

Os modelos humanos digitais, ou *Digital Human Models* - DHM, referem-se a modelos de representação da forma humana em meio digital utilizada para fins de projeto em diversas áreas, como arte, design, arquitetura ou engenharia. Tais modelos se apresentam sob diversas formas, desde ilustrações digitais até os mais avançados e recentes modelos tridimensionais de alta densidade poligonal, podendo ser encontradas referências a esses como DHM, em abreviação ao termo completo em inglês. É importante que nesta dissertação se delimite a separação dos DHM como sendo uma terminologia que se refere a toda a representação da forma humana em meio digital que se aplique a projetos. Essa delimitação tem como objetivo restringir o foco, visto que se tratássemos de representação da forma humana de maneira genérica e mais abrangente, iríamos prosseguir por discussões como símbolos antigos, imagens, fotografia, danças, canções e outros meios de expressão que objetivam identificação da forma humana de alguma forma, porém não necessariamente utilizada em projetos.

A origem dos modelos humanos digitais torna-se difícil de precisar, bem como datas a respeito desta, visto que desde o início da computação se procura representar formas humanas em meio digital, mas não necessariamente com fins de projeto como citado no parágrafo anterior. Porém, de acordo com Duffy, os primeiros registros que são considerados como esforços para construção de DHM ultrapassam 50 anos. Além disso, acrescenta-se o fato de por muito tempo terem sido usadas várias definições e nomenclaturas diferentes, as quais ainda podem ser encontradas em textos e documentos. Entretanto, com a adoção do termo *Digital Human Model*, que possui maior abrangência se comparado aos anteriormente adotados, vem notando-se uma maior unificação das referências e, conseqüentemente, das citações e debates relativos ao mesmo tema.

A partir dos esforços para construção de melhores modelos, bem como a evolução do estado da arte em modelagem geométrica virtual e dos DHM, passou a ser encontrado um volume maior de referências, uma profusão de

experimentos se tornou possível, um crescimento apoiado na tradição da ergonomia e da segurança dos anos 1980.

Conferências, simpósios e comitês técnicos também passaram a ser organizados desde então, na tentativa de criar padrões e metas que fossem relevantes para as diferentes demandas, bem como para diferentes clientes, como países e continentes diversos, além de suas populações diferenciadas – uma convergência de esforços. Essa tentativa de unir pesquisadores em torno do assunto e da troca de conhecimentos produziu diversos encontros. Porém, a primeira conferência única e exclusivamente voltada para *Digital Human Models* ocorreu em Beijing, na China, no ano de 2007, e chamou-se *International Conference on Digital Human Modeling*, com comitê técnico voltado especificamente para DHM, diferente de diversos eventos anteriores voltados para outros temas, que discutiam em algum momento os modelos, mas que abordavam a discussão de uma forma mais generalista e voltada para as necessidades específicas daqueles que participavam e não para o desenvolvimento do estado da arte.

Os primeiros DHM que se tem registro, ao menos de acordo com a definição do conceito utilizada, foram modelos 2D, prioritariamente usados para ilustrar situações de interação do projeto com o homem e o ambiente. Boa parte dessas aplicações se dava de uma forma muito restrita, com pouca interação com o projeto, de forma simplesmente ilustrativa e não apresentando real interferência no decorrer desse. Porém, algumas aplicações voltadas para a área de ergonomia e validação e avaliação de projetos passou a utilizar os DHM, ainda em sua forma 2D, de uma forma mais prática, com a aplicação destes interferindo nitidamente no decorrer dos projetos.

A primeira referência relevante quanto ao conceito de DHM encontrada data do final dos anos 1960, chamada BOEMAN, e trata-se do primeiro programa de modelagem humana para fins de projeto. Desenvolvido pela *Boeing Corporation* para avaliar a adequação do layout de suas cabines de aeronaves, segundo Santos et al.⁴⁶, porém sua interface baseada na tecnologia disponível naquele tempo não apresentava entrada de dados por meio de um teclado e sim

⁴⁶ SANTOS, V.; ZAMBERLAN, M.C.; PAVARD, B., *Confiabilidade Humana e Projeto Ergonômico de Centros de Controle de Processos de Alto Risco*, Capítulo 9, p.241. 2009

através de cartões perfurados, o que dificultou bastante a utilização do Boeman de forma mais eficaz.

“Modelos humanos virtuais ou digitais são hoje parte essencial do processo de desenvolvimento de projetos para o setor produtivo em todo mundo. A cooperação entre instituições tecnológicas e o setor produtivo tem possibilitado o avanço da tecnologia de modelagem humana 3D de modo a atender a demanda por projetos que levem em consideração os fatores humanos na sua elaboração”⁴⁷ (Santos et al., 2009). O fato de possuírem potencial para se tornarem essenciais, como afirma a autora, se baseia em grande parte na capacidade apresentada de reduzir custos e tempo em projeto, visto que reduz a necessidade, quando não torna desnecessária, a construção de *mock-ups* nas fases iniciais do projeto.

Apesar de serem considerados essenciais por Zamberlan, ainda é pequena a participação percebida dos modelos, ao menos em projetos comerciais, se comparadas às vantagens oferecidas, essas ressaltadas por diversos autores. Se compararmos os custos de um processo de projeto realizado nos moldes tradicionais, no qual se constroem diversos protótipos físicos para testes com pessoas, aos custos de um processo de projeto no qual se utilizam *mock-ups* virtuais e modelos humanos virtuais 3D, observa-se que no segundo processo se verifica um aumento no custo das primeiras fases do projeto (projeto conceitual, projeto detalhado e projeto de engenharia). No entanto nas etapas que envolvem o uso de protótipos, realização de testes, realização de ajustes no projeto e fabricação do produto, ocorre uma redução significativa do custo e do tempo em função da inserção antecipada de dados ergonômicos nas etapas iniciais do projeto (Chaffin, 2004 apud Santos, V. et al. 2009, p. 237).

