrativo: o modelo recebe o sinal que o agente está "triste". A base de dados comportamental terá uma entrada para o comportamento "triste", e determinará o arqueamento característico dos músculos da sobrancelha (codificado em valores), o abaixamento das pálpebras, que piscarão com uma freqüência menor e um olhar lento para baixo, seguido de uma fixação por de-

terminado tempo, pupila mantida em tamanho normal e o aumento da umidade no globo ocular.

- **Modelo Estatístico:** nos momentos em que o agente não recebe sinais de entrada, ele manterá uma expressão neutra e produzirá os sacades visuais de acordo com o modelo estatístico de Lee et al [LEE 02b], que dão um razoável realismo no comportamento do olhar em faces neutras. Neste caso, as piscadas também manterão um comportamento padrão, provavelmente sendo geradas através de algum procedimento randômico (não se encontrou na literatura um modelo estatístico de piscadas).

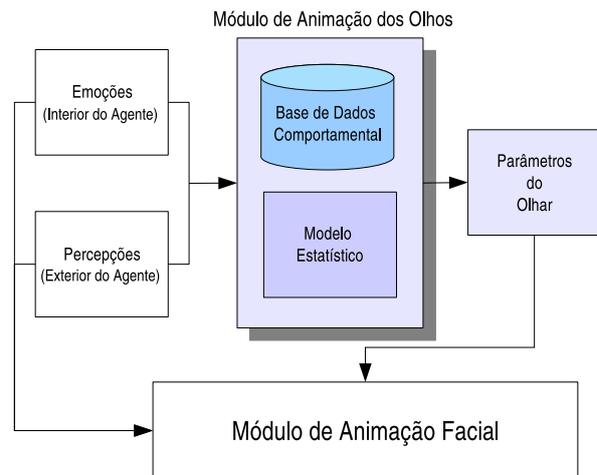


Figura 2: Modelo Preliminar

Como mostrado na Figura 2, o Módulo de Animação Facial, para a visualização dos resultados, não pertence diretamente ao modelo. Ele será necessário, sim, para a avaliação dos resultados da aplicação dos módulos Comportamental e Estatístico. Entretanto, a saída gerada pelo modelo poderá ser utilizada como entrada para qualquer outro visualizador que leia e interprete os valores dos parâmetros de

animação fornecidos. Para o trabalho, o ambiente de visualização será bastante simples, na verdade um protótipo para testes. Os parâmetros relacionados à dilatação de pupila e umidade, por serem mais relacionados à renderização (texturas) não serão contemplados no visualizador. A próxima seção indica mais alguns aspectos sobre a plataforma de visualização (que está sendo migrada, devido a algumas limitações, apresentadas adiante).

## 5 Resultados Preliminares

Durante o período de desenvolvimento deste trabalho, foram realizados, além do estudo aprofundado do estado-da-arte, algumas tarefas relacionadas ao projeto Virtus. O projeto, em parceria com a UFRJ, PUC-Rio e o IMPA, pretende incorporar o modelo de animação comportamental de olhos a um agente conversacional, que está em desenvolvimento. Para as pesquisas na área de expressividade e emoções faciais, está em desenvolvimento um protótipo utilizando o sistema de *talking head* ResponsiveFace, de Ken Perlin [PER 97]. A Figura 3 mostra alguns *snapshots* do agente virtual expressivo utilizado no sistema.

Dos modelos de animação ocular vistos nas seções anteriores, foi estudado mais a fundo e implementado o modelo estatístico de sacades visuais de Lee et al [LEE 02b]. Ele foi integrado a um ambiente simplificado no ResponsiveFace, desenvolvido no projeto para os estudos dos olhos. Inicialmente neste ambiente, não havia movimentação alguma do globo ocular, a não ser uma pequena perturbação (ruído) gerada através do algoritmo *Perlin Noise*[PER 97]. A Figura 4 mostra o ambiente criado para os estudos do projeto. Com a incorporação do modelo estatístico de Lee, foi realizado, então, um estudo comparativo para verificar o impacto dos sacades na expressividade dos olhos.

