



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE UM AGENTE VIRTUAL 3D PARA SINALIZAÇÃO DE TERMOS EM LÍNGUAS DE SINAIS

CARLOS AUGUSTO GUERRA CARNEIRO

Orientador: Flávio Luis Cardeal Pádua
CEFET-MG

Coorientador: Vera Lúcia de Souza e Lima
CEFET-MG

BELO HORIZONTE
JUNHO DE 2016

CARLOS AUGUSTO GUERRA CARNEIRO

DESENVOLVIMENTO DE UM AGENTE VIRTUAL 3D PARA SINALIZAÇÃO DE TERMOS EM LÍNGUAS DE SINAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Computação do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Flávio Luis Cardeal Pádua
CEFET-MG

Coorientador: Vera Lúcia de Souza e Lima
CEFET-MG

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO
BELO HORIZONTE
JUNHO DE 2016

Esta folha deverá ser substituída pela cópia digitalizada da folha de aprovação fornecida pelo Programa de Graduação.

Agradecimentos

Antes de tudo agradeço à Deus, por tudo que me proporcionou nesta vida e por ter colocado as pessoas certas próximas a mim.

Agradeço à minha mãe, por toda dedicação, investimento e confiança depositados em mim. Como exemplo a ser seguido por mim, me motivou a enfrentar todas as barreiras que enfrentei até agora e me fez corresponder com resultados e responsabilidades.

Agradeço ao meu pai, por me mostrar que apesar de não sermos perfeitos, podemos ser exemplo e ser admirados. A saudade que sinto é motora de minhas ações e de minha vontade de corresponder ao orgulho e amor que demonstrava sentir por mim.

Agraço às minhas irmãs por confiarem em mim e por serem apoio nas horas que mais precisei.

Agradeço à minha melhor amiga/namorada, por ter me dado apoio e por ter me motivado sempre que precisei.

Agradeço aos meus amigos, familiares. Principalmente aqueles que transcenderam essas relações e viraram meus irmãos e melhores amigos.

Agradeço a todos os funcionários, colegas de classe e professores do CEFET-MG, tanto os de Belo Horizonte como os de Timóteo, que desde o técnico foram parte essencial do meu dia a dia. Agradeço especialmente ao meu professor e orientador Flávio Luiz Cardeal Pádua que me ensinou mais do que lições acadêmicas.

Agradeço ao CEFET-MG por viabilizar, respectivamente, meus projetos durante a iniciação científica e o intercâmbio durante o programa Ciências sem Fronteiras, contribuindo fortemente para a minha formação acadêmica.

Resumo

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um agente virtual 3D para a sinalização de termos na Língua Brasileira de Sinais (Libras), baseado na interpretação automática dos dados geométricos que representam um determinado termo da língua de sinais à que pertence. Os termos foram codificados em um arquivo, no formato XML, seguindo o padrão proposto pelo SignWriting. O SignWriting é um sistema de escrita para línguas de sinais, capaz de descrever diversas características, tais como configurações de mãos, os movimentos, as expressões faciais e os pontos de articulação das línguas de sinais. Por meio do sistema proposto, os dados geométricos de um determinado termo são lidos e sinalizados por um agente virtual tridimensional, usualmente chamado de avatar. Existe um dicionário virtual, chamado de SignPuddle, em que é possível realizar traduções, pesquisas por sinais, símbolos e palavras em SignWriting, sendo o mesmo um grande banco de dados de SignWriting, o qual pode servir de consulta para sistemas que propõem a utilização do SignWriting como meio de representar ou sinalizar termos. O avatar foi projetado para sinalizar de forma realística e plenamente compreensível os diversos termos da língua de sinais utilizada por uma determinada comunidade surda. Tradicionalmente, o registro de termos em língua de sinais têm sido realizado por meio de ilustrações e vídeos. Entretanto, ilustrações nem sempre são capazes de representar corretamente a sequência de movimentos de interesse, cabendo ao ilustrador compreender e transcrever o sinal no processo de descrição do movimento. No caso da utilização de vídeos, por sua vez, existem várias exigências especiais de produção, tais como, a câmera de captura, o cenário e o ator utilizados. Por outro lado, em um sistema baseado em sinalização virtual, cujo funcionamento contempla a utilização de um avatar tridimensional, pode-se obter em tempo real a um custo computacional (tempo e espaço) muito mais baixo a sinalização de um determinado termo, bem como rotacionar, navegar e interagir com o avatar que realiza o sinal, permitindo uma compreensão mais ampla do mesmo. Para a validação do sistema proposto, propõe-se a utilização da Língua Brasileira de Sinais (Libras) nos experimentos a serem realizados. Este trabalho será executado no âmbito do Laboratório de Pesquisas Interdisciplinares em Informação Multimídia (Piim-Lab) do CEFET-MG e contará com o apoio de pesquisadores das áreas de Visão Computacional, Linguística Aplicada e Aprendizado de Máquina.

Palavras-chave: Avatar, SignWriting, Libras, línguas de sinais, transcrição de sinais.

Lista de Figuras

Figura 1 – Línguas suportadas pelo sistema SignPuddle.	9
Figura 2 – Categorias e Grupos do ISWA 2008.	10
Figura 3 – Camadas do sistema que processa e exibe o SignWring de um termo por meio de um código FSW.	11
Figura 4 – FSW - Palavra Brasil.	12
Figura 5 – FSW - Decomposição da palavra Brasil.	13
Figura 6 – SWML - Palavra Brasil salva no SignPuddle.	13
Figura 7 – Palavra Brasil gerada por um SignWriting Editor usando a codificação SWML.	14
Figura 8 – Malha de triângulos que compõem a pele do avatar.	15
Figura 9 – Ossos e juntas que compõem a mão de um avatar.	16
Figura 10 – <i>Rigging</i> de um avatar.	16
Figura 11 – Hierarquia dos ossos e juntas que compõem a mão de um avatar. . . .	17
Figura 12 – Cinemática Direta e Cinemática Inversa.	17
Figura 13 – Avatar desenvolvido por Bouzid e Jemni (2014).	19
Figura 14 – Sistema para a SASL.	20
Figura 15 – Sistema de sinalização em LGP.	20
Figura 16 – Sistema VSigns.	21
Figura 17 – Avatar Tessa.	22
Figura 18 – Avatar Guido.	22
Figura 19 – Avatar desenvolvido por Krnoul (2011).	23
Figura 20 – Diagrama de caso de uso que representa o sistema desenvolvido. . . .	25
Figura 21 – Visão geral do módulo desenvolvido para os administradores.	26
Figura 22 – Visão geral do módulo desenvolvido para os usuários.	27
Figura 23 – Composição do termo banheiro.	28
Figura 24 – Arquivo XML do termo banheiro.	28
Figura 25 – Arquivo XML da configuração de mão 01-05-034-01-05-09.	29
Figura 26 – Transformação do dedo polegar.	30
Figura 27 – Visualização da interface do Módulo de Interação do sistema desenvolvido. . .	31
Figura 28 – Juntas do ombro, braço, antebraço e punho.	32
Figura 29 – Juntas da mão esquerda do avatar.	32
Figura 30 – A apresentação do termo em Libras “desculpar-se”, sendo o lado esquerdo o avatar proposto, e o lado direito o avatar do sistema tuniSigner.	34
Figura 31 – Sinalização do termo “banheira”, sendo o lado esquerdo o avatar proposto, e o lado direito o intérprete.	35
Figura 32 – Descrição das pessoas que responderam ao questionário.	37

Figura 33 – Gráficos DMOS para as perguntas 7 e 9 utilizadas na segunda etapa da avaliação.	38
Figura 34 – Gráficos DMOS para as perguntas 7 e 11 utilizadas na segunda etapa da avaliação.	38

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Símbolos base ISWA 2008 por categoria	11
--	----

Lista de Quadros

Quadro 1 – Descrição dos marcadores básicos do FSW.	12
Quadro 2 – Perguntas utilizadas no questionário para avaliar o avatar desenvolvido.	36

Lista de Abreviaturas e Siglas

ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
FSW	<i>Formal SignWriting</i>
IMWA	<i>International MovementWriting Alphabet</i>
ISWA	<i>International SignWriting Alphabet</i>
ALS	Língua Americana de Sinais
Libras	Língua Brasileira de Sinais
LGP	Língua Gestual Portuguesa
LSF	Língua Francesa de Sinais
SASL	Língua Sul-africana de Sinais
SWML	<i>SignWriting Markup Language</i>
PNG	<i>Portable Network Graphics</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

Sumário

1 – Introdução	1
1.1 Caracterização do problema	2
1.2 Motivação	2
1.2.1 Educação	3
1.3 Objetivos	3
1.4 Contribuições	4
1.5 Organização do trabalho	4
2 – Fundamentação Teórica	6
2.1 Línguas de sinais	6
2.2 Escrita de sinais	7
2.2.1 SignWriting	8
2.2.2 SignPuddle	8
2.2.3 IMWA/ISWA	9
2.2.4 FSW	11
2.2.5 SWML	12
2.3 Animação de Personagens em 3D	13
2.3.1 <i>Rigging</i>	15
2.3.2 Cinemática Inversa	15
3 – Trabalhos Relacionados	18
3.1 Trabalhos baseados no SignWriting	18
3.2 Trabalhos baseados no HamNoSys	21
3.3 Discussão	23
4 – Metodologia	24
4.1 Sistema Computacional	25
4.1.1 Módulo de Administração	26
4.1.1.1 Arquivos XML dos termos salvos	26
4.1.2 Módulo de Interação	29
4.1.2.1 Cálculo da cinemática inversa e interpolação	30
5 – Resultados	33
5.1 Base de Dados	33
5.2 Avaliação do Avatar Desenvolvido	35
6 – Conclusão	39

6.1 Trabalhos Futuros	40
Referências	41

Capítulo 1

Introdução

A ausência de um sistema de escrita para as línguas de sinais retardou muito o desenvolvimento da cultura surda pois, para se fazer o registro escrito de suas experiências, era necessária a transcrição a partir de uma língua falada. Por exemplo, o surdo que se comunica na Língua Brasileira de Sinais, Libras, tinha que saber o português escrito para fazer tais registros. Então, em uma língua de sinais, para se reproduzir um fato ou conhecimento, devia-se ou registrá-lo por vídeo e imagens ou por meio da escrita em uma língua falada (STUMPF, 2005).

Com o avanço da tecnologia, começaram a surgir sistemas baseados na interpretação de sinais a partir de um agente virtual tridimensional, avatar, pois, diferentemente da utilização de vídeos e imagens, a utilização de um avatar diminui muito o custo computacional, não sendo necessário grande espaço de armazenamento para a reprodução de um sinal. Neste contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema computacional que tem como objetivo a sinalização de termos em Libras, codificados por meio do sistema de transcrição SignWriting (2.2.1). Escolheu-se o SignWriting por este sistema estar mais difundido e ser mais completo (BOUZID; JEMNI, 2014).

Para facilitar o aprendizado e a propagação das línguas de sinais, em 1974, a Universidade de Copenhague, Dinamarca, solicitou à Valerie Sutton¹ que enviasse movimentos de pessoas surdas e ouvintes por vídeo cassete, sendo os sinais baseados em uma forma de transcrição baseada em Dancewriting, sistema o qual Sutton tinha inventado na década de 70 para representar movimentos da dança. O Dancewriting foi adaptado para a língua de sinais, de uma forma que qualquer língua de sinais pudesse ser transcrita sem que precisasse utilizar uma língua falada e então surgiu o SignWriting (SUTTON; FROST, 2008).