Diante da afirmação de Chaffin, e apoiado também sobre o discurso do grupo de estudos coordenado por Zamberlan, torna-se difícil compreender as razões do número ainda reduzido de cases nos quais se identifique a utilização dos DHM. Modelos utilizados por grupos de pesquisa acabam por ser desenvolvidos baseando-se nas suas próprias necessidades específicas, e, portanto, sendo utilizados de forma satisfatória. Uma dessas razões que se pode compreender é que os custos envolvidos e a necessidade de estudos mais aprofundados tornam-se pontos que afastam a abordagem mais centrada no uso

⁴⁷ SANTOS, V.; ZAMBERLAN, M.C.; PAVARD, B., Confiabilidade Humana e Projeto Ergonômico de Centros de Controle de Processos de Alto Risco, Capítulo 9, p.235. 2009

dos DHM. Porém, ao se buscar utilizar modelos humanos para utilização para fins comerciais ou de estudos que sejam independentes de grupos de pesquisa ou universidades, nos deparamos com o fato de possuímos um leque ainda limitado de soluções encontradas no mercado. Há uma diversidade de modelos comerciais, mas limitados no momento em que boa parte deles apresenta problemas semelhantes, de forma a tornar mais difícil sua utilização.

5.1

Modelos Comerciais

Em termos de comercialização de bibliotecas de DHM, contendo vasto número de modelos para diferentes aplicações, há diversas soluções disponíveis no mercado, em diversos níveis de complexidade de modelos. A aquisição de pacotes de maior ou menor complexidade é decidida prioritariamente a partir das demandas de projeto, bem como do investimento que se pretende fazer.

“Os modelos humanos virtuais têm sido desenvolvidos para tornar o projeto de ambientes de trabalho mais eficientes, mas deveriam estar disponíveis para a maioria dos projetistas de uma forma menos dispendiosa, deveriam ser mais fáceis de serem utilizados e deveriam dispor, por exemplo, de bibliotecas de dados antropométricos atualizadas”⁴⁸ (tradução do autor).

Essa crítica feita pelos autores é constantemente apresentada em relação às bibliotecas de modelos digitais que são comercializadas, uma vez que se os modelos foram desenvolvidos para tornar o projeto mais eficiente, esperava-se que estivessem disponíveis para um número maior de projetistas, de forma menos dispendiosa, da mesma forma como que fossem mais fáceis de ser utilizados, para que pudessem alcançar uma gama maior de usuários, possibilitando reduzir os prazos em seus respectivos projetos. O desenvolvimento de DHM tornou-se uma ferramenta comercialmente interessante e seu desenvolvimento tem se dado na forma de softwares a serem vendidos. Porém, uma questão regularmente levantada por quem trabalha com DHM, na discussão a respeito dos modelos comerciais, é a aplicabilidade desses em empresas que não possuem necessariamente pessoal capacitado ou familiarizado com diferentes interfaces para cada modelo. Devido aos investimentos financeiros necessários e de boa parte dos desenvolvedores já

⁴⁸ HELIN, K.; VIITANIEMI, J.; AROMAA, S.; MONTONEM, J.; EVILÄ, T.; LEINO, S. & MÄÄTÄ, T., *Digital Human Model in the Participatory Design Approach: a New Tool to Improve Work Tasks and Workplaces*

possuir modelos comerciais difundidos no mercado, a inserção de dados antropométricos não é vista como primordial por estes mesmos desenvolvedores, visto que acarretariam em mudanças em seus produtos que já permeiam o mercado.

Seguindo a lógica do desenvolvimento dos modelos em laboratórios e instituições de pesquisa, que mantém suas portas fechadas na tentativa de proteção da propriedade intelectual, e também pelo fator inovação e pelos resultados alcançados, entre outros, o fato do acesso vindo do mundo acadêmico, como alunos e estudantes, nem sempre é levado em consideração neste contexto de proteção de informação sigilosa. Sendo assim, as disciplinas voltadas para projeto e desenvolvimento nem sempre abordam o tema, tornando assim a missão daqueles que se deparam com os *Digital Human Models* no mercado de trabalho mais árdua à medida que estes usuários precisam se adequar à lógica de trabalho inerente ao modelo específico de cada projeto. A afirmação de Duffy abaixo reafirma o afastamento:

“Esse campo, e o interesse neste, está em crescimento. Será importante determinar qual a melhor forma de incorporar esse tema aos currículos universitários tanto na graduação como pós graduação, de forma que as necessidades da indústria possam ser melhor atendidas agora e no futuro.” (tradução do autor).

Outra crítica recorrente aos modelos comerciais disponíveis refere-se à necessidade de integração de modelos biomecânicos e dados antropométricos a estes, customização dos modelos oferecidos, necessidade essa que nem sempre é atendida pelos modelos encontrados no mercado (vide figura 34), que são considerados “caixa pretas”, por não possuírem opções como inserção de dados, alterações dos dados contidos e por, de uma forma geral, apresentarem uma estrutura que não pode ser alterada. Segundo Zamberlan, “a integração dos sistemas CAD com dados antropométricos e biomecânicos permite que modelos humanos virtuais possam ser incorporados mais cedo às etapas de projeto (...)”.



Figura 34 - Exemplo das poucas opções de customização de medidas antropométricas disponíveis no sistema RAMSIS

Fonte: <http://www.lfe.mw.tum.de/en/research/labs/ramsis> (18/02/2012)

O desenvolvimento de estudos e de modelos baseados nas diferentes necessidades acabou consolidando duas grandes áreas de concentração dos modelos estudados e desenvolvidos, sendo eles os que desenvolvem pesquisa com DHM estáticos e com DHM animados. Apesar de não haver uma unanimidade quanto a essa maneira de lidar com tais estudos, é dessa forma que os estudos vêm se desenvolvendo, para o descontentamento de alguns pesquisadores de grande relevância na área.

O primeiro grupo aborda o trabalho com os modelos digitais através da adoção da modelagem humana em posturas funcionais, escolhidas mediante demanda específica de projeto. Esse grupo se baseia em relações matemáticas, bem como de conhecimentos relativos à biomecânica, para avaliar e buscar entender a melhor forma de representar determinadas posturas respeitando e sendo o mais próximo possível da deformação que o corpo humano iria apresentar. Sendo assim, se utilizam de cálculos matemáticos complexos e tem um tempo de aplicação em cada projeto mais extenso, vista a necessidade de se avaliar cada postura e cada situação específica.