Neste estudo, comparou-se os seguintes estados:

- Modelo sem movimentação do globo ocular (olhos estáticos)
- Modelo com movimentação gerada apenas pelo ruído de Perlin
- Modelo com movimentação gerada pelo modelo estatístico de Lee, integrada com o ruído de Perlin (utilizado para a geração das piscadas).

Para a avaliação dos resultados, foram reproduzidos no ResponsiveFace dois diálogos de filmes de Computação Gráfica conhecidos. O agente representava um dos participantes do diálogo. As emoções foram anotadas em arquivos de configuração e executadas junto com o áudio desses diálogos.

A Tabela 1 mostra o esquema do arquivo de configuração de um dos diálogos reproduzidos, a saber, do filme *Shrek2*<sup>3</sup>. Neste diálogo, o personagem desempenhou o papel da Princesa Fiona. A Figura 5 mostra alguns snapshots da simulação do diálogo. O segundo diálogo representado foi retirado do filme *Ice Age 2*<sup>4</sup> e o personagem desempenhou o papel da mamute fêmea Ellie.

Com o objetivo de avaliar as emoções representadas pelos olhos dos personagens virtuais, foi feita uma avaliação subjetiva com 11 voluntários. Neste experimento, foi mostrado aos participantes:

- Os trechos dos filmes de CG com o diálogo desejado
- A reprodução dos diálogos no ResponsiveFace sem movimentação do globo ocular
- A reprodução dos diálogos no ResponsiveFace com movimentação gerada apenas pelo ruído de Perlin

---

<sup>3</sup>Dreamworks 2005

<sup>4</sup>Blue Sky 2006



Figura 3: *Snapshots* dos possíveis estados emocionais definidos no sistema ResponsiveFace.

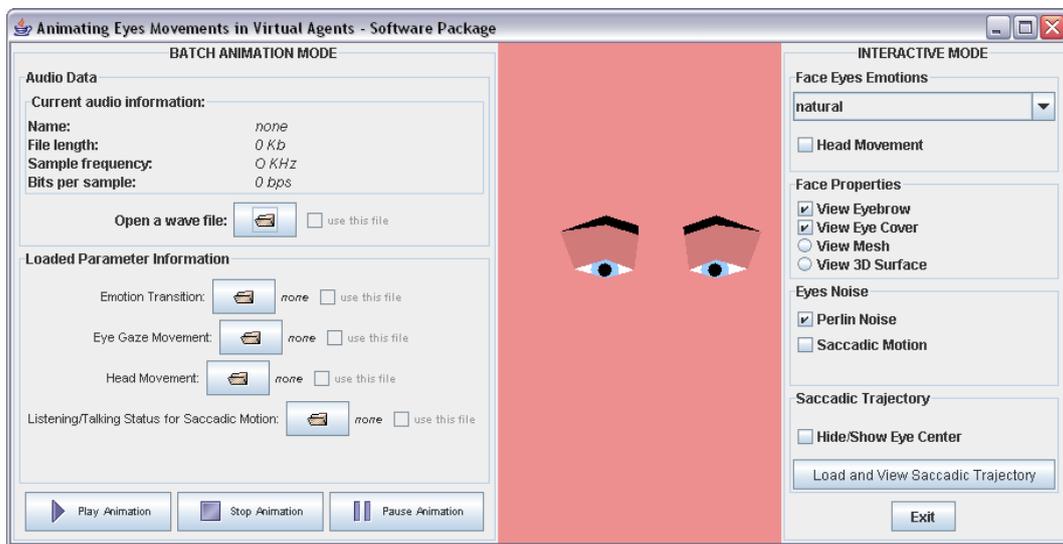


Figura 4: Ambiente experimental montado para os testes.