Nos anos seguintes, o SignWriting foi difundido pelo mundo e começaram a surgir os primeiros textos publicados em SignWriting e instituições de ensino de várias partes do

¹Valerie Sutton: pessoa que criou o SignWriting.

mundo começaram a utilizar o SignWriting no ensino de alunos surdos.

1.1 Caracterização do problema

Acessibilidade é uma preocupação crescente não só na computação, mas em todas as áreas do conhecimento. Desde 2002, através da Lei Federal 10.436 (BRASIL, 2002), há um movimento cada vez maior para auxiliar a difusão do ensino em Língua Brasileira de Sinais, Libras, e a inclusão de alunos surdos em instituições de ensino.

No trabalho de Moraes (2014, p. 22-23) é mostrada a dificuldade de se ensinar conteúdos com termos técnicos para os alunos surdos, situação na qual a tradutora tem que fazer o uso da datilologia para termos que ainda não existem em Libras.

Para resolver a carência de termos técnicos na Libras, surgiram trabalhos para a criação de glossários terminológicos. Um exemplo é o trabalho de Lima (2014), onde é proposto a criação de um glossário bilíngue que contempla a Língua Portuguesa e a Língua de Sinais, fundamentado em um corpus de termos da área do Projeto Arquitetônico.

Uma das formas mais comuns para armazenar termos criados ou já existentes na Libras é através de meios digitais, por exemplo vídeos. Isto tem grandes desvantagens:

- Necessita a participação de pessoas que dominam a língua;
- Necessita uma mesma pessoa, com a mesma roupa, mesmo fundo;
- É extremamente custosa a transmissão, necessitando uma boa conexão;
- Ocupa muito espaço de armazenamento;
- Necessita uma boa câmera e boa iluminação.

O problema de pesquisa abordado neste trabalho consiste na criação de um avatar para sinalizar termos da Libras pertencentes a glossários terminológicos, criados para a suprir a demanda de termos técnicos utilizados em disciplinas de cursos técnicos e de graduação. O sistema proposto processa os dados geométricos dos termos, previamente armazenados, para serem utilizados como parâmetros de entrada para os movimentos do avatar desenvolvido.

1.2 Motivação

Nesta seção são apresentadas algumas das principais motivações para o desenvolvimento deste trabalho. Serão apresentados os problemas, as dificuldades encontradas durante o aprendizado escolar e os mitos que cercam toda a comunidade surda. Na 1.2.1 é apresentado alguns fatos que justificaram e motivaram a realização deste trabalho.

1.2.1 Educação

Em (WFD, 2004), os autores afirmam que a maioria das pessoas surdas não recebem qualquer educação nos países em desenvolvimento. Cerca de 80% das 70 milhões de pessoas surdas do mundo não têm qualquer acesso à educação. Apenas cerca de 1% a 2% dos surdos são educados em língua de sinais. A situação ainda é pior para mulheres e crianças surdas. Por isso, a principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho é facilitar o acesso e o aprendizado às línguas de sinais, para que os surdos possam cada vez mais ter acesso ao ensino de qualidade e de acordo com as línguas que aprenderam.

Se a quantidade de surdos que têm acesso à educação já é baixa, de acordo com o Censo Educacional (BRASIL. Ministério da Educação, 2008), a quantidade de surdos que chegam ao ensino técnico ou superior é ainda menor.

Sousa e Silveira (2011) apresentam um estudo das dificuldades do ensino da disciplina Química para alunos surdos. Neste trabalho, é mostrado que alguns dos fatores que influenciam os alunos surdos a terem dificuldades na aprendizagem em química é a escassez de termos específicos da disciplina na língua de sinais, além do despreparo dos intérpretes que não possuem conhecimento suficiente na disciplina. Este problema não ocorre somente nesta disciplina, mas em qualquer outra que possui termos específicos. Por isso se faz necessária a criação de glossários terminológicos para suprir esta carência de termos técnicos.

Sousa e Silveira (2011) também relatam que a inexistência de projetos para a criação de dicionários terminológicos não é o problema, pois já existem projetos deste tipo em todo o país, como o exemplo o trabalho de Lima (2014). Entretanto, os intérpretes dizem não ter conhecimentos desses projetos, faltando assim a divulgação dos novos termos criados. Por isso, a criação de glossários terminológicos deve ser auxiliada por sistemas computacionais que facilitarão a difusão dos termos gerados, podendo estes sistemas conter informações mais detalhadas dos termos e também sinalizá-los.

1.3 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento de um sistema computacional que sinaliza virtualmente termos em Libras, por meio de um personagem virtual 3D (avatar) de forma que o usuário possa compreender e reproduzir o sinal selecionado.

Para atingir o objetivo geral, foram perseguidos os seguintes objetivos específicos:

- Possibilitar ao usuário visualizar a sinalização dos termos em vários ângulos e proximidades desejadas;

- Criar um avatar parametrizado para que possa ler qualquer termo codificado na linguagem de marcação criada;
 - O sistema deve processar de forma automática os termos salvos para serem utilizados pelo avatar.
- O avatar deve ter movimentos naturais, próximos aos de uma pessoa;
- O avatar deverá, inicialmente, interpretar as configurações manuais. Podendo ser implementado em trabalhos futuros o suporte às configurações não manuais.
- O sistema deve ser multiplataforma, funcionando em computadores ou dispositivos portáteis.

Para isso, foram estudadas as principais formas de escritas de sinais, verificando na literatura trabalhos que as utilizaram na criação de sistemas baseados na sinalização de termos em línguas de sinais por meio de um avatar. Além disso, foram verificadas quais as tecnologias e metodologias mais apropriadas para a criação de sistemas baseados em personagens 3D.

1.4 Contribuições

A principal contribuição deste trabalho consiste em apresentar uma abordagem computacional para auxiliar a produção de dicionários terminológicos para alunos surdos que frequentem cursos em ciência, tecnologia, engenharia e matemática. Este trabalho tem como resultado a criação de um avatar que sinaliza, de forma parametrizada, sinais pertencentes aos dicionários terminológicos criados.

É importante ressaltar que o trabalho proposto é um componente de um projeto que visa desenvolver um sistema computacional que se concentra nas necessidades dos surdos relacionadas à existência de dicionários terminológicos técnicos nas áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática (SOUZA; LIMA; PÁDUA, 2014).

Esse trabalho é projetado para servir como base para o desenvolvimento de instrumentos eficazes para a língua de sinais, tendo como estudo de caso a Libras, para ajudar na inclusão e cidadania de direitos sociais para a comunidade surda no Brasil.

1.5 Organização do trabalho

O presente capítulo apresenta uma contextualização geral, além de descrever as principais motivações e objetivos que este trabalho alcança. O 2 exibe os conceitos fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. No 3, são discutidos os principais trabalhos relacionados, descrevendo suas metodologias e objetivos. A metodologia é apresentada no 4, onde são exibidas as principais tarefas desenvolvidas para atender os objetivos deste projeto. No 5

são apresentados os resultados obtidos no desenvolvimento deste trabalho. Por fim, no 6 são apresentadas as conclusões e perspectivas de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Este capítulo descreve os principais conceitos e métodos relacionados ao trabalho proposto. Inicialmente, será apresentado o sistema de escrita SignWriting, uma vez que esse é o sistema de escrita escolhido para a execução deste trabalho. Na sequência, será descrito o sistema SignPuddle.

Em seguida, serão descritas as ferramentas que ajudaram na modelagem e automação do agente virtual (avatar) a ser desenvolvido.

2.1 Línguas de sinais

As línguas de sinais são línguas naturais, portanto, compartilham uma série de características que as tornam únicas e as distinguem dos demais sistemas de comunicação. Stokoe¹ comprovou que as línguas de sinais atendiam a todos os critérios linguísticos de uma língua genuína, tanto no léxico como na sintaxe e na capacidade de gerar novas sentenças (QUADROS, 2004).

Segundo Quadros (2004), Stokoe foi o primeiro a procurar uma estrutura, analisar os sinais e pesquisar como eles se constituíam. Nos seus estudos, Stokoe comprovou que cada sinal apresentava pelo menos três partes independentes: a localização, a configuração de mão e o movimento.

Características faciais, tais como movimentos da sobrancelha e movimentos da boca, bem como outros fatores, tais como orientação do corpo também são significativas nas línguas de sinais, sendo parte crucial do sistema gramatical. Além disso, as línguas de sinais fazem uso do espaço em torno da pessoa que sinaliza para descrever os lugares e as pessoas que não estão presentes. (NAKAMURA, 1995)

A falta de conhecimento sobre as línguas de sinais gerou na população uma série de

¹William C. Stokoe: estudioso que pesquisou extensivamente a Língua de Sinais Americana.

falsas ideias sobre as línguas de sinais. No decorrer deste trabalho, não foi raro encontrar indagações por parte de pessoas, até mesmo as que têm alto grau de instrução, sobre alguns dos mitos abaixo explicados:

- Línguas de sinais são baseadas na língua oral.
 - Diferentemente do que muita gente acredita, a Libras não é uma mera representação visual do termo em português. O mesmo vale para as outras línguas de sinais. As línguas de sinais têm suas próprias estruturas linguísticas. Sendo a língua de sinal em um país, totalmente independente da língua oral.
- Todas as línguas de sinais são as mesmas.
 - Muitas pessoas não observam que Libras é um acrônimo de Língua Brasileira de Sinais. É uma língua específica do nosso país. Assim como na língua oral, as línguas de sinais faladas em países lusófonos, não são as mesmas. A língua de sinal falada em Portugal é a Língua Gestual Portuguesa (LGP). Da mesma forma existem a Língua Francesa de Sinais (LSF), Língua Americana de Sinais (ALS), entre outras.
- Termos da Libras são mímicas ou a datilologia² de uma palavra em português.
 - A sinalização de um termo em Libras muitas vezes se assemelha a um objeto na qual o termo representa, assim como termos em português se assemelham a sons emitidos pelos objetos representados por tais termos. Mas da mesma forma que em português, essa relação muitas das vezes não existe.
 - Para cada termo de uma língua de sinal existe um sinal, não sendo necessária a datilologia.

A inserção de surdos em meios dominados por ouvintes é de extrema importância para quebrar os preconceitos existentes.

2.2 Escrita de sinais

Do ponto de vista da cultura surda, usar a língua portuguesa escrita entre surdos para se comunicarem à distância ou mesmo para propagar seus conhecimentos, implica que qualquer comunicação entre eles ou o registro de conhecimentos deverão ser traduzidos por elementos culturais-comunicativos que não lhes são próprios (STUMPF, 2000).

Os surdos que são educados em uma língua oral, em geral, tem extrema dificuldade de leitura, dificuldade de acesso à literatura em geral e uma enorme dificuldade de produzir textos (STUMPF, 2000).

Ao longo dos anos foram feitas inúmeras tentativas de se criar sistemas de transcrições para as línguas de sinais para que não mais fosse necessária a tradução da língua de sinais

²Datilologia: forma de representar o alfabeto da escrita de uma língua oral. Realizar a datilologia de um determinado termo, pertencente a uma língua de sinal, se assemelha à soletrar um termo de uma língua oral.

para a língua oral escrita. Na subseção

2.2.1 SignWriting

O sistema de transcrição SignWriting foi criado por Valerie Sutton para ser um alfabeto para escrever os movimentos do corpo e não para fins linguísticos. O sistema descreve expressões faciais, movimentos de cabeça, reação espacial e pontuação (SUTTON; FROST, 2008).

Com o SignWriting os surdos podem escrever a sua língua, se comunicarem e preservar seus conhecimentos de forma escrita.