Em paralelo, há o grupo que trabalha com modelos humanos digitais de forma animada e que, de forma cooperativa, e não concorrente. Se utiliza de alguns resultados apresentados pelos pesquisadores dos modelos estáticos para desenvolver modelos em movimento com representações que se aproximem da forma humana. Tomam como base para comparações os resultados obtidos

através dos cálculos matemáticos e da biomecânica, para traçar um comparativo entre os resultados de se trabalhar com um modelo base em postura neutra que se movimenta até determinada postura ou com o modelo construído especificamente naquela postura.

A seguir na figura 35 temos um exemplo de um comparativo entre um DHM em postura funcional adquirida de forma estática (cinza) e outro que partiu de uma postura neutra movimentada até a posição desejada (verde). O desenvolvimento deste trabalho, do qual fiz parte da equipe de pesquisa, se deu através da utilização de captura de movimentos para que os dois modelos estivessem exatamente com a mesma angulação entre seus segmentos. Apesar do cuidado em manter as angulações, pudemos notar que ainda havia diferenças inaceitáveis nas articulações do joelho e no quadril, devido a um comportamento de deformação ao qual não havíamos atentado, e pudemos assim, corrigi-lo.

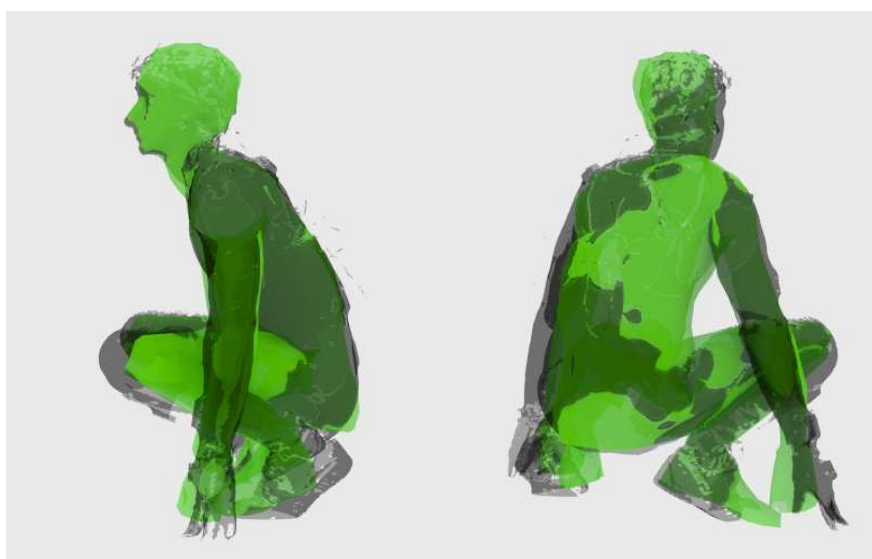


Figura 35 - Comparativo entre DHM estático e animado quanto à forma quando em uma postura adotada por um modelo animado (verde) e um modelo estático na mesma postura
Fonte: Acervo próprio, pesquisa em desenvolvimento INT (18/02/2012)

A utilização de DHM animados precisa se valer de conhecimentos gerados a partir de estudos de alteração da forma do corpo humano e de modelos biomecânicos alcançados com base nos cálculos utilizados nos modelos estáticos para representar de forma significativa a movimentação humana, evitando assim movimentos irrealistas ou impossíveis ao corpo humano. Aliado a isso estão movimentos criados em computador por meio de programação ou capturados através da movimentação humana, MOCAP. A captura de

movimentos é um tema que por si só pode levantar discussões extensas, pois apesar de apresentar resultados mais fiéis à movimentação humana do que movimentos feitos a partir de programação, essa é originada de um nicho de tecnologias de um custo significativo, o que, portanto, agrega maior custo à construção de modelos, por vezes inviabilizando sua adoção.

A concepção de modelos que possam representar a forma humana e cobrir os principais aspectos físicos e fisiológicos do corpo humano é ainda um objetivo distante, vistas todas as propriedades e relações inerentes ao corpo humano. A construção de tal modelo demandaria conhecimentos quantitativos das funções vitais, ferramentas computacionais compatíveis com tal detalhamento na modelagem, conhecimento avançado da fisiologia humana, entre tantas outras demandas específicas, o que iria esbarrar na complexidade do modelo construído e na capacidade computacional exigida para utilização de tal. De acordo com Moes “os principais problemas na construção de um modelo com características holísticas são: complexidade, fidelidade, robustez e validação”⁴⁹ (tradução do autor)

O exagero de detalhes na constituição dos modelos acarreta os problemas citados acima, porém, da mesma forma, a negligência no detalhamento dos modelos pode torná-lo inútil ou obsoleto, uma vez que não irá ser reconhecido como representação humana. Portanto, é necessário que se avaliem quais são os pontos mais relevantes a serem trabalhados, a fim de construir um modelo que se adeque tanto à capacidade quanto às necessidades específicas de cada projeto.

5.2

Necessidades construtivas dos DHM

Acompanhado de alguns requisitos básicos que definem um Digital Human Model, a construção de um modelo que pretenda refletir o estado da arte deve apresentar alguns itens que serão agora listados e posteriormente discutidos. Não necessariamente todos os pontos precisam ser levados ao seu limite

⁴⁹ MOES, C.C.M., *Advanced human body modelling to support designing products for physical interaction*, p.31.

imposto pela tecnologia, mas são fatores considerados imprescindíveis para a construção de modelos de qualidade, sendo eles:

- Reconhecimento facial;
- Base antropométrica;
- *High Poly x Low Poly*;
- Movimentação humanizada;
- Adaptação de movimentos.

5.2.1

Reconhecimento Facial

Reconhecimento facial em *Digital Human Models*, como primeiro tópico relacionado, é um dos fatores com maior potencial de transmitir credibilidade aos modelos. Por se tratar de uma parte do corpo humano que não se costuma cobrir, e por também ser um ponto de contato visual, portanto, referência quando se mira o olhar em alguma outra pessoa, essa característica é uma das que se pretende reproduzir nos modelos com maior cuidado.