- A reprodução dos diálogos no Responsive-Face com movimentação gerada pelo modelo estatístico de Lee e Perlin Noise.

Durante a exibição dos vídeos, os participantes preencheram o seguinte questionário, baseado no trabalho de Lee et al [LEE 02b]:

- Q1: O personagem na tela pareceu interessado (5) ou indiferente (1) para você?
- Q2: O personagem pareceu engajado na conversa (5) ou distraído (1)?
- Q3: A personalidade do personagem pareceu amigável (5) ou não (1)?

Q4: O rosto do personagem pareceu ter um olhar "vivo" (5) ou estático, sem vida (1)?

Q5: O olhar do personagem pareceu emotivo (5) ou sem emoção (1)?

Q6: No geral, que nota você daria ao desempenho dos personagens frente aos diálogos? (5) Bom (1) Ruim

A Figura 6 mostra o resultado da avaliação pelos 11 participantes do experimento:

Analisando os gráficos, observou-se que para todas as questões, em ambos os filmes, a média da pontuação para o movimento sacádico nunca foi pior do que a dos outros casos.

Tabela 1: Diálogo simulado: informação anotada no arquivo de configuração

Diálogo Simulado			
Turno	Fala do Personagem	Papel da Fiona	Emoção da Fiona
Fiona	Very nice, Shrek	Speaker	Angry
Shrek	What? I told you coming here was a bad idea.	Listener	Natural
Fiona	You could've at least tried to get along with my father.	Speaker	Angry
Shrek	I don't think I was going to get Daddy's blessing, even if I did want it.	Listener	Natural
Fiona	Do you think it might be nice if somebody asked me what I wanted?	Speaker	Half Angry
Shrek	Sure. Do you want me to pack for you?	Listener	Natural
Fiona	You're unbelievable!	Speaker	Surprised
Fiona	You're behaving like a...	Speaker	Half angry
Fiona	(Silence)	Silence	Disappointed (2 seconds)
Shrek	Go on! Say it!	Listener	Natural
Fiona	Like an ogre!	Speaker	Angry
Shrek	Here's a news flash for you! Whether your parents like it or not... I am an ogre!	Listener	Natural
Shrek	ARGHHHHHHHHHHHHHHHHHHHHHH!	Listener	Frightened
Shrek	And guess what, Princess? That's not about to change.	Listener	Half Angry
Fiona	(Silence)	Silence	Natural (11 seconds)
Fiona	I've made changes for you, Shrek. Think about that.	Speaker	Disappointed

Percebe-se, também, que a ausência de movimentos oculares obteve menor pontuação na avaliação da performance do personagem, como se esperava.

Para as questões 2, 4 e 6, identificou-se que o movimento sacádico teve impacto positivo na performance do personagem, apresentando sempre resultados melhores que os olhos estáticos e que os olhos movimentados apenas com o ruído de Perlin. Isso não ocorre sempre nas questões 1, 3 e 5, onde a pontuação média do modelo estatístico foi muito semelhante à da animação com ruído de Perlin. Supõe-se que, uma vez que as questões 3 e 5 são mais relacionadas ao estado emocional dos personagens, o movimento do globo ocular é menos percebido do que expressão facial como um todo. Quanto ao parecer “interessado na conversa”

(questão 1), o modelo estatístico pode ter tido o desempenho um pouco comprometido pelo fato que, às vezes, o personagem lança olhares para cima, para baixo ou para os lados, pois, uma vez que não possui nenhuma associação com a semântica do diálogo, pode dar uma impressão de “distração” ou incoerência com o engajamento da conversa.