Algumas vezes o SignWriting é comparado a outras notações de escrita, como por exemplo a notação HamNoSys, mas o SignWriting distingue-se por ter sido criado com um propósito diferente. Esta notação foi criada para ser utilizada no dia a dia dos surdos e de ouvintes que sabem uma certa língua de sinal (SUTTON; FROST, 2008). Já o HamNoSys foi criado para fins de pesquisa e para linguistas (COSTA; DIMURO, 2001).

Sutton acreditava desde o início no potencial do SignWriting. Isso fica claro no trecho a seguir:

“O desenvolvimento do sistema de escrita SignWriting tem sido o principal trabalho de minha vida, desde quando escrevi o primeiro documento sobre tal sistema em Copenhague na Dinamarca em 1974. Percebi naquele momento, sem nenhuma dúvida, que o SignWriting seria utilizado no mundo todo para escrever qualquer língua de sinais em qualquer país, pois o sistema de escrita é baseado na escrita do movimento corporal. O sistema Signwriting não realiza críticas em relação ao modo no qual as pessoas sinalizam. Ao invés disso, possibilita escrever o que de fato vemos sendo sinalizado. Escrevemos “pronúncias” de sinais. O Alfabeto do sistema SignWriting pode ser utilizado para escrever qualquer língua de sinais do mundo, uma vez que as pessoas que utilizam sinais para se comunicar, em qualquer país, podem aprender os símbolos e aplicar o sistema de escrita à língua de sinais que eles conhecem.” (SUTTON, 2008, p. 7, traduzido pelo autor)

2.2.2 SignPuddle

Atualmente existe um sistema chamado SignPuddle onde são armazenadas as transcrições para o SignWriting de termos pertencentes a aproximadamente 80 línguas de sinais. A 1 mostra a lista de línguas suportadas pelo sistema SignPuddle.

Em 2003, Stephen E. Slevinski criou uma entidade sem fins lucrativos chamada Pittsburgh United for Deaf Literacy (PUDL) e desenvolveu o software PUDL baseado em SignWriting, que depois seria chamado de SignPuddle (SLEVINSKI, 2009a).

Alguns dos principais sistemas desenvolvidos por Slevinski são:

Figura 1 – Línguas suportadas pelo sistema SignPuddle.



Fonte: <http://www.signbank.org/signpuddle/>, traduzida pelo autor.

- SignPuddle Online: Sistema onde são armazenadas as transcrições de várias línguas de sinais para SignWriting (2.2.2);
- IMWA Convert Package to ISWA: Sistema para a conversão de símbolos do IMWA para o ISWA (2.2.3);
- SignMakers: Ferramenta Web onde se escreve um termo utilizando o sistema SignWriting.

2.2.3 IMWA/ISWA

Valerie Sutton tomou conhecimento do software desenvolvido por Slevinski e em 2004 convidou-o para trabalharem juntos. Eles criaram a codificação International MovementWriting Alphabet (IMWA) responsável por representar os símbolos utilizados em um determinado sinal. Mais tarde, em 2008, o IMWA foi melhorado e assim foi criado o International SignWriting Alphabet (ISWA), o que inclui símbolos para descrever configurações de mão,

movimentos, expressões faciais e movimentos corporais para todas as línguas de sinais do mundo (SLEVINSKI, 2009b).

De acordo com Sutton (2008) cada símbolo do ISWA 2008 tem seu arquivo PNG e é referenciado por um código, por exemplo: 01-01-001-01-01-01. O código ISWA representa o número do símbolo, a variação, o preenchimento, a rotação, a categoria e o grupo. No IMWA 2004 existiam 50 grupos de símbolos e cada símbolo do alfabeto pertencia a um destes grupos. Com o ISWA 2008 Sutton simplificou os grupos e os reduziu a 30, dividindo-os em 7 categorias, de acordo com o mostrado na 2.

Figura 2 – Categorias e Grupos do ISWA 2008.

- Categoria 1: Mãos
 - Grupo 01: Indicador
 - Grupo 02: Indicador Meio
 - Grupo 03: Indicador Meio Polegar
 - Grupo 04: 4 Dedos
 - Grupo 05: 5 Dedos
 - Grupo 06: Dedo Mínimo
 - Grupo 07: Dedo Anelar
 - Grupo 08: Dedo Médio
 - Grupo 09: Indicador Polegar
 - Grupo 10: Polegar
- Categoria 2: Movimentos
 - Grupo 11: Contato
 - Grupo 12: Movimento dos Dedos
 - Grupo 13: Reto para o Plano da Parede
 - Grupo 14: Reto para o Plano Diagonal
 - Grupo 15: Reto para o Plano do Chão
 - Grupo 16: Curvo para o Wall Plane
 - Grupo 17: Curvo com toques para o Plano da Parede
 - Grupo 18: Curvo com toques para o Floor Plane
 - Grupo 19: Curvo para o Floor Plane
 - Grupo 20: Circulares
- Categoria 3: Face & Cabeça
 - Grupo 21: Sobrancelhas, Olhos e Movimento dos Olhos
 - Grupo 22: Bochechas Orelhas Nariz Respiração
 - Grupo 23: Boca Lábios
 - Grupo 24: Língua Dente Queixo Pescoço
 - Grupo 25: Cabeça
- Categoria 4: Corpo
 - Grupo 26: Quadris Ombros Torso
 - Grupo 27: Membros
- Categoria 5: Dinâmicos
 - Grupo 28: Dinâmica & Tempo
- Categoria 6: Pontuação
 - Grupo 29: Pontuação
- Categoria 7: Classificação Avançada
 - Grupo 30: Localização para classificar

Fonte: Sutton (2008, p. 18).

A 1 mostra a quantidade de símbolos por categoria:

Tabela 1 – Símbolos base ISWA 2008 por categoria.

Símbolos base ISWA 2008 por categoria	
Mãos	250
Movimentos	242
Face & Cabeça	110
Corpo	16
Dinâmicos	8
Pontuação	5
Classificação Avançada	8
TOTAL DE SÍMBOLOS	639

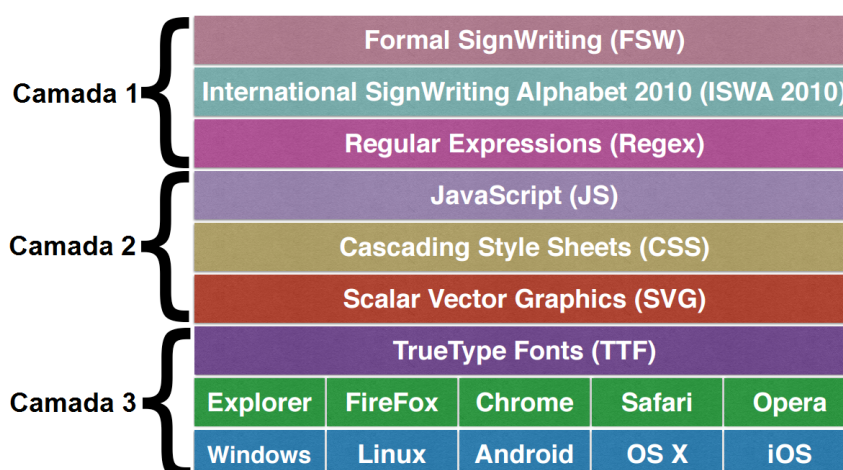
Fonte: Sutton (2008, p. 73).

2.2.4 FSW

Formal SignWriting (FSW) é um autômato, que tem seu desenvolvimento iniciado em 2008 e finalizado em 2012, que gera uma palavra usando caracteres ASCII para cada termo pertencente a uma determinada língua de sinal (SLEVINSKI, 2015a).

O sistema responsável por executar o autômato e converter um código FSW em uma imagem que contém a descrição de um sinal é dividido em 3 camadas, como pode ser visto na 3. A primeira camada é responsável por processar o código FSW de forma que a segunda camada possa enviar para a terceira camada o SVG do termo a ser exibido para o usuário.

Figura 3 – Camadas do sistema que processa e exibe o SignWriting de um termo por meio de um código FSW.



Fonte: Slevinski (2015b, p. 3), modificado pelo autor.

Cada palavra do FSW é estruturada em 11 marcadores, descritos no 1 e agrupados em 4 camadas:

- Marcadores estruturais (A, B, L, M, R);
- Intervalos para os símbolos base (w, s, P);
- Modificadores de índices (i, o);
- Números (n).

Quadro 1 – Descrição dos marcadores básicos do FSW.

Token	Descrição
A	Marcador de Sequência
B	Marcador de SignBox
L	Marcador do Eixo Esquerdo
M	Marcador do Eixo Central
R	Marcador do Eixo Direito
w	Escrita do símbolo base
s	Localização detalhada de um símbolo base
P	Símbolos base de pontuação
i	Modificador de preenchimento
o	Modificador de rotação
n	Números de 250 a 749

Fonte: [Slevinski \(2015a, p. 10\)](#).

Um dos sinais para o termo “Brasil” tem o FSW igual ao mostrado pela 4 e é interpretado de acordo com a 5.

Figura 4 – FSW - Palavra Brasil.

AS14710S29a04M508x533S29a04493x498S14710491x466

Fonte: Elaborada pelo autor.

Assim, um FSW diz exatamente onde está localizada uma determinada configuração de mão, movimento ou qualquer elemento importante para a formação de um termo escrito em SignWriting.

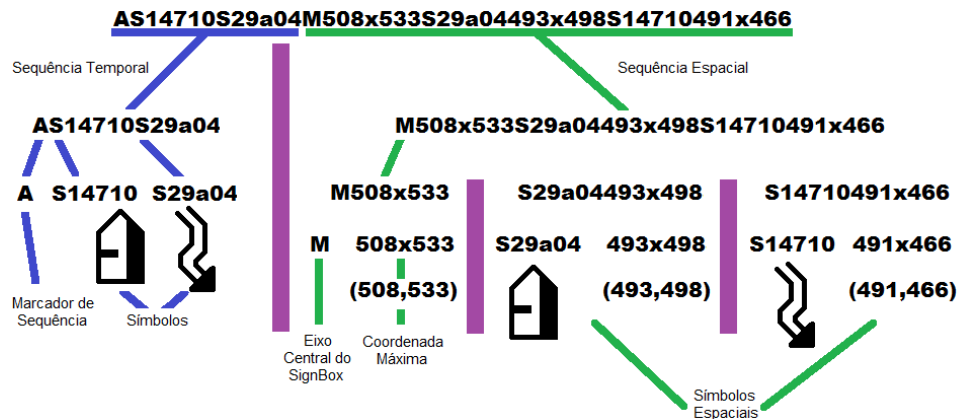
2.2.5 SWML

SignWriting Markup Language, SWML, é uma linguagem de marcação baseada em XML, desenvolvida pelos brasileiros [Costa e Dimuro \(2001\)](#), para armazenar, trocar e processar palavras e textos escritos no sistema SignWriting ([SIGNWRITING.ORG, 2001](#)). Esta linguagem possibilita a representação de textos e palavras da forma em que eles foram gerados, ou seja, por um programa que escreve SignWriting (SignWriting Editor).

A 6 mostra o SWML do termo Brasil gerado a partir do seu FSW (4) no site SignPuddle.

A 7 mostra o SWML, na versão 1.0, gerado por um SignWriting Editor. Segundo [Costa e Dimuro \(2001\)](#), um SWML nesta versão tem as seguintes características:

Figura 5 – FSW - Decomposição da palavra Brasil.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 6 – SWML - Palavra Brasil salva no SignPuddle.

```
<signbox>
  <seq>01-04-004-01-02-01</seq>
  <seq>02-06-006-02-01-05</seq>
  <sym width="15" height="35" left="-7" top="-2">02-06-006-02-01-05</sym>
  <sym width="14" height="22" left="-9" top="-34">01-04-004-01-02-01</sym>
</signbox>
```

Fonte: Elaborada pelo autor.