Em um estudo recente do *Virtual Human Interaction Lab* da Universidade de Stanford, os pesquisadores descreveram através de experimentos de interação social através de plataformas virtuais as reações dos usuários a impostores virtuais, denotando a maior agressividade e até maior incidência de reações hostis para com os impostores, o que por sua vez reitera a importância do reconhecimento facial.⁵⁰

Como citado anteriormente nessa dissertação, a evolução da computação de alto desempenho colaborou muito para a evolução dos modelos. Porém, quando se trata de reconhecimento facial, outro fator na evolução tecnológica tem papel importante. A escalada na qualidade das câmeras fotográficas digitais, aliada ao acesso mais facilitado a essas permitiram adquirir fotos e referências do rosto de pessoas que irão ser representadas pelos modelos, tornando assim o trabalho de modelagem e texturização mais rápido e preciso, além de uma

⁵⁰ SEGOVIA, K.Y.;BAILENSEN, J.N., *Virtual imposters: Responses to avatars that do not look like their controllers*

melhora significativa na qualidade do resultado visual, como exposto no comparativo das figuras 36 e 37.

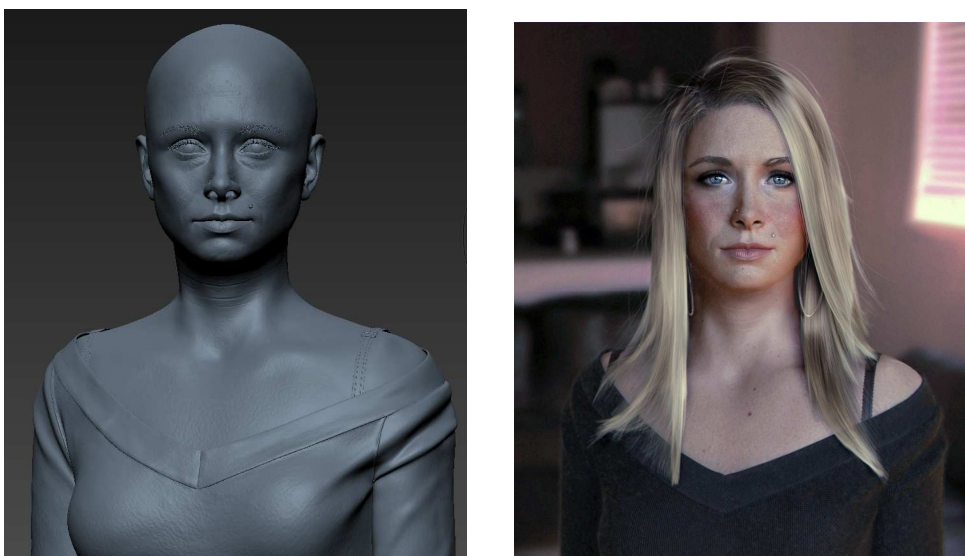


Figura 36 e Figura 37 - DHM desenvolvido pelo artista Dan Roarty, à esquerda sem aplicação textura, já à direita com aplicação de texturas obtidas através de fotografia
Fonte: <http://www.danroarty.com/>

O nítido diferencial no resultado alcançado através da introdução de fotografias digitais de alta qualidade no processo pode ser notado no resultado alcançado através da comparação das figuras. Diferencial esse que também se mostra no tempo de desenvolvimento de projeto, que sofre uma redução considerável por apresentar referências mais consistentes para servir de base para a modelagem. Modelagem essa que também se apoia em escaneamentos tridimensionais que podem capturar com precisão superfícies, inclusive formas humanas, e transformar essa massa de dados em uma nuvem de pontos no espaço, que, após processada, se transforma em uma malha poligonal, usada também de referência na modelagem final dos DHM.

Ratner⁵¹ define a constante busca por melhorias nos resultados obtidos com os DHM:

“Visto que todos nós estamos acostumados a ver outros humanos mais frequentemente do que qualquer outra coisa, torna-se um desafio criar humanos digitais realisticamente. Até o tempo desse escrito ninguém teve a capacidade de fazer humanos criados por computação gráfica que tenham sido confundidos com

⁵¹ RATNER, P., *3-D Human Modeling and Animation*

os verdadeiros em filmes ou fotos quando visto com um olhar mais próximo.” (tradução livre do autor)⁵².

É importante ressaltar que alguns outros estudos sobre formas alternativas de adquirir uma geometria através de ferramentas digitais vêm sendo desenvolvidas. Alternativas essas que não se baseiem em scanners 3D, devido aos custos elevados inerentes à aquisição desse tipo de equipamento. Um exemplo é a estereofotogrametria (técnica através da qual se faz diversas fotografias de um objeto ou ambiente com alguns pontos de referência marcados e distâncias conhecidas entre esses, de forma que o computador possa fazer triangulações de cada ponto das imagens e criar imagens tridimensionais), mas a precisão que essas técnicas apresentam ainda não é suficiente para substituir os scanners, tão pouco a intervenção humana no trabalho posterior à aquisição destas.

O uso da tecnologia de escaneamento para utilização como referência à modelagem pode oferecer uma redução significativa no tempo gasto nessa fase do desenvolvimento dos DHM. Nas figuras 38 e 39 pode-se ver um exemplo de cabeça de um DHM em desenvolvimento por duas técnicas diferentes, tendo sido utilizado escaneamento a laser e fotos em alta definição para referência no primeiro caso, tendo seu tempo de trabalho reduzido de 60 para 8 horas.

O estudo foi desenvolvido como um experimento no Laboratório de Ergonomia do INT, onde o mesmo pesquisador desenvolveu as duas cabeças buscando alcançar o máximo de precisão com base nas informações cedidas em 8 horas, ou um dia de trabalho. No caso da figura 38 o escaneamento seguido por tratamento dos dados obtidos, já na figura 39 partindo de informações visuais apresentadas em fotografias em alta resolução da pessoa representada.

Cabe ressaltar que o modelo ainda encontra-se em desenvolvimento, mas com um tempo muito reduzido, os resultados apresentados são muito superiores aos encontrados na pela utilização da segunda técnica.