Os resultados da pesquisa foram satisfatórios. Entretanto, a plataforma de animação do ResponsiveFace é um tanto limitada para nossos estudos de movimentação ocular, pois o modelo do agente é bastante simplificado. Dado que o globo ocular é um elemento bidimensional, foi preciso adaptar as rotações a simples deslocamentos nos eixos x e y. Isso, na opinião dos autores, compromete bastante a representação que pretende-se ava-

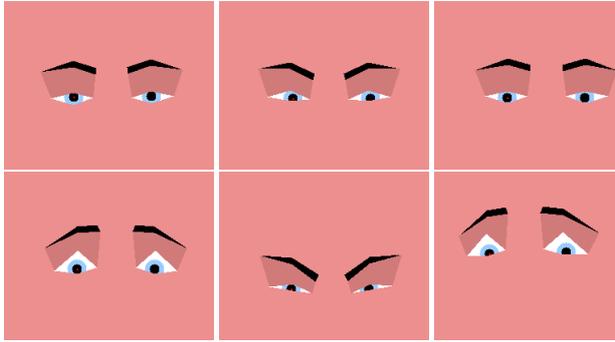


Figura 5: *Snapshots* da simulação. Os *snapshots* se referem, respectivamente, à primeira e segunda fala da Fiona, segunda fala do Shrek, quarta e quinta fala da Fiona e sexta fala do Shrek, como detalhado na Tabela 1.

liar nos resultados do modelo que está sendo desenvolvido.

Por este motivo, optou-se por outra plataforma de animação facial para o suporte de visualização dos resultados deste trabalho. A ferramenta escolhida para este fim foi o Xface [BAL 04], que é um *toolkit* de código aberto para a criação de *talking heads* 3D, usando o padrão MPEG-4 de animação facial. Essa ferramenta possui um núcleo de bibliotecas de animação facial aberto e extensível, apropriado para o desenvolvimento de pesquisas como a deste trabalho. Apesar da visualização não constituir o cerne do trabalho, a escolha e testes da nova plataforma não foi uma tarefa trivial. Atualmente, está sendo executada, em paralelo à pesquisa, a preparação do novo ambiente de visualização dos resultados do modelo final.

## 6 Considerações Finais

Este trabalho apresentou o modelo preliminar desenvolvido com base no estudo do estado-da-arte da animação comportamental de olhos e nos experimentos realizados. Este modelo será

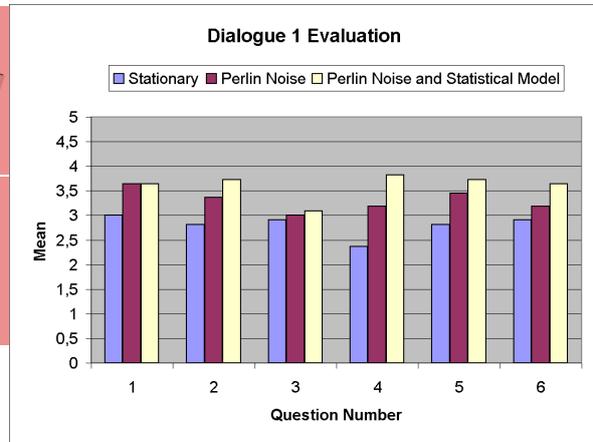


Figura 6: Resultados da avaliação subjetiva para o Diálogo 1 (*Shrek 2*). O gráfico mostra a pontuação média para cada questão.

utilizado como base para o desenvolvimento do restante do trabalho.

Foram apresentados também diversos conceitos e fatos a respeito do comportamento biológico e social dos olhos. Notou-se a presença de um significativo número de pesquisas a respeito do assunto, na sua maioria, estudos voltados à construção de modelos comportamentais. Os estudos normalmente se dão em conjunto com outros elementos faciais, e em sua maioria exploram as características sociais da comunicação (verbal e não-verbal) para a geração dos parâmetros de animação. Entretanto, em vista dos resultados obtidos até o momento, pode-se concluir que ainda existem lacunas a serem preenchidas com estudos a respeito, como, por exemplo, um estudo comportamental mais acurado sobre os saccades visuais e emoções.