- Cada sinal em um texto ou em um dicionário é uma tag <sign_box> contendo um conjunto de tags <symbol> que juntos representam um sinal;
- Para cada tag <symbol> em um <sign_box>, um atributo <"number"> identifica uma forma do símbolo(<shape>) e os atributos "x" e "y" identificam as coordenadas do símbolo dentro do <sign_box>;
- Para identificar a transformação(<transformation>) a que um símbolo foi submetido, existem os atributos "variation", "fill" e "rotation".

Assim, as várias características de qualquer sinal podem ser extraídas de um arquivo codificado em SWML, permitindo a reconstrução da imagem que forma o sinal.

2.3 Animação de Personagens em 3D

Personagens 3D são únicos porque eles precisam se mover de uma forma fluida e orgânica, demandando alto poder de processamento para a execução de técnicas de animação. Como o hardware de computadores e videogames melhorou muito nos últimos anos, técnicas de animação mais avançadas tornaram-se viáveis de serem executadas em tempo real. Hoje, os designers de personagens 3D têm uma série de métodos de animação poderosos à sua disposição (GREGORY, 2009). As técnicas de animação mais utilizadas são: por células,

Figura 7 – Palavra Brasil gerada por um SignWriting Editor usando a codificação SWML.

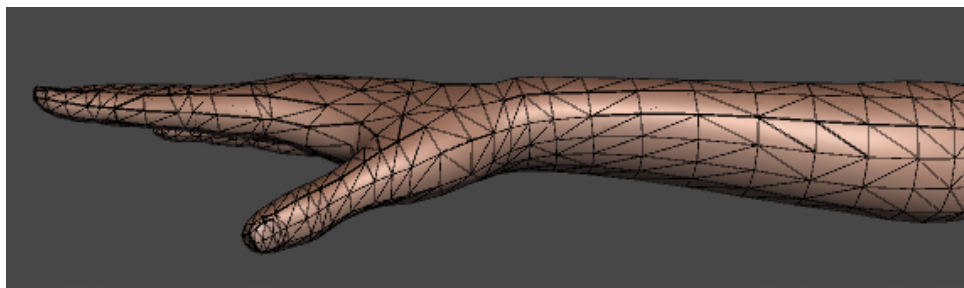
```
<?xml version="1.0" ?>
<swml version="1.0-d2" symbolset="SSS-1995">
  <generator>
    <name>SignWriter</name>
    <version>4.3</version>
  </generator>
  <sw_text>
    <sw_text_defaults>
      <sign_boxes>
        <unit> pt </unit>
        <height> 60 </height>
      </sign_boxes>
      <text_boxes>
        <box_type> graphic_box </box_type>
        <unit> pt </unit>
        <height> 60 </height>
      </text_boxes>
    </sw_text_defaults>
    <new_line/>
    <sign_box>
      <!-- the B hand -->
      <symbol x="8" y="13">
        <shape number="21" fill="1" variation="1" />
        <transform flop="0" rotation="0" />
      </symbol>
      <symbol x="7" y="25">
        <!-- the movement -->
        <shape number="108" fill="0" variation="1" />
        <transform flop="1" rotation="4" />
      </symbol>
    </sign_box>
  </sw_text>
</swml>
```

Fonte: [Costa e Dimuro \(2001, p. 8\)](#).

hierárquica rígida, *morph targets* e *skinning*.

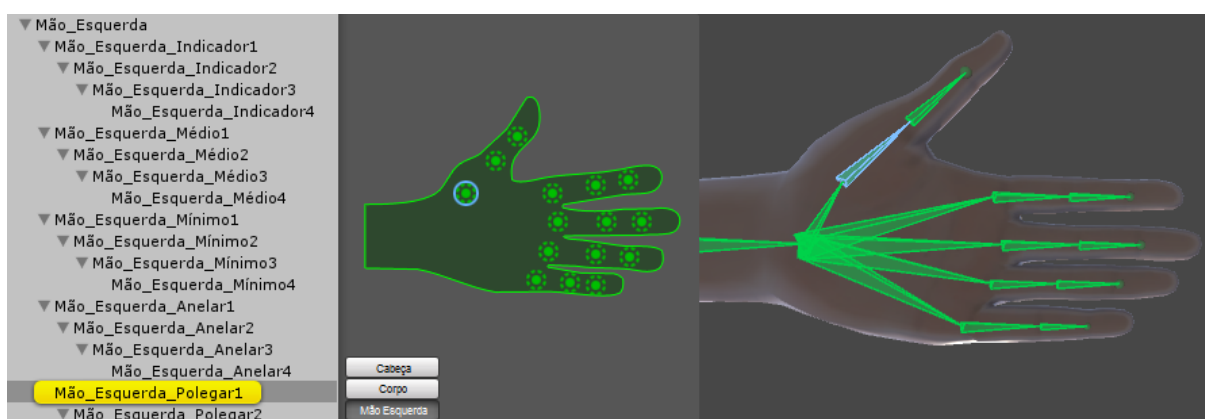
Este projeto utilizou o método de animação *skinning*. Nesse método, um esqueleto é construído a partir de “ossos” rígidos, que ficam ocultos sob a “pele” do personagem 3D. A pele do personagem é constituída por uma malha de vários triângulos (8), sendo ligada às articulações do esqueleto. Por exemplo, o osso “antebraço” estaria associado com os vértices que compõem os polígonos no antebraço do modelo. Para a animação do personagem foi feito o *rigging* (2.3.1) e para otimização dos cálculos para a realização dos movimentos foi utilizado o método de cinemática inversa (2.3.2).

Figura 8 – Malha de triângulos que compõem a pele do avatar.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 9 – Ossos e juntas que compõem a mão de um avatar.



Fonte: Elaborada pelo autor.

2.3.1 Rigging

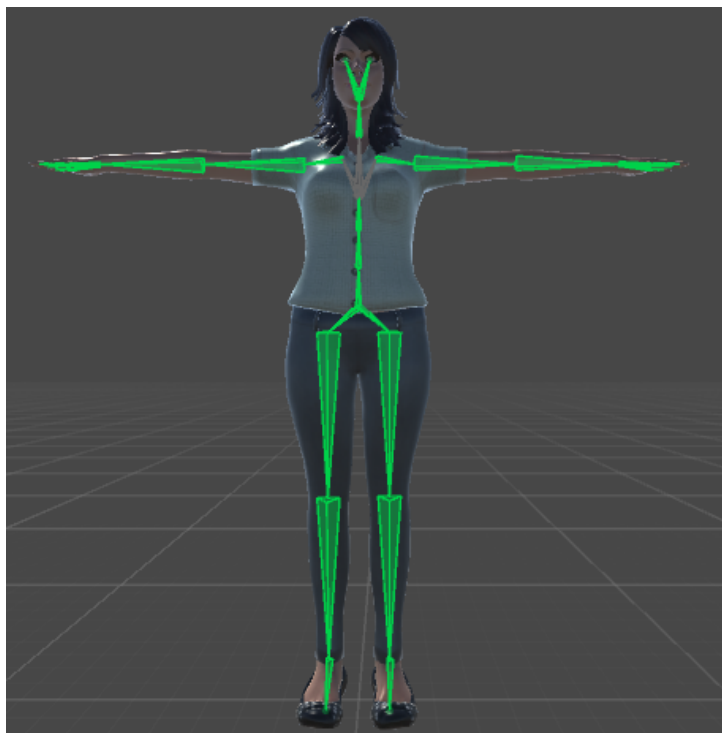
Rigging é o processo de definir uma série de controles a um personagem para que o mesmo fique fácil de animar. Quanto mais bem feito o *rigging* melhor será a animação do personagem (ORVALHO; ZACUR; SUSIN, 2008).

Para fazer o *rigging*, cria-se um esqueleto correspondente à anatomia do personagem, com ossos e juntas, atrelando-os à pele para definir como as rotações e translações das juntas vão interferir no modelo durante a animação (LE; DENG, 2014). Nesse processo cada osso é distribuído em uma hierarquia e recebe um nome, como visto na 9 para facilitar a localização de um osso específico ou conjunto de osso quando forem aplicadas transformações e rotações.

Na 10 pode-se ver como ficaria um personagem após o *rigging* e na 11 pode-se ver como os ossos ficariam quando a mão fechasse.

Existem várias formas de fazer o *rigging* de cada parte do corpo, algumas são mais difíceis e outras mais fáceis, sendo o tipo de *rigging* escolhido de acordo com o tipo de movimento

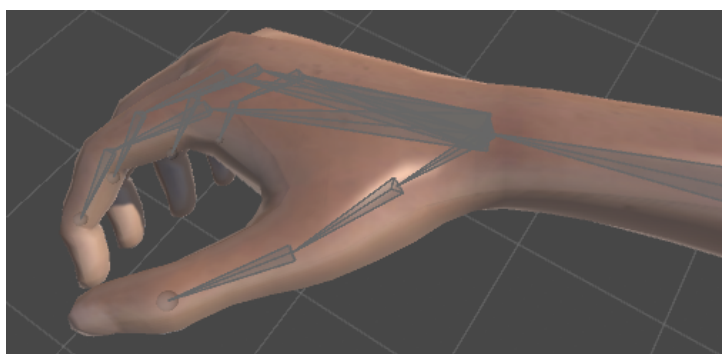
Figura 10 – *Rigging* de um avatar.



Fonte: Elaborada pelo autor.

que deseja-se aplicar ao personagem a ser criado.

Figura 11 – Hierarquia dos ossos e juntas que compõem a mão de um avatar.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Uma boa analogia com o processo de *rigging* é a criação de uma marionete, onde cada pedaço de madeira é conectado a outro formando membros e partes do corpo, sendo que os fios conectados aos vários pedaços de madeira dão movimento à marionete.

2.3.2 Cinemática Inversa

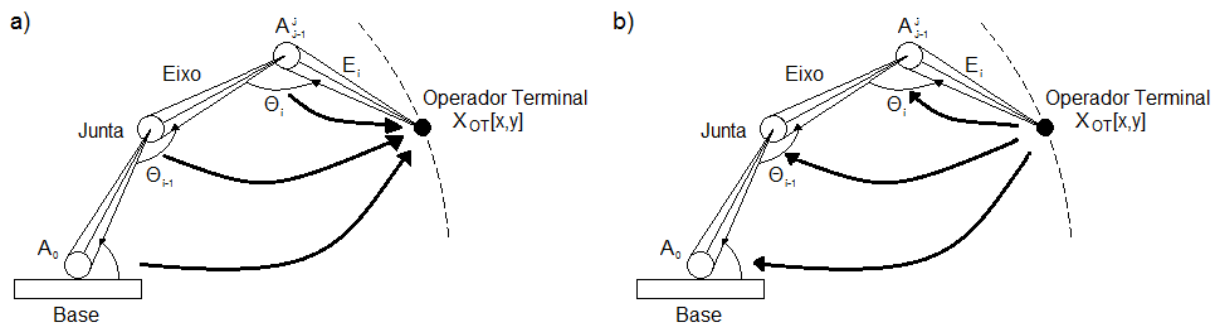
Segundo [Berka \(2002\)](#), cinemática na animação computacional é dividida em:

- Cinemática Direta: manipula a estrutura modificando os ângulos das suas juntas, como visto na 12a.
- Cinemática Inversa: manipula diretamente operador terminal da estrutura e os ângulos das juntas são modificados de acordo com o operador terminal, como visto na 12b.

Com a ajuda de algoritmos de cinemática inversa, o animador dá as coordenadas geométricas desejadas e deixa o algoritmo verificar quais juntas e os valores dos ângulos delas que serão necessários para um determinado ponto alvo.