⁵² *Since most of us are used to seeing other humans more often than anything else, it becomes quite a challenge to create digital ones realistically. At time of this writing no one has been able to make computer graphics human that have been mistaken for real ones in movies and photos when views at close range. (RATNER, P. 2009)*

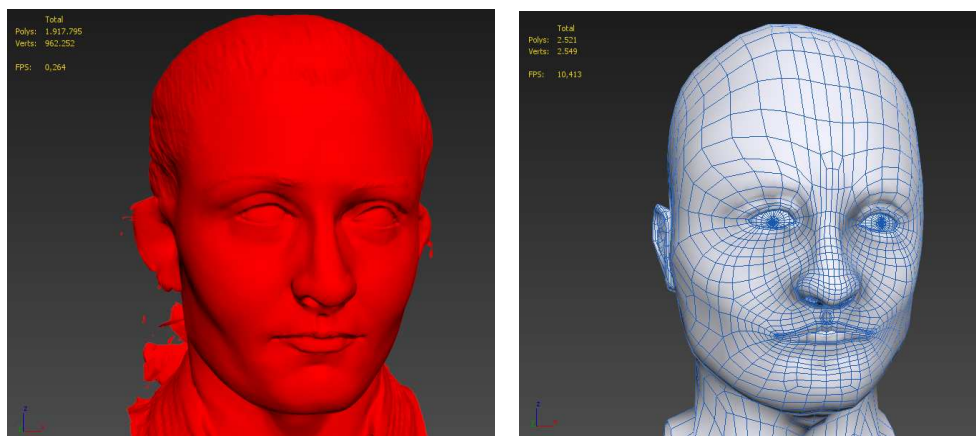


Figura 38 e Figura 39 - Comparativo de Cabeças de DHM em desenvolvimento, decorridas 8 horas de trabalho, utilizando-se como referência escaneamentos a laser e fotografias em alta definição (imagem a esquerda) e apenas fotografias (imagem a direita)
Fonte: Acervo pessoal, desenvolvimento INT

Os modelos de referência adquiridos por scanners tridimensionais, conhecidos como esculturas ou *Voxel⁵³ sculptures*, são uma nuvem de pontos no espaço que posteriormente precisa ser convertida em um modelo matemático organizado, que possa ser entendido como uma malha poligonal pelos *softwares* que trabalham dessa forma. Tais esculturas podem ser editadas ou tratadas em *softwares* específicos para *voxel sculpting*, que suportam alto nível de detalhamento por se tratar de uma nuvem de pontos e ainda não de geometria. Após serem editados e refinados, esses são processados, com a união de seus pontos formando triângulos para então se tornarem um modelo matemático.

Na figura 38, há no canto esquerdo superior a estatística do número de polígonos do modelo trabalhado, que quase atinge os dois milhões, já na figura 39, a estatística não chega a três mil. Essa discrepância se dá pelo fato de a primeira ter sido desenvolvida com *voxel sculptures* como referência.

Os modelos, a partir do momento que se encontram na forma de modelos matemáticos, as geometrias de referência, demandam uma capacidade computacional bastante elevada, portanto necessitam passar por um processo chamado retopologia⁵⁴, que tem por objetivo organizar de forma lógica e coerente os vértices, arestas e faces. Tal organização pode variar dependendo dos objetivos de utilização de cada modelo.

⁵³ O termo *Voxel* deriva de *volumetric pixel*, também conhecido como *Pixel 3D*, portanto podendo ser entendido como a representação de valores através de um *grid* tridimensionalmente representado no espaço.

⁵⁴ Retopologia no que tange modelagem tridimensional trata de uma reorganização da topologia existente, sendo essa topologia, como no sentido matemático, um estudo ou olhar sobre as propriedades de figuras geométricas, ou sólidos.

Em modelagem humana, se tratando de cabeças e de reconhecimento da face, um ponto estratégico na tomada de decisões a respeito de qual organização seguir na retopologia é a manutenção da maior definição na área chamada Zona T, que consiste de boca, nariz, olhos e supercílios, regiões essas que concentram boa parte das características relevantes à identificação facial. A Zona T também engloba algumas das principais áreas que sofrem deformações na mudança de expressões faciais, por isso a importância da organização de vértices nessa área, de maneira a poder controlar e tentar aproximar as deformações às apresentadas pelas expressões humanas.

A figura a seguir demonstra a malha poligonal de três tipos de modelos em desenvolvimento: o primeiro recém-adquirido por um *scanner* 3D (a malha é tão densa, com aproximadamente 4 milhões de polígonos, que fica impossível vê-la com clareza); o segundo com quantidade de polígonos reduzida de maneira automática, através de algoritmos, com os vértices totalmente desorganizados; e o terceiro, após retopologia do modelo número um, com baixa contagem poligonal no corpo (devido aos objetivos de utilização) e mais alta no rosto e na zona T (Fig. 40). Todos os modelos foram desenvolvidos como parte de um estudo do Laber.

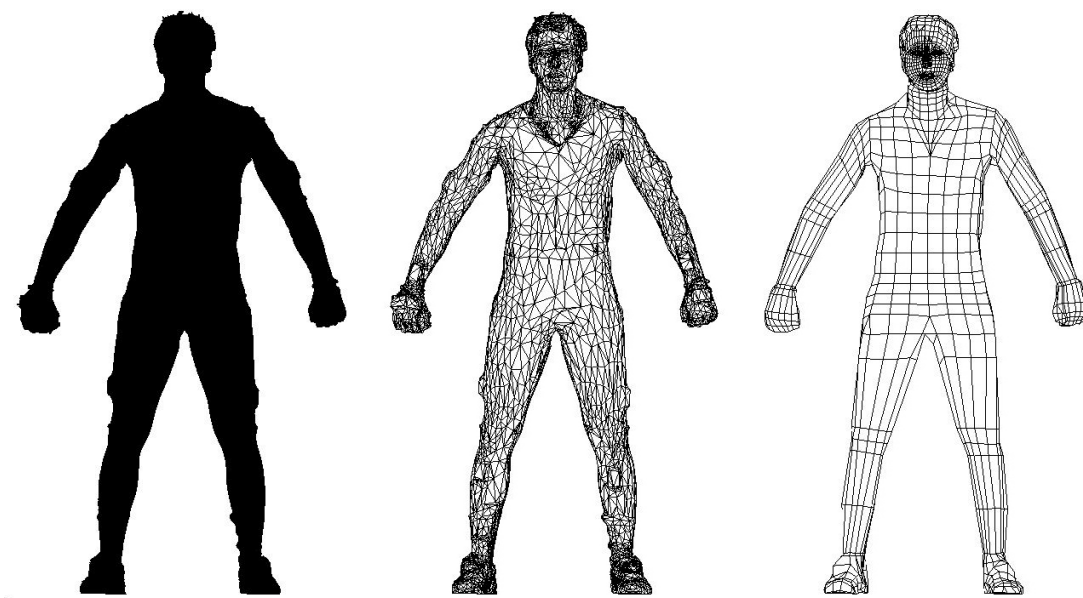


Figura 40 – Modelo sem tratamento, modelo gerado por redução de polígonos automática e modelo gerado através de retopologia manual simplificada