Dado que o comportamento dos olhos humanos é bastante complexo e variado de acordo com a infinidade de estímulos internos e do ambiente que pode receber, ainda está em aberto “o quanto a base de dados comportamentais” vai abranger. Espera-se que, ao término do

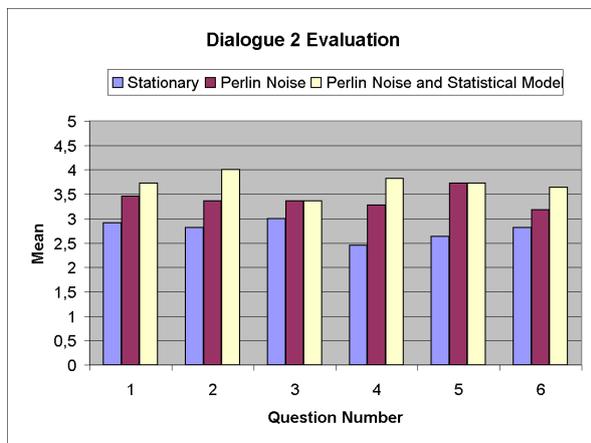


Figura 7: Resultados da avaliação subjetiva para o Diálogo 2 (*Ice Age 2*). O gráfico mostra a pontuação média para cada questão.

trabalho, tenha-se em mãos uma base de dados bastante robusta e facilmente extensível.

A definição dos parâmetros de animação para cada comportamento será feita empiricamente ou através de dados reais coletados na literatura, como de rastreadores de olhos. Pensa-se, ainda, na possibilidade de extração de dados comportamentais através de observações de trechos de vídeos de computação gráfica (o que forneceria dados um pouco extrapolados nos padrões comportamentais reais, mas que no entanto poderiam atender melhor à linguagem proposta em um trabalho de CG). O trabalho de definição dos comportamentos que serão contemplados no modelo e sua forma de mapeamento é a etapa que deve começar imediatamente. Esta é uma etapa que tinha sido colocada na proposta logo no início do cronograma. Entretanto, devido a importância e extensão dessa tarefa (que é o núcleo do trabalho), ela acabou sendo deslocada para depois da formalização do modelo, e deverá ser executada nos próximos meses, em paralelo com a implementação do protótipo. Seguindo o cronograma, o modelo deverá ser

aperfeiçoado até o final do próximo mês e sua implementação deverá começar o mais breve possível.

## Referências

- [ARG 76] ARGYLE, M.; COOK, M. **Gaze and Mutual Gaze**. London: Cambridge University Press, 1976.
- [BAD 99] BADLER, N.; PHILLIPS, C.; WEBBER, B. **Simulating Humans: Computer Graphics, Animation, and Control**. Oxford University Press, 1999. Available in [www.cis.upenn.edu/~badler/book/book.html](http://www.cis.upenn.edu/~badler/book/book.html).
- [BAL 04] BALCI, K. Xface: Mpeg-4 based open source toolkit for 3d facial animation. In: AVI '04: PROCEEDINGS OF THE WORKING CONFERENCE ON ADVANCED VISUAL INTERFACES, 2004. **Proceedings...** New York, NY, USA: ACM Press, 2004. p.399–402.
- [BYU 02] BYUN, M.; BADLER, N. I. Facemote: qualitative parametric modifiers for facial animations. In: PROCEEDINGS OF THE 2002 ACM SIGGRAPH/EUROGRAPHICS SYMPOSIUM ON COMPUTER ANIMATION, 2002. [s.n.], 2002. p.65 – 71.
- [CAR 88] CARPENTER, R. **Movements of the Eyes**. 2. ed. London: Pion, 1988.
- [CAS 97] CASSELL, J.; TORRES, O.; PREVOST, S. Modeling Gaze Behavior as a Function of Discourse Structure. In: FIRST INTERNATIONAL WORKSHOP ON HUMAN-COMPUTER CONVERSATIONS, 1997. **Proceedings...** Bellagio, Italy: [s.n.], 1997.
- [CHI 00] CHI, D. et al. The emote model for effort and shape. In: SIGGRAPH '00: PROCEEDINGS OF THE 27TH ANNUAL CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS AND INTERACTIVE TECHNIQUES, 2000. **Proceedings...** New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 2000. p.173–182.
- [COH 00] COHEN, M. F.; COLBURN, R. A.; DRUCKER, S. M. The role of eye gaze in