Sendo assim, na Computação Gráfica, a cinemática inversa é uma forma de facilitar a criação de diversas animações de um personagem 3D. Como por exemplo, fazê-lo pegar um objeto à sua frente.

Figura 12 – Cinemática Direta e Cinemática Inversa.



Fonte: Berka (2002), traduzida pelo autor.

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

Neste capítulo são apresentados alguns dos principais trabalhos relacionados a este projeto e que contribuíram para o avanço do desenvolvimento de metodologias para a criação de agentes virtuais 3D (avatar) capazes de sinalizar termos em línguas de sinais. Nos últimos anos surgiram várias propostas de desenvolvimento de trabalhos nesta área, utilizando os mais diversos sistemas de transcrição e as mais diversas técnicas de computação gráfica. Desta forma, realizou-se um levantamento bibliográfico de diversos trabalhos, agrupando-os em dois conjuntos distintos, especificamente, um primeiro conjunto contendo trabalhos baseados no sistema de escrita de sinais SignWriting (3.1) e outro conjunto contendo os trabalhos baseados no sistema de escrita HamNoSys (3.2), sendo tais sistemas identificados como os principais sistemas descritos na literatura.

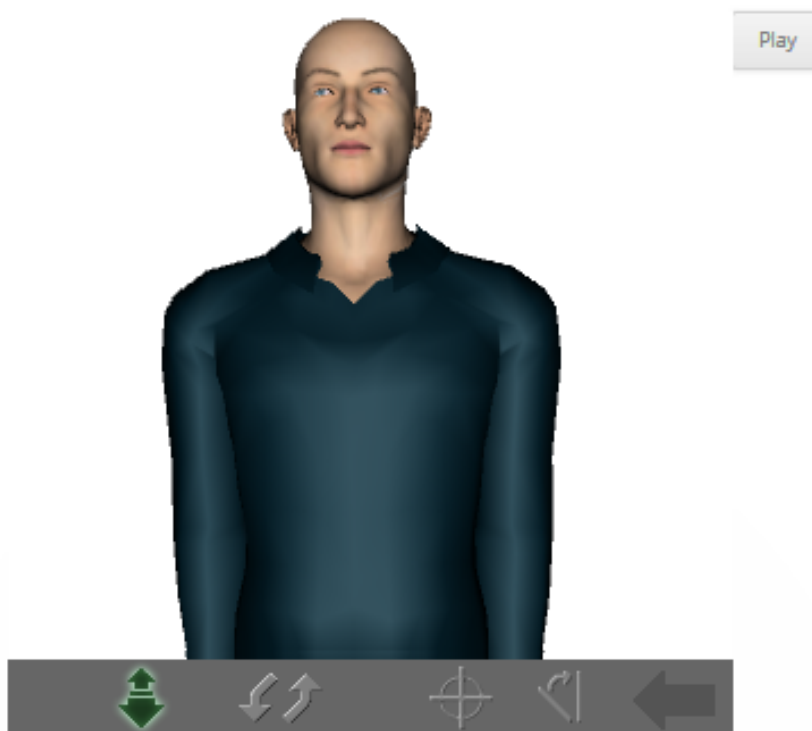
3.1 Trabalhos baseados no SignWriting

Nesta seção serão descritos os trabalhos baseados no sistema de transcrição SignWriting, sistema esse que, segundo [Bouzig e Jemni \(2014\)](#) e [Stumpf \(2005\)](#), é o sistema de transcrição de língua de sinais mais utilizado em todo o mundo.

O trabalho desenvolvido por [Bouzig e Jemni \(2014\)](#), de todos os selecionados, é o que mais se aproxima do que é proposto por este trabalho. Nele é desenvolvido um sistema baseado em um avatar (13) que sinaliza termos de línguas de sinais a partir do sistema SignWriting. A arquitetura do sistema desenvolvido foi dividida em três partes. A primeira é dedicada a analisar e processar as notações SignWriting que são fornecidos em um SWML. A segunda parte é dedicada a fornecer uma representação linguística para cada notação, a fim de especificar como sinais correspondentes são sinalizados. A terceira parte é dedicada em converter as representações linguísticas obtidas para SML (*Sign Modeling Language*) para a renderização de animações do avatar. O sistema foi testado com mais de 1200 termos em SignWriting, a partir de diferentes línguas de sinais (Língua Tunisiana de Sinais, Língua Francesa de Sinais, Língua Brasileira de Sinais, Língua Americana de Sinais

e Língua Egípcia de Sinais). Foi criado também uma sistema Web onde o usuário pode pesquisar um termo, para o avatar sinalizar, podendo avaliar quão boa foi a sinalização. O sistema desenvolvido funciona somente na web, necessita de um *plugin* para funcionar e não pode ser executado em todos os principais navegadores.

Figura 13 – Avatar desenvolvido por Bouzid e Jemni (2014).

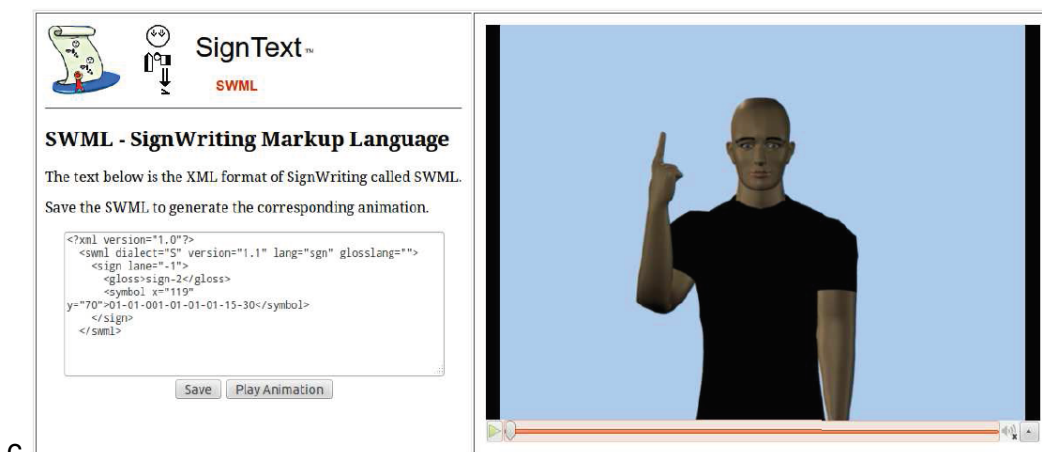


Fonte: [tuniSigner \(2014\)](#).

A Universidade do Cabo Ocidental (UWC) vem desenvolvendo um projeto para a Língua Sul-africana de Sinais (SASL) e possui 3 importantes dissertações de mestrado publicadas, ([WYK, 2008](#); [MOEMEDI, 2010](#); [ABRAHAMS, 2015](#)). No trabalho de [Wyk \(2008\)](#), foi desenvolvido um *framework* aberto usando vários padrões e tecnologias abertas para modelar e animar um avatar com qualidade adequada para visualização de línguas de sinais, além de fazer adaptações e extensões ao padrão de modelagem de humanoides H-Anim¹ para melhorar as configurações não manuais e definir limites de rotação dos membros do avatar. No trabalho de [Moemedi \(2010\)](#), foi desenvolvida uma aplicação que lê a codificação em SignWriting de um termo em SASL e o transforma em dados geométricos para a execução do avatar, mas o sistema não foi projetado para interpretar termos com SignWriting complexos. Por isso, [Abrahams \(2015\)](#) aperfeiçoou o sistema em seu trabalho (14). Mesmo representando configurações não manuais, esse projeto não é multiplataforma, o que dificulta sua utilização no dia a dia das pessoas.

¹ *Humanoid Animation* (H-Anim): padrão para a modelagem e animação de humanoides.

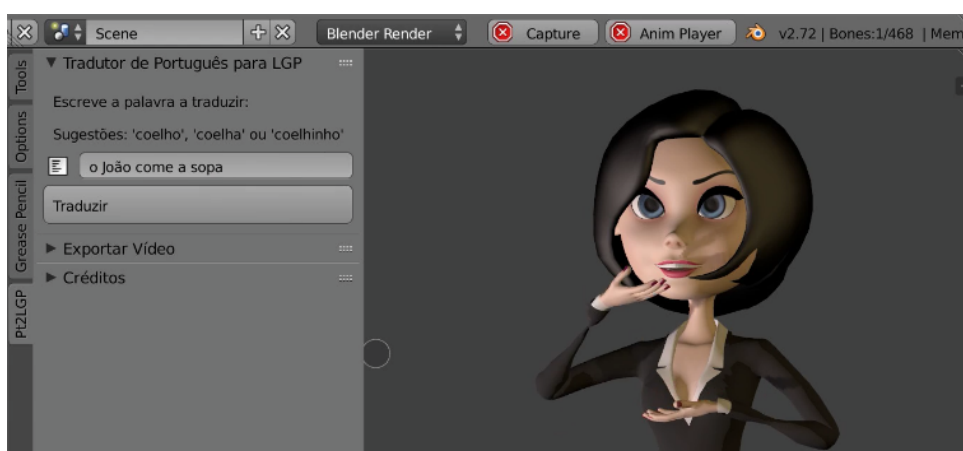
Figura 14 – Sistema para a SASL.



Fonte: [Abrahams \(2015\)](#).

[Almeida \(2014\)](#) propôs um sistema capaz de sinalizar, em Língua Gestual Portuguesa (LGP), de forma fluida palavras isoladas ou frases completas em português, utilizando qualquer notação de escrita de sinais. Para isso o sistema processa o texto inserido por um usuário, identificando os termos que compõem o que foi lido na entrada e escolhendo as notações de escrita de sinais que melhor representam os termos processados. Após o processamento, o avatar sinaliza o que foi digitado pelo usuário (15). Neste sistema, usuários são capazes de inserir um novo termo sem qualquer conhecimento técnico. Além disso, o sistema é multiplataforma. Para comprovar a eficácia do sistema foi desenvolvido um protótipo e foram realizados testes, junto à comunidade surda. Os resultados são baseados em um protótipo que ainda não representa configurações não manuais, não sendo possível verificar se conseguirão obter sucesso no que propõem.

Figura 15 – Sistema de sinalização em LGP.

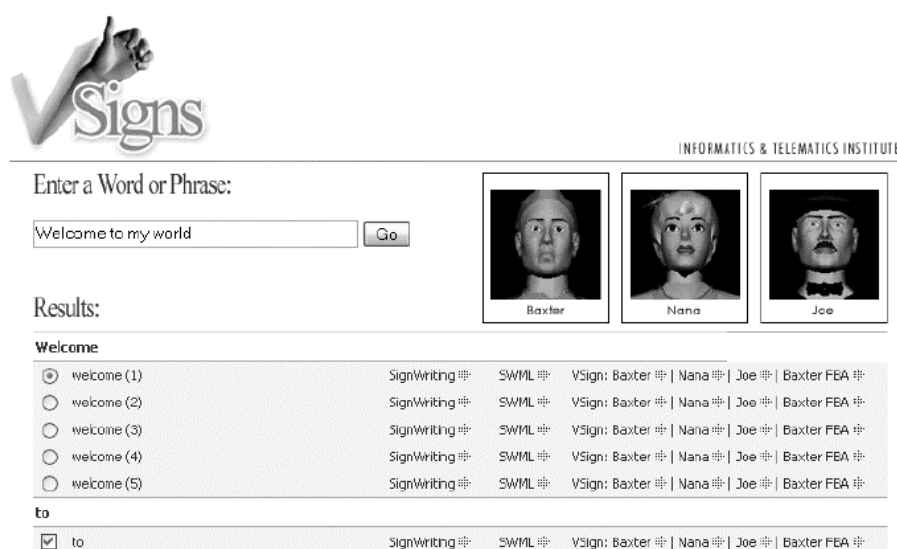


Fonte: [Almeida \(2014\)](#).