Fonte: Acervo pessoal, pesquisa em desenvolvimento no INT (14/11/2011)

5.2.2

Base antropométrica

A principal crítica relacionada aos modelos comerciais, sejam críticas essas de base técnica/teórica ou originadas pelos usuários, remetem à base de dados sobre as quais são construídos os pacotes comerciais de DHM. Modelos bastante difundidos no mercado, como Jack e Ramsis, possuem os campos de entrada de dados que não correspondem com os dados colhidos em pesquisas antropométricas e possuem ainda lógicas e relações hierárquicas entre os campos de dados que não são expostas tão pouco conhecidas pelos usuários, como, por exemplo, relações de porcentagem fixas entre estatura e altura dos ombros.

Sendo assim, a inserção de dados torna-se imprecisa, visto que dados relativos à população brasileira, por exemplo, não podem ser inseridos nos sistemas por esses não possuírem alguns campos de dados ou sem que esses dados sejam modificados quando inseridos por conta das lógicas e hierarquias do sistema, transformando assim esses valores. Portanto, os manequins construídos nesses sistemas partem de medidas que não correspondem com as medidas propostas, gerando assim um modelo que já parte com certa margem de erro, que durante o processo, através de inserção de movimentos, pode ser multiplicada. Cabe então uma avaliação da relevância da utilização desses modelos em projetos após essas etapas e o possível aumento da margem de erro, avaliação essa que não cabe na discussão proposta por essa pesquisa.

Porém, se pensarmos em DHM que possam partir das medidas oriundas de pesquisas antropométricas, para que esses sim sejam relevantes no que se propõe a representar, podemos alcançar tangíveis onde os modelos e suas dimensões sejam aceitáveis como representativos perante a amostra do qual se originou.

5.2.3

HighPoly x LowPoly

Como citado anteriormente, a difusão e a evolução na computação, bem como a evolução no estado da arte da modelagem geométrica proporcionaram uma expansão nos limites pensados para *Digital Human Models*, mas trouxeram também novas demandas inerentes ao desenvolvimento alcançado. Na medida

em que a representação digital torna-se cada vez mais próxima ao ser humano, com modelos em alta definição e texturas de alta qualidade, é impossível ignorar a escalada também na demanda de processamento que tudo isso traz; em paralelo, aliado as novas demandas computacionais citadas acima, passou-se a buscar a integração de um número cada vez maior de DHM no mesmo ambiente virtual, o que novamente aumenta a demanda por processamento. Dito isso, e como solução para atender a essas demandas o quanto antes possível, passou a se utilizar nos DHM uma técnica de retopologia um pouco mais refinada, e, portanto, tornando-se mais um dos artifícios imprescindíveis para aqueles que buscam a produção de DHM de qualidade.

Modelos de altíssima resolução, chamados de *HighPoly*⁵⁵, podem chegar por exemplo a 4.5 milhões de polígonos, com geometrias que, de tão fidedignas, podem, com a aplicação de texturas de alta qualidade e sob efeito de iluminação no cenário virtual, apresentar comportamento de sombras muito parecido com o do corpo humano. Portanto, uma nova abordagem teve de ser utilizada para que a qualidade e o resultado visual e volumétrico destes modelos *HighPoly* fossem mantidos - as texturas aplicadas ao modelo *High* sob influência da luz eram novamente capturadas em *softwares* específicos para manipulação de modelos 3D e em seguida o processo de retopologia era realizado, reduzindo modelos de 4.5 milhões de polígonos para números em torno de 50 mil. Então eram aplicadas sobre estes modelos, agora *LowPoly*, as texturas de alta qualidade que contemplavam as sombras relativas à geometria em alta definição. Desta forma, tornou-se possível simular em modelos *LowPoly* o comportamento de sombras em modelos com uma resolução menor, de maneira a tornar o processamento muito mais leve e ágil, através das texturas sombreadas, o que evita os cálculos de iluminação desses, já previamente feito nos modelos *HighPoly*.

A seguir, é possível observar nas figuras 41 e 42 que a aplicação de texturas obtidas por fotografia em alta definição pode minimizar de forma radical os efeitos de uma geometria com poucos polígonos, amenizando as reações da

⁵⁵ Os modelos *HighPoly* recebem esse nome em referência ao seu número de polígonos, de contagem elevada, do inglês *High Polygon Count*.

geometria à luz, uma vez que tais efeitos já se encontram simulados na textura aplicada.