- avatar mediated conversational interfaces.  
In: TECHNICAL REPORT  
MSR-TR-2000-81, 2000. Microsoft  
Corporation, 2000.
- [EKM 78] EKMAN, P.; FRIESEN, W. **Facial Action Code System**. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press, Inc., 1978.
- [FRE 00] FREEDMAN, E. G.; SPARKS, D. L. Coordination of the eyes and head: Movement kinematics. **Experimental Brain Research** **131**, [S.l.], p.227-32, 2000.
- [FUK 02] FUKAYAMA, A. et al. Messages embedded in gaze of interface agents — impression management with agent's gaze. In: CHI '02: PROCEEDINGS OF THE SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2002. **Proceedings...** New York, NY, USA: ACM Press, 2002. p.41-48.
- [GAR 01] GARAU, M. et al. The impact of eye gaze on communication using humanoid avatars. In: CHI '01: PROCEEDINGS OF THE SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2001. **Proceedings...** New York, NY, USA: ACM Press, 2001. p.309-316.
- [GU 06] GU, E.; BADLER, N. I. Visual attention and eye gaze during multiparty conversations with distractions. In: IVA, 2006. [s.n.], 2006. p.193-204.
- [ITT 04] ITTI, L.; DHAVALA, N.; PIGHIN, F. Realistic avatar eye and head animation using a neurobiological model of visual attention. **SPIE Applications and Science of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Evolutionary Computation VI**, [S.l.], v.5200, p.64-78, 2004.
- [KEN 67] KENDON, A. Some functions of gaze-direction in social interaction. **Acta Psychologica**, [S.l.], v.26, p.22-63, 1967.
- [LAN 04] LANCE, B.; STACY, M.; KOIZUMI, D. Towards expressive gaze manner in embodied virtual agents. In: AUTONOMOUS AGENTS AND MULTI-AGENT SYSTEMS WORKSHOP ON EMPATHIC AGENTS, 2004. [s.n.], 2004.
- [LEE 02a] LEE, S. P. **Facial Animation System with Realistic Eye Movement Based on a Cognitive Model for Virtual Agents**. University of Pennsylvania, 2002. Tese de Doutorado.
- [LEE 02b] LEE, S. P.; BADLER, J. B.; BADLER, N. I. Eyes alive. In: SIGGRAPH '02: PROCEEDINGS OF THE 29TH ANNUAL CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS AND INTERACTIVE TECHNIQUES, 2002. **Proceedings...** New York, NY, USA: ACM Press, 2002. p.637-644.
- [LEI 91] LEIGH, R.; ZEE, D. **The Neurology of Eye Movements**. 2. ed. FA Davis, 1991.
- [MAE 95] MAES, P. Artificial life meets entertainment: lifelike autonomous agents. **Communications of the ACM**, [S.l.], v.38, p.108 - 114, 1995.
- [MUS 01] MUSSE, S. R. Behavioral modeling of virtual human actors. **Revista de Informática Teórica e Aplicada - RITA**, [S.l.], v.8, n.2, p.125-141, 2001.
- [OST 98] OSTERMANN, J. Animation of synthetic faces in mpeg-4. In: CA '98: PROCEEDINGS OF THE COMPUTER ANIMATION, 1998. **Proceedings...** Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1998. p.49.
- [PAR 02] PARADISO, A. An algebra for combining mpeg-4 compliant facial animations. In: PROC. INT. WORKSHOP LIFELIKE ANIMATED AGENTS: TOOLS, AFFECTIVE FUNCTIONS, AND APPLICATIONS, 2002. H. Prendinger [Online], 2002.
- [PEL 03] PELACHAUD, C.; BILVI, M. Modelling gaze behaviour for conversational agents. In: PROCEEDINGS OF THE IVA 2003, 2003. Springer LINA Series, 2003. p.93-100.
- [PER 97] PERLIN, K. Layered compositing of facial expression. In: ACM SIGGRAPH - TECHNICAL SKETCH, 1997. [s.n.], 1997.
- [PET 05] PETERS, C. et al. A model of attention and interest using gaze behavior. London, UK, p.229-240, 2005.
- [POG 00] POGGI, I.; PELACHAUD, C. Emotional meaning and expression in animated faces. New York, NY, USA, p.182-195, 2000.
- [POG 02] POGGI, I.; PELACHAUD, C. Signals and meanings of gaze in animated faces. In:

- LANGUAGE, VISION AND MUSIC, 2002. Mc Kevitt, Paul, Seán Ó Nualláin and Conn Mulvihill, 2002. p.133–144.
- [REN 90] RENAULT, O.; MAGNENAT-THALMANN, N.; THALMANN, D. A vision-based approach to behavioural animation. **Journal of Visualization and Computer Animation**, [S.l.], v.1, p.18–21, 1990.
- [REY 87] REYNOLDS, C. W. Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. In: SIGGRAPH '87: PROCEEDINGS OF THE 14TH ANNUAL CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS AND INTERACTIVE TECHNIQUES, 1987. **Proceedings...** New York, NY, USA: ACM Press, 1987. p.25–34.
- [ROD 03] RODRIGUES, P. S. L.; FEIJÓ, B.; VELHO, L. Expressive Talking Heads: uma Ferramenta com Fala e Expressão Facial Sincronizadas para o Desenvolvimento de Aplicações Interativas. In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS MULTIMÍDIA E WEB - WEBMÍDIA 2003, 2003. [s.n.], 2003.
- [SU 05] SU, W.-P.; PHAM, B.; WARDHANI, A. High-level control posture of story characters based on personality and emotion. **Second Australasian conference on Interactive entertainment**, [S.l.], v.23, p.179 – 186, 2005.
- [TER 99] TERZOPOULOS, D. Artificial life for computer graphics. **Commun. ACM**, New York, NY, USA, v.42, n.8, p.32–42, 1999.
- [TER 04] TERZOPOULOS, D.; LEE, Y. Behavioral animation of faces: Parallel, distributed, and real time. In: FACIAL MODELING AND ANIMATION, ACM SIGGRAPH 2004 COURSE NOTES, 2004. [s.n.], 2004. p.119 – 128.
- [THó 97] THóRISSON, K. R. Gandalf: An embodied humanoid capable of real-time multimodal dialogue with people. In: FIRST ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS, 1997. **Proceedings...** California: [s.n.], 1997.
- [THó 04] THóRISSON, K. R. et al. Artificial intelligence in computer graphics: a constructionist approach. **SIGGRAPH Comput. Graph.**, New York, NY, USA, v.38, n.1, p.26–30, 2004.
- [VER 01] VERTEGAAL, R. et al. Eye gaze patterns in conversations: there is more to conversational agents than meets the eyes. In: CHI '01: PROCEEDINGS OF THE SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2001. **Proceedings...** New York, NY, USA: ACM Press, 2001. p.301–308.
- [VIN 02] VINAYAGAMOORTHY, V.; SLATER, M.; STEED, A. Emotional personification of humanoids in immersive virtual environments. In: PROCEEDINGS OF THE EQUATOR DOCTORAL COLLUQUIM, 2002. [s.n.], 2002.
- [VIN 04] VINAYAGAMOORTHY, V. et al. An Eye Gaze Model for Dyadic Interaction in an Immersive Virtual Environment: Practice and Experience. In: COMPUTER GRAPHICS FORUM, 2004. [s.n.], 2004. v.23.