VSigns é um sistema proposto por [Papadogiorgaki et al. \(2004\)](#), onde foi desenvolvida

uma ferramenta web para a sinalização de termos utilizando o sistema SignWriting por meio de um avatar baseado em H-Anim. Os autores utilizaram um dicionário pré-existente com 3200 sinais codificados em um arquivo SWML. Os sinais contidos no SWML foram processados e inseridos em uma base de dados. O usuário pode entrar com uma ou mais palavras e, se encontrado mais de um resultado, o sistema exibe todas as possíveis representações, cabendo ao usuário escolher uma delas (16). Caso não seja encontrado nenhum resultado para a busca, será feita a datilologia. O sistema não é capaz de identificar todas as configurações manuais e não manuais, além de não estar mais *online* e nenhum teste ter sido relatado para avaliar o sistema.

Figura 16 – Sistema VSigns.



Fonte: [Papadogiorgaki et al. \(2004\)](#).

3.2 Trabalhos baseados no HamNoSys

Nesta seção serão descritos os trabalhos baseados no sistema de transcrição HamNoSys, sendo, os dois primeiros, ViSiCAST e eSIGN, precursores dos trabalhos que vieram a utilizar tal sistema de transcrição. Já o último trabalho é exemplo de sistema que utiliza as técnicas desenvolvidas no ViSiCAST e eSIGN.

ViSiCAST é um importante projeto financiado pela União Europeia, com o objetivo de proporcionar melhor acesso a serviços e facilidades para cidadãos surdos por meio de línguas de sinais, utilizando um avatar ([VISICAST, 2002](#)). Nesse projeto foi desenvolvida a SiGML, uma notação XML baseada em HamNoSys, que pode ser usada para conduzir a sinalização de termos por um avatar. Além disso, no projeto foram desenvolvidos 3 avatares, Simon, Tessa (17) e Visia, que sinalizavam termos da Língua Britânica de Sinais (BSL), Língua Holandesa de Sinais (NGT) e na Língua Germânica de Sinais (DGS), respectivamente ([ELLIOTT et al., 2000](#)). Não foram implementadas configurações não manuais para o Visia, mesmo o

ViSiCAST dando suporte para isto, elas só foram implementadas no projeto eSIGN ([ESIGN](#), 2003).

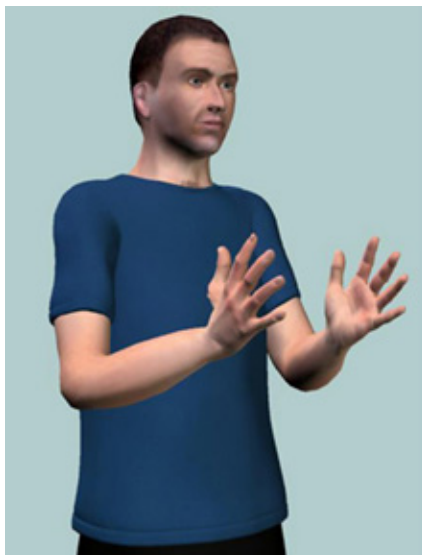
Figura 17 – Avatar Tessa.



Fonte: [ViSiCAST](#) (2002).

O projeto eSIGN usa um avatar, chamado Guido (18), para sinalizar sequências de línguas de sinais, dado um conjunto de descrições adequadas dessas sequências. Essas descrições são expressas em SiGML, a notação para a assinatura de avatares que foi desenvolvida no projeto ViSiCAST.

Figura 18 – Avatar Guido.

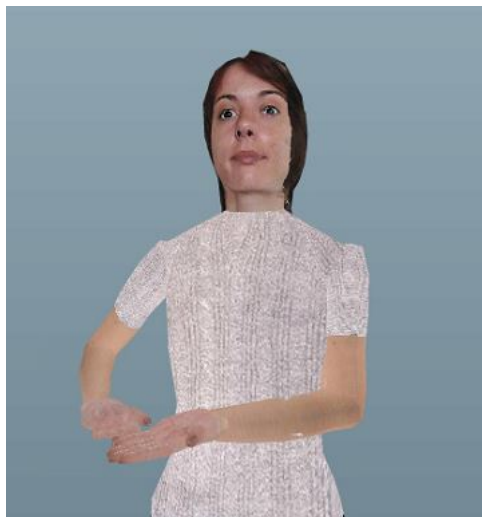


Fonte: [eSIGN](#) (2003).

Ambos os trabalhos, ViSiCAST e eSIGN, foram precursores dos sistemas que utilizam a notação HamNoSys, pois possibilitaram o desenvolvimento do SiGML. Atualmente não se encontra mais atualizações para esses projetos, sendo a última atualização em 2004.

Krnoul (2011) propõe um sistema baseado em HamNoSys, utilizando a codificação SiGML, para a sinalização de termos na Língua de Sinais Checa (CZJ), incluindo configurações manuais e não manuais, por meio de um avatar (19). Mas, até então, no site do sistema só é encontrado um protótipo que utiliza somente configurações manuais.

Figura 19 – Avatar desenvolvido por Krnoul (2011).



Fonte: Pilsen (2009).

3.3 Discussão

Apesar de existirem trabalhos relacionados, o trabalho proposto se diferencia dos trabalhos encontrados na literatura por utilizar tecnologias mais atuais como, por exemplo, o motor de jogos Unity e o programa Mixamo. Mesmo tendo como objetivo inicial o processamento de termos em Libras, o sistema suporta qualquer língua de sinal, pois é projetado para processar os termos cadastrados, podendo futuramente interpretar sinais codificados em SWML, padrão este utilizado pela maior base de dados de termos codificados em SignWriting, que é o SignPuddle. Além disso, o sistema é multiplataforma, facilitando sua utilização no dia a dia dos surdos.

O principal foco deste trabalho consiste em dar suporte à criação de glossários terminológicos, além de utilizar as tecnologias atuais mais eficazes e as mais utilizadas atualmente na computação gráfica e no desenvolvimento de personagens 3D animados (2) para a criação de um sistema multiplataforma baseado em avatar.

Este trabalho faz parte de um projeto maior (SOUZA; LIMA; PÁDUA, 2014) que tem como objetivo a criação de glossários terminológicos em Libras, cujo avatar desenvolvido sinalizará os termos dos glossários criados.

Capítulo 4

Metodologia

Este capítulo descreve a metodologia empregada para o desenvolvimento do sistema computacional proposto para sinalização virtual de termos em Libras, baseado na utilização de um agente virtual 3D (avatar).

O sistema proposto é composto por 2 módulos:

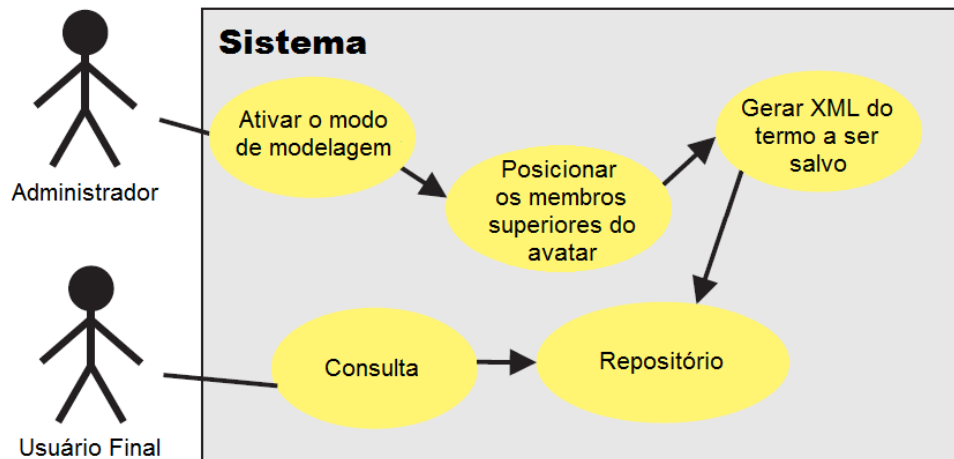
- **Módulo de Interação:** Neste módulo, o usuário final do sistema realiza a busca de um termo salvo e o avatar sinaliza o termo buscado.
- **Módulo de Administração:** Neste módulo, o administrador do sistema cadastra um novo termo e suas configurações de mão, sendo salvo em um arquivo XML os dados necessários para o avatar sinalizar um termo buscado.

A 20 apresenta um diagrama de caso de uso em UML que sintetiza as principais funções e atores envolvidos no sistema. Nota-se, a partir da 20, que há dois tipos de usuários básicos, quais sejam: o usuário caracterizado como “Administrador” e o usuário caracterizado como “Usuário Final”.

O usuário “Administrador” do sistema, não precisa ser necessariamente alguém da área de computação, sendo responsável por inserir termos que poderão ser buscados pelo usuário do sistema. Como pode ser visto na 20, o “Administrador”, para adicionar o sinal de um termo ao sistema, deve iniciar o módulo de modelagem de sinais, “*posicionar os membros superiores do avatar*” e “*gerar XML do termo a ser salvo*”. Os arquivos XML são responsáveis por conter as informações a serem interpretadas pelo avatar.

Por outro lado, o chamado usuário “Usuário Final” do sistema, como por exemplo surdos, intérpretes ou pessoas que estejam estudando Libras, e queiram consultar um termo cadastrado, inicia o módulo de busca de termos, para que possa ser feita a “*consulta*” de um termo cadastrado e visualizar a sinalização do mesmo.

Figura 20 – Diagrama de caso de uso que representa o sistema desenvolvido.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1 Sistema Computacional

O sistema desenvolvido neste trabalho tem o objetivo de disponibilizar, por meio de um avatar, a sinalização de um termo em Libras, servindo como alternativa à visualização da sinalização dos termos por meio de vídeos e ilustrações.

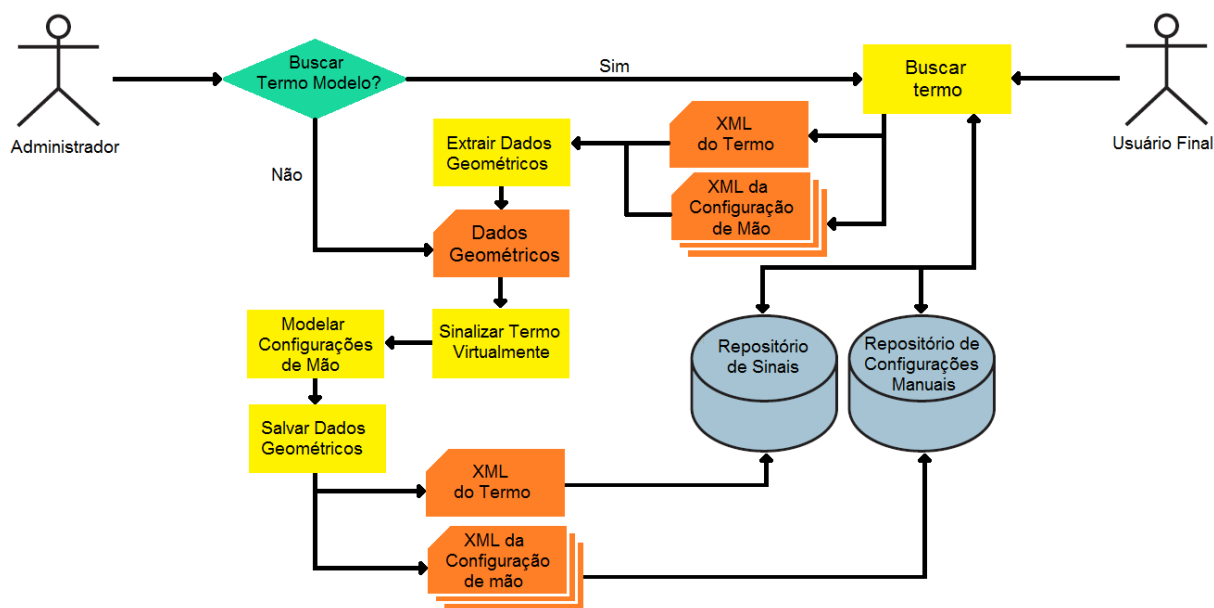
A criação de vídeos com a sinalização de termos é muito dispendiosa, pois necessita de bons equipamentos, pessoas treinadas e boa estrutura física para a gravação do mesmo. Como discutido nos capítulos anteriores, o sistema facilita a propagação de sinais criados, pois basta salvar o termo no sistema, para que o mesmo seja disponibilizado a um baixo custo computacional e financeiro às pessoas que utilizam o sistema.