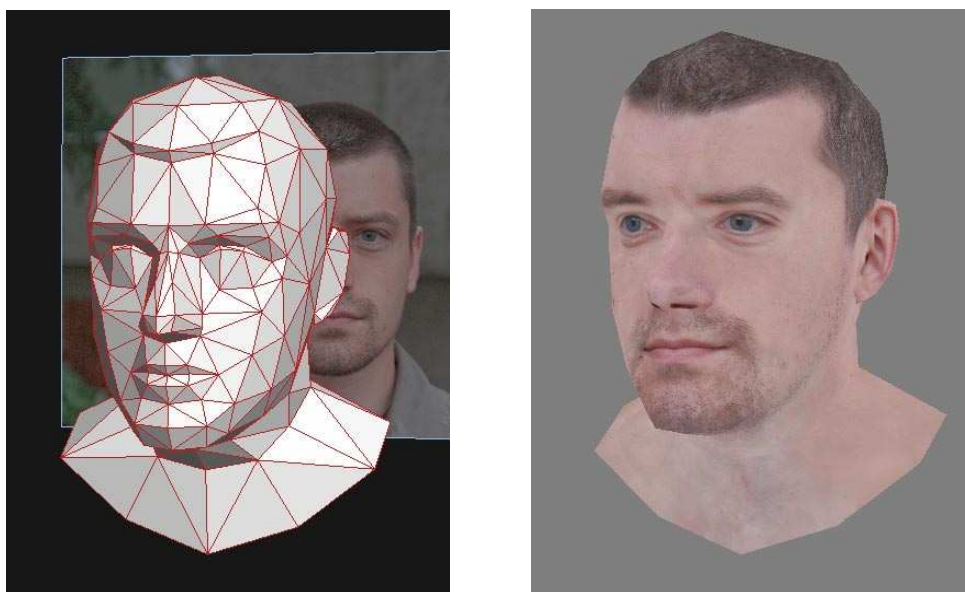


Figura 41 e Figura 42 - Exemplo de DHM desenvolvido com pouquíssimos polígonos e o resultado obtido através da aplicação das texturas e sombreamento

Fonte: <http://www.testroete.com/index.php?location=head> (23/05/2012)

Além da questão da fidelidade visual, também é imprescindível que se mantenha a volumetria específica de cada modelo, como volume ocupado por uma pessoa, para que assim, esse modelo, após o processo de retopologia, ocupe o mesmo espaço, ou a menor margem de erro possível, o espaço que é ocupado pelo ser humano tomado como base. Para tanto, foram desenvolvidos novos softwares que se propõe a resolver tal problema, oferecendo então a opção de retopologia executada sobre a superfície dos modelos *HighPoly*, obrigando assim que a organização de vértices, arestas e faces realizada sobre a superfície mantenha o volume ocupado no espaço (Fig. 43). Tal artifício somado ao resultado visual obtido na aplicação de texturas de alta qualidade em um modelo de baixa contagem poligonal possibilitou a entrada de diversos DHM em um mesmo ambiente virtual com menor demanda de processamento, assim mais acessível para projetos de menor pretensão financeira, além de tornar-se um ambiente virtual passível de ser utilizado em um número maior de máquinas, pela menor demanda de processamento.



Figura 43 - Exemplo de retopologia sobre a superfície original gerada por um scanner 3D
Fonte: Acervo pessoal (06/07/2012)

5.2.4 Movimentação humanizada

De nada adiantariam modelos com extrema fidelidade visual, geometrias bem produzidas para animação e texturas que simulem a influência da luz se nos ambientes virtuais esses se deslocassem como robôs ou de forma irreconhecível. Portanto, um ponto importante ao se tratar de DHM animados é a maneira como esses irão se locomover e se comportar em ambientes virtuais.

As formas mais comuns de se animar um modelo são as técnicas tradicionais de animação tridimensional e captura de movimento. A primeira consiste basicamente no posicionamento de cada segmento do corpo na posição desejada durante o período.

A questão da movimentação, bem como a da aquisição de geometrias descrita anteriormente, passa por uma relação de custo/benefício entre a utilização de tecnologias de ponta e o resultado obtido. Há diversas tecnologias para captura de movimento disponíveis no mercado, com níveis de complexidade e precisão que variam de acordo com o preço.

As tecnologias que possibilitam uma entrega dos dados de movimentos capturados mais precisas se baseiam em câmeras e marcadores óticos posicionados no sujeito a ter os movimentos capturados. Tais tecnologias envolvem custos elevados tanto na aquisição dos sistemas quanto na operação destes, visto que as filmadoras utilizadas necessitam de capacidade para alta definição, além de capacidade de captura de alto número de frames por segundo⁵⁶. Já na operação, são necessários ambientes neutros, onde o cenário ou quaisquer outras interferências não se misturem aos marcadores no momento da gravação e o posicionamento das câmeras seja mantido intacto, para evitar a necessidade de um novo cálculo das relações espaciais entre elas.

Muito utilizadas no cinema e na indústria de *games* (Fig. 44), as capturas óticas apresentam excelentes resultados, com fidelidade impressionante, porém, em contrapartida, possuem limitações quanto à utilização de objetos de apoio nas gravações, cenários reais, entre outros. Capturas *in loco* ou qualquer outra circunstância nas quais os marcadores visuais utilizados venham a ser obstruídos representa perdas na captura, acréscimo de tempo de pós-produção para corrigir tais problemas. Portanto, nesse contexto, algumas outras tecnologias ganharam importância pelo fato de não se utilizarem de câmeras na aquisição dos dados de movimento.

⁵⁶ Conteúdo gerado para TVs com padrão de exibição NTSC costuma apresentar 29,97 FPS, enquanto as capturas de movimento por câmeras requerem 120FPS para uma melhor definição de movimentos muito acelerados.



Figura 44 - Estúdio com ambiente neutro e iluminação controlada para captura de movimentos através de sistema óptico

Fonte: <http://www.cgarena.com/newsworld/vicon-usc-motion-capture.php> (14/06/2012)

Dentre as diversas formas de captura inercial, que não incluem marcadores óticos, destacam-se as que se baseiam em tecnologias de acelerômetros combinados com giroscópios (Fig. 45). Com a vantagem de ser um sistema que permite a captura in loco e que não encontra impedimentos por conta de objetos utilizados para as cenas e de oclusão dos marcados, já que não os utiliza, essa tecnologia tem sido bastante utilizada no cinema e na indústria de games. Aliado às vantagens citadas, encontra-se o fato de os sensores transmitirem sinal via *Bluetooth*⁵⁷ ou ondas de rádio, dando maior liberdade de movimentação e alcance das capturas.

A indústria de *games* é uma das grandes responsáveis pela evolução nas técnicas de captura de movimento, pois, com TVs com cada vez maior resolução e consoles que cada vez mais esbanjam capacidade de processamento para tempo real, a movimentação dos personagens não poderia ser negligenciada. O mercado de *Mocap* cresceu tanto com a evolução tecnológica que hoje se pode encontrar atores especializados em captura para cinema, bem como dublês especializados em captura para games de ação, ganhando tamanha notoriedade

⁵⁷ *Bluetooth* é uma tecnologia de conexão e transmissão de dados sem fio, baseada em radio frequência, automatizada e com alcance restrito a pequenas áreas com intuito de limitar os número de protocolos de autorização de conexão, bem como a utilização da bateria. Fonte: <http://electronics.howstuffworks.com/bluetooth1.htm> (15/02/2013)

que foi levantada a questão de categorias para os atores de *Mocap* no Oscar, a maior premiação do cinema mundial.