Para uma melhor compreensão, a 21 exibe uma visão geral do funcionamento do sistema desenvolvido.

O sistema desenvolvido é dividido em dois módulos, sendo eles o Módulo de Administração e o Módulo de Interação. Todas as funções básicas contidas no Módulo de Interação (22) também estão contidas no Módulo de Administração. O Módulo de Administração pode realizar todas as funções exibidas na 21, sendo a parte do sistema responsável para a criação dos termos salvos. Para isso, o administrador busca um termo, já cadastrado, que se assemelha ao termo a ser modelado. Caso o administrador não tenha buscado um termo como modelo, o sistema inicia o avatar com uma posição padrão. O administrador posiciona os membros superiores do avatar da forma na qual ele deve estar para a sinalização dos termos. Após posicionar o avatar, o administrador captura as posições e as rotações das juntas dos membros¹. Os dados capturados são armazenados em arquivos XML. A 4.1.1 explica detalhadamente o que foi desenvolvido neste módulo.

¹As juntas do avatar capturadas são as dos punhos e de cada falange dos dedos.

Figura 21 – Visão geral do módulo desenvolvido para os administradores.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O Módulo de Interação é a parte do sistema responsável por sinalizar ao usuário final os termos salvos. Para isso, o usuário final busca um termo, já cadastrado, e inicia a sinalização do sinal pelo avatar. Esse módulo permite alterar a velocidade dos movimentos do avatar e escolher diferentes pontos de vista. Além disso, esse módulo permite pausar a sinalização do termo, para que o usuário final possa visualizar os detalhes das configurações de mão. A 22 exibe uma visão geral do funcionamento do módulo desenvolvido para os usuários do sistema.

4.1.1 Módulo de Administração

Este módulo é responsável pela criação dos termos a serem salvos no sistema. Este módulo tem como resultado arquivos XML que representam o termo a ser criado, sendo eles:

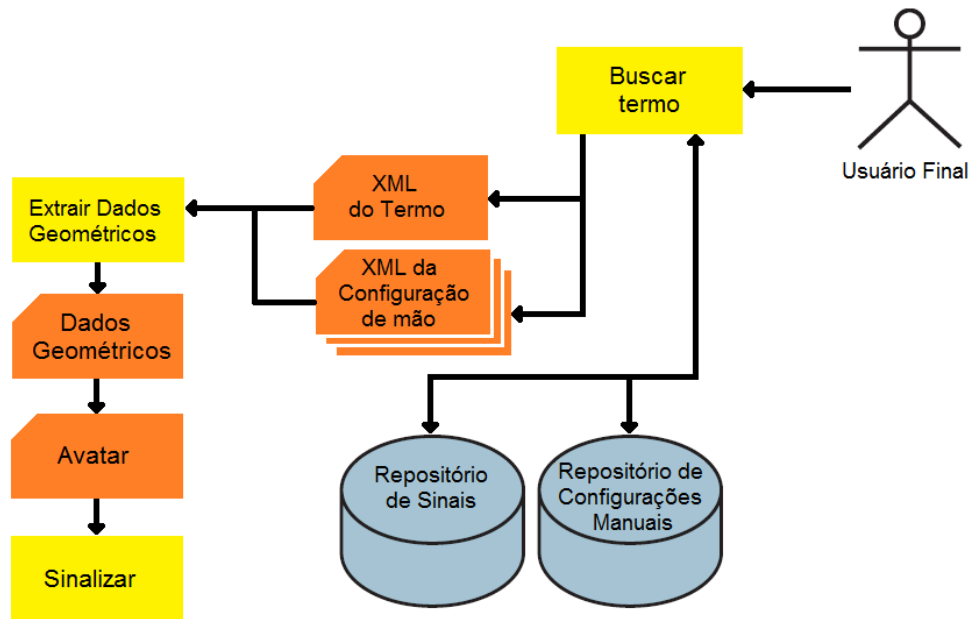
- Arquivo XML do termo salvo;
- Arquivos XML das configurações de mão utilizadas na sinalização do termo salvo.

Para melhor explicação de como são os arquivos XML gerados pelo módulo para administradores, na 4.1.1.1 será discutido como são formados estes arquivos.

4.1.1.1 Arquivos XML dos termos salvos

Para a parametrização do avatar foi necessário desenvolver uma estrutura XML que facilitasse a leitura dos dados geométricos a serem interpretados pelo avatar. A 23 mostra a composição do termo “banheira”, composto por duas configurações manuais, sendo o

Figura 22 – Visão geral do módulo desenvolvido para os usuários.



Fonte: Elaborada pelo autor.

ISWA delas: “01-05-034-01-05-09” e “01-02-011-01-06-01”. Um termo salvo no sistema proposto será composto somente por configurações manuais, pois o avatar desenvolvido não interpreta configurações não manuais. As configurações de mão e seus códigos ISWA são utilizados como descrito no SWML do termo salvo no SignPuddle.

Tendo definida a composição de um termo, pode-se gerar um arquivo XML com a estrutura da 24. De acordo com o definido no XML, uma sentença pode conter várias palavras e uma palavra pode conter várias configurações de mão.

Com um arquivo XML igual ao da 24, o avatar desenvolvido consegue interpretar como ficará cada uma das mãos, a cada configuração de mão.

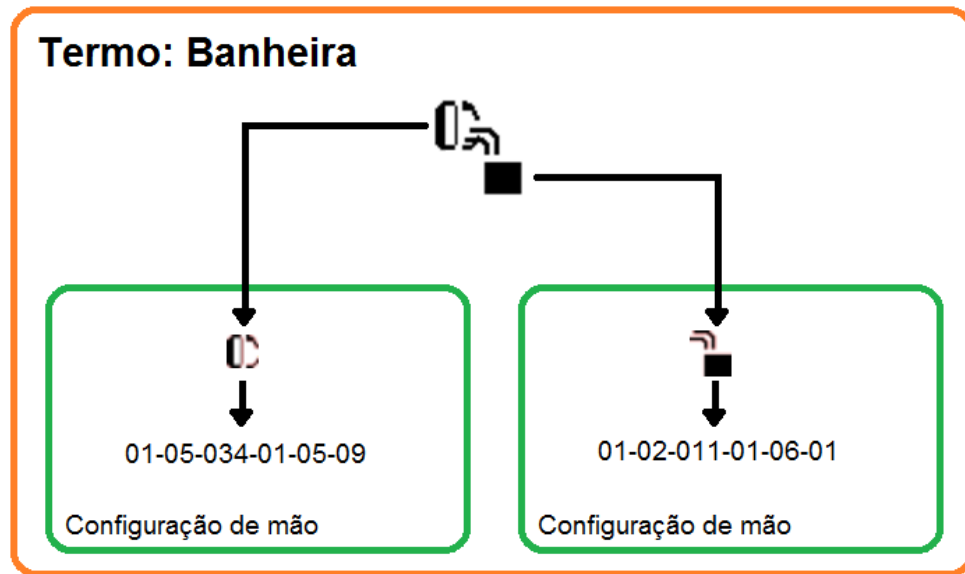
Através do dado `hand_configuration` no arquivo XML é possível saber:

- Qual a configuração manual será usada: definida pelo atributo `id`.
- Em qual mão fará tal configuração de mão: definida pelo atributo `hand`.
- Em qual ordem serão executadas as configurações de mão: a ordem é definida pela parte inteira do atributo `time` e a velocidade é definida pela parte real do atributo `time`.

Por meio dos elementos internos de `hand_configuration` (`position` e `rotation`) é possível saber qual transformação geométrica² será aplicada à mão do avatar. Somente a transformação a ser aplicada à mão do avatar é necessária ser conhecida, para que se

²As transformações geométricas aplicadas nas juntas do avatar desenvolvido são: rotação e translação.

Figura 23 – Composição do termo banheira.



Fonte: Elaborada pelo autor.

possa calcular as posições de todo o braço do avatar, pois as transformações do ombro, do braço e do antebraço são calculadas por cinemática inversa através da transformação aplicada no punho da mão.

Figura 24 – Arquivo XML do termo banheira.

```
<Sentence>
  <word name="banheira">
    <hand_configuration id="01-05-034-01-05-09" hand="left" time="1.6">
      <position>
        <x>-0.04</x>
        <y>1.048</y>
        <z>0.321</z>
      </position>
      <rotation>
        <x>0</x>
        <y>0</y>
        <z>90</z>
      </rotation>
    </hand_configuration>
    <hand_configuration id="01-02-011-01-06-01" hand="right" time="1.6">
      <position>
        <x>-0.014</x>
        <y>1.1126</y>
        <z>0.29</z>
      </position>
      <rotation>
        <x>0</x>
        <y>0</y>
        <z>0</z>
      </rotation>
    </hand_configuration>
  </word>
</Sentence>
```

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a sinalização de um termo, faltam somente as definições de uma configuração de mão, o que é definido pelo arquivo XML contendo as informações necessárias para cada dedo de uma mão. Assim como é feito com o braço, as transformações feitas nas falanges de dedo são calculadas, por cinemática inversa, por meio da transformação aplicada na falange distal de cada dedo. Por exemplo, a 25 representa os dados necessários para o avatar interpretar as informações geométricas para cada dedo da mão. A 26 exibe a transformação a ser aplicada ao dedo polegar.