Figura 45 - Captura inercial de movimentos de esgrima para *game* em desenvolvimento pela *Rocketbox Studios*

Fonte: <http://www.rocketbox.de/index.html> (14/06/2012)

De fato a captura de movimento agrega muito em fidelidade e fluidez de movimentos ao trabalho envolvendo DHM. Porém, movimentos programados apresentam também pontos positivos e não somente desvantagens, como adequação a diferentes modelos, independente de sua forma, hierarquia e de suas características, o que, em se tratando de *Mocap*, pode se tornar um complicador, visto que o movimento reflete exatamente a identidade gestual daquele o qual se capturou, com a hierarquia e dimensões de seus segmentos. Porém, tais vantagens são comparadas com o maior tempo exigido para que os movimentos se pareçam com humanos, pois além de complexos, esses precisam tentar demarcar características individuais.

A tentativa de tornar um movimento feito a partir de programação diferente para ser utilizado em vários DHM pode consumir muito tempo do animador na tentativa de dar características pessoais a cada um e talvez não atinja o objetivo. A identidade gestual é muito característica de cada um e, portanto, difícil de ser representada ou simulada, como explicitado na afirmação "*all walks are different. No two people in the world walk the same*" (Williams, 2001, p.117).

Os sistemas de captura de movimento são conhecidos por terem um custo muito elevado quando se fala no nível de exigência do cinema Hollywoodiano ou na imensa indústria de *games*. Porém, um dispositivo eletrônico voltado inicialmente para controlar *games* vem sendo usado por muito pesquisadores independentes e institutos de pesquisa como forma de capturar a movimentação em diversas situações. O Kinect foi lançado em novembro de 2010 pela empresa Microsoft como opção para controlar alguns jogos através de sensores que capturam gestos e movimentos do corpo do jogador. Posteriormente, teve seu código descoberto e revelado na internet por *hackers*⁵⁸ interessados em utilizar os sensores para outros fins e, dentre outras utilidades, passou a se utilizar o sensor de profundidade e de movimento para captura de movimento (Fig. 46). Cabe ressaltar que ainda não é possível uma captura de alto nível como nos sistemas comerciais, visto que por se tratar de somente um ponto de vista dos sensores, há áreas de oclusão na captura, nas quais a movimentação tem que ser estimadas pelo software para não haver perda nesses trechos.

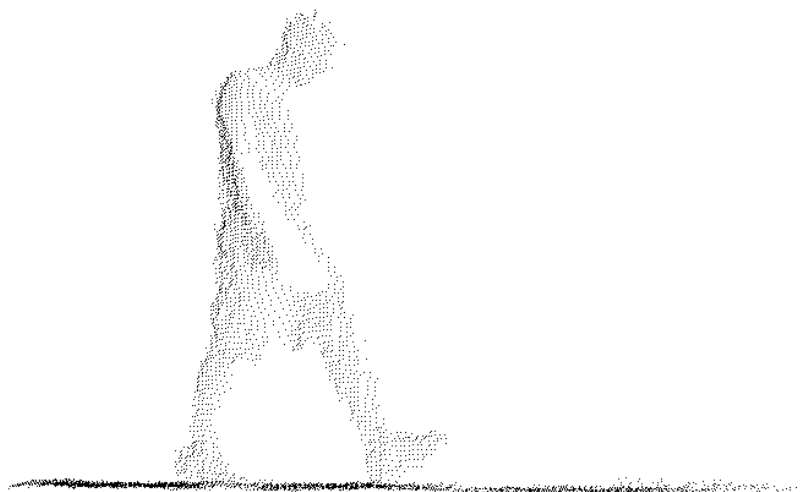


Figura 46 - Frame de nuvem de pontos de captura de movimentos através de sistema Kinect
Fonte: NEXT – Núcleo de Experimentação Tridimensional – PUC Rio.

5.2.5 Adaptação de movimentos

A adaptação de movimentos capturados para utilização em outro DHM que não seja representação do ator que teve os movimentos capturados é um desafio que ainda não se tem por solucionado. Há diversos estudos

⁵⁸ *Hackers* deriva da expressão em inglês *hack*, significando aqueles que invadem sistemas de computador ou softwares

relacionados aos aspectos matemáticos envolvidos em se adaptar tais movimentos, aspectos esses que partem de princípios de biomecânica e cinemática, como tamanho de cada segmento do corpo, angulação relativa a cada articulação, velocidade angular, entre outros.

Porém, a complexidade envolvida na locomoção humana vai além da lógica matemática. Um dos fatores que impede que os cálculos para transferir a movimentação para modelos diferentes de forma simples é o fato de cada pessoa possuir estratégias de deslocamento diferenciadas. Por mais que duas pessoas possuam dimensões próximas em seus segmentos, elas se movimentam de forma diferente, com abordagens para alcançar objetos, por exemplo, que nem sempre se baseiam somente no deslocamento de um membro. Na frase a seguir, o autor fala do movimento de caminhar, como sendo uma abordagem de cada um sobre uma mesma situação.

*“Walking is a process of falling over and catching yourself just in time.”
(Williams, R., 2001)*

Sendo assim, além de fatores matemáticos e geométricos que possam ser estudados, ainda há de se pensar que cada cena capturada vem imersa em identidade gestual e estratégias de movimentação, o que torna o movimento ainda mais único e que, apesar serem entendidos como algo pragmático, a forma como cada um encara o desafio de tal movimentação é único e intrínseco.

Os desafios de adaptar essas capturas para diferentes DHM estão em aberto, sem uma solução formulada e definitiva, mas os outros tópicos citados anteriormente como requisitos para a confecção de DHM de qualidade também possuem seus desafios próprios. Portanto, a combinação de esforços entre esses requisitos, numa forma de balancear pontos de maior avanço para que esses venham a amenizar os pontos menos desenvolvidos faz com que os DHM sejam aceitos e entendidos como sendo a representação de um ser humano.