Figura 25 – Arquivo XML da configuração de mão 01-05-034-01-05-09.

```
<hand_configuration id="01-05-034-01-05-09">
  <joint name="thumb_target">
    <position>
      <x>0.0313</x>
      <y>0.0849</y>
      <z>0.081</z>
    </position>
  </joint>
  <joint name="index_target">
    <position>
      <x>0.0277</x>
      <y>0.1354</y>
      <z>0.0626</z>
    </position>
  </joint>
  <joint name="middle_target">
    <position>
      <x>0.0126</x>
      <y>0.1339</y>
      <z>0.0678</z>
    </position>
  </joint>
  <joint name="ring_target">
    <position>
      <x>-0.0029</x>
      <y>0.1338</y>
      <z>0.0652</z>
    </position>
  </joint>
  <joint name="pinky_target">
    <position>
      <x>-0.018</x>
      <y>0.1328</y>
      <z>0.054</z>
    </position>
  </joint>
</hand_configuration>
```

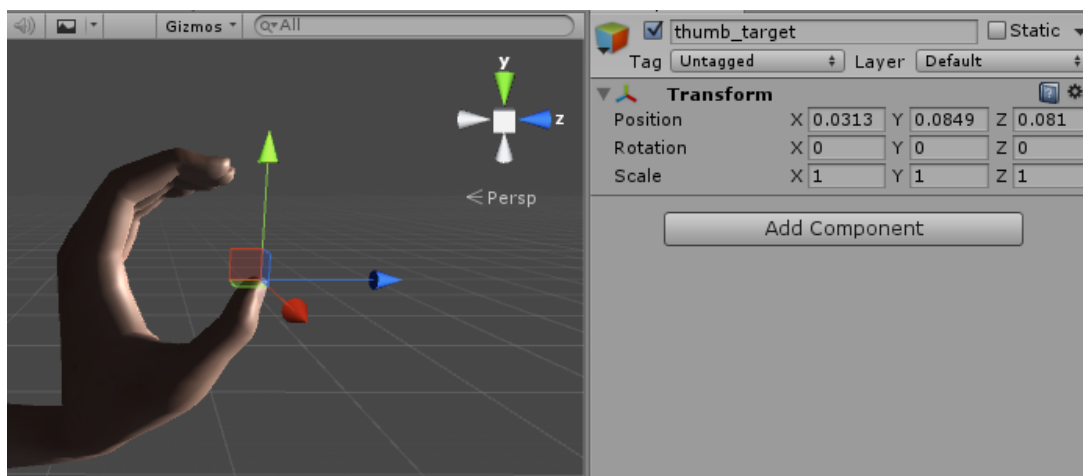
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.2 Módulo de Interação

Este módulo é responsável pela exibição dos termos em Libras ao usuário final, permitindo:

- Reproduzir um sinal;
- Pausar a sinalização de um termo;
- Alterar a velocidade de sinalização de um termo;
- Visualizar a sinalização de um termo em ângulos diferentes.

Figura 26 – Transformação do dedo polegar.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A 27 exibe a interface do Módulo de Interação desenvolvido, contendo suas principais funcionalidades.

Quando um termo é buscado, o seu arquivo XML é carregado e os dados geométricos contidos nesse arquivo são salvos nas variáveis utilizadas no cálculo da cinemática inversa.

Apesar de também ser utilizado no Módulo de Administradores, é no Módulo de Interação que o cálculo de cinemática inversa é mais importante. Se o método utilizado não for bom, as posições finais do avatar não ficarão naturais.

Para gerar movimentos mais naturais, foi feita a interpolação dos pontos entre a posição inicial do avatar e a posição alvo de um sinal. Para melhor entendimento do método desenvolvido, na 4.1.2.1 será feita uma explicação mais detalhada.

4.1.2.1 Cálculo da cinemática inversa e interpolação

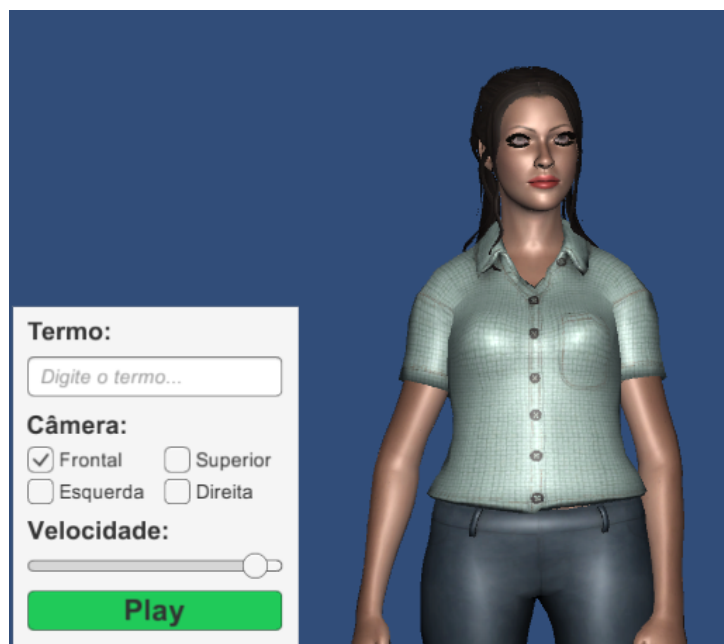
O cálculo da cinemática inversa e da interpolação são partes fundamentais para a sinalização dos termos. Sem esses cálculos, o desenvolvimento do avatar seria muito trabalhoso.

Para o movimento dos membros superiores³ do avatar foram aplicados dois métodos de cinemática inversa:

- Método de cinemática nativo do motor de jogos *Unity*, contido no sistema de animação *Mecanim*: responsável pelo cálculo da cinemática inversa do ombro até o punho do Avatar.

³Os membros superiores são: ombro, braço, antebraço, punho e mão.

Figura 27 – Visualização da interface do Módulo de Interação do sistema desenvolvido.



Fonte: Elaborada pelo autor.

- FABRIK, método de cinemática disponível na biblioteca *FinalIK*⁴: responsável pelo cálculo da cinemática inversa dos dedos do Avatar.

Para integrar os métodos citados acima com o modelo, foram modificados os parâmetros passados para eles, sendo os pontos objetivos de cada método a interpolação do ponto inicial e o desejado. A interpolação dos pontos foi necessária para que a transição de um ponto a outro fosse fluída.

No sistema desenvolvido, o método de cinemática inversa contido no sistema de animação Mecanim é responsável pelo cálculo de todas as transformações a serem realizadas nas juntas do ombro, braço, antebraço e punho. Sendo que, para a realização destes cálculos, o punho é definido como operador terminal da estrutura.

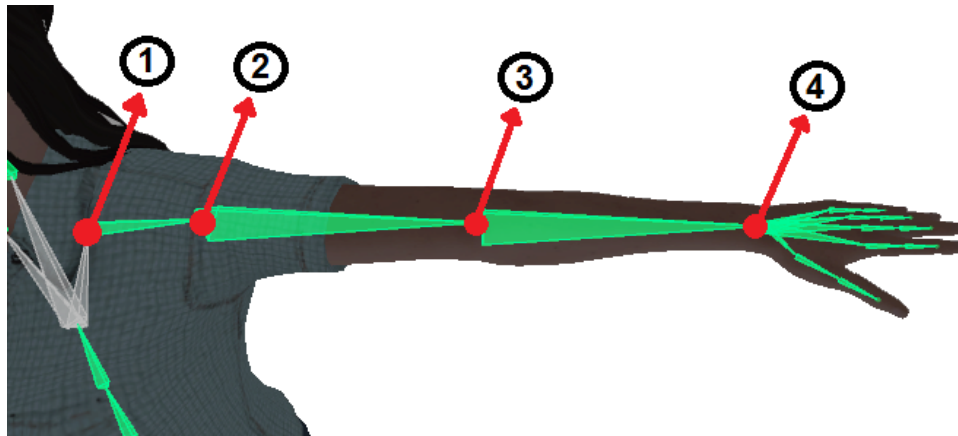
Na 28, pode-se ver:

- A junta do ombro, sinalizada com o número 1;
- A junta do braço, sinalizada com o número 2;
- A junta do antebraço, sinalizada com o número 3;
- A junta do punho, sinalizada com o número 4.

O método de cinemática inversa do Mecanim não dá suporte para os dedos da mão, sendo assim, foi necessário utilizar o método FABRIK. Esse método foi adicionado a cada dedo da

⁴Coleção de métodos para o cálculo de cinemática inversa proposta por [Aristidou e Lasenby \(2011\)](#) e desenvolvida por [Root-Motion \(2013\)](#)

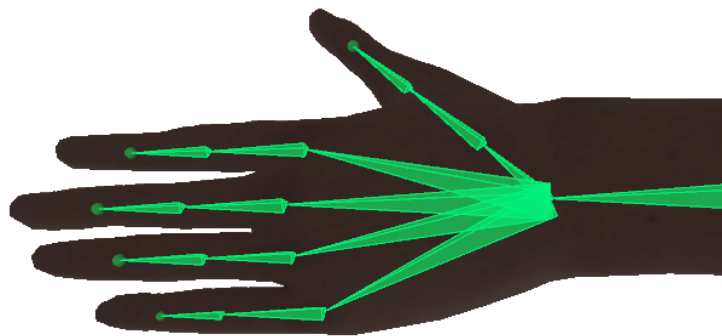
Figura 28 – Juntas do ombro, braço, antebraço e punho.



Fonte: Elaborada pelo autor.

mão (29), sendo as falanges distais definidas como operadores terminais.

Figura 29 – Juntas da mão esquerda do avatar.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Além de dar suporte ao cálculo de cinemática para as juntas dos dedos, o FABRIK também dá suporte a limites de rotação, permitindo adicioná-los às juntas dos dedos do avatar.

Somente o cálculo da cinemática inversa não é suficiente para realizar os movimentos do avatar, pois os métodos utilizados para realizar esse cálculo necessitam apenas das transformações finais (transformações alvo) das juntas utilizadas em cada método. Para realizar os movimentos do avatar de forma menos brusca, foi necessário criar transformações intermediárias à transformação inicial e à transformação final das juntas utilizadas no cálculo da cinemática inversa, interpolando as transformações através da função Lerp (UNITY, 2015) da Unity..

No próximo capítulo serão apresentados os resultados e discussões sobre os experimentos realizados neste projeto.

Capítulo 5

Resultados

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos a partir da execução dos experimentos realizados a fim de verificar se o avatar desenvolvido neste trabalho sinaliza de forma compreensível os termos em línguas de sinais, em específico a Libras.

Para a realização dos experimentos foram utilizados vinte termos da Libras, sendo dez termos do dicionário geral e dez termos pertencentes ao glossário de Desenho Arquitetônico desenvolvido no trabalho de [Lima \(2014\)](#). A 5.1 explica quais são os termos selecionados e como eles foram avaliados e na 5.2 é apresentada a avaliação do avatar e a discussão dos resultados.

5.1 Base de Dados

Para a realização dos experimentos foram codificados sinais seguindo os métodos propostos no 4. Foram selecionados 20 sinais, sendo, 10 sinais da Libras utilizados no trabalho de [Bouزيد e Jemni \(2014\)](#) e 10 sinais do dicionário terminológico da disciplina de Desenho Arquitetônico criados no trabalho de [Lima \(2014\)](#).

Os 10 termos da Libras utilizados no sistema tuniSigner, proposto por [Bouزيد e Jemni \(2014\)](#), e que também podem ser sinalizados pelo avatar criado por este projeto são:

1. Amarelo;
2. Baixo;
3. Desculpar-se;
4. Hoje;
5. Ideia;
6. Meu;
7. Passado;
8. Realeza;

9. Sentir;
10. Surdo.

O sistema tuniSigner foi escolhido como referência (em inglês, *baseline*) para o estabelecimento de comparações de desempenho com o sistema desenvolvido neste trabalho por conter um avatar que sinaliza termos em Libras utilizando técnicas semelhantes às que foram utilizadas pelo sistema proposto. Como mostrado na 3.1, o sistema tuniSigner sinaliza não só os termos em Libras, como também termos em outras línguas de sinais, sendo assim considerando uma referência relevante para a validação do sistema desenvolvido. A 30 mostra os dois avatares sinalizando o termo “desculpar-se” simultaneamente.

Por sua vez, os 10 sinais criados no trabalho [Lima \(2014\)](#) e que também podem ser sinalizados pelo avatar criado por este projeto são:

1. Antiderrapante;
2. Banheira;
3. CEFET-MG;
4. Coluna;
5. Degrau;
6. Escada em espiral;
7. Escalímetro;
8. Pé-direito;
9. Sala de TV;
10. Vaso sanitário.

Foram escolhidos 10 sinais propostos pelo trabalho de [Lima \(2014\)](#), os quais foram sinaliza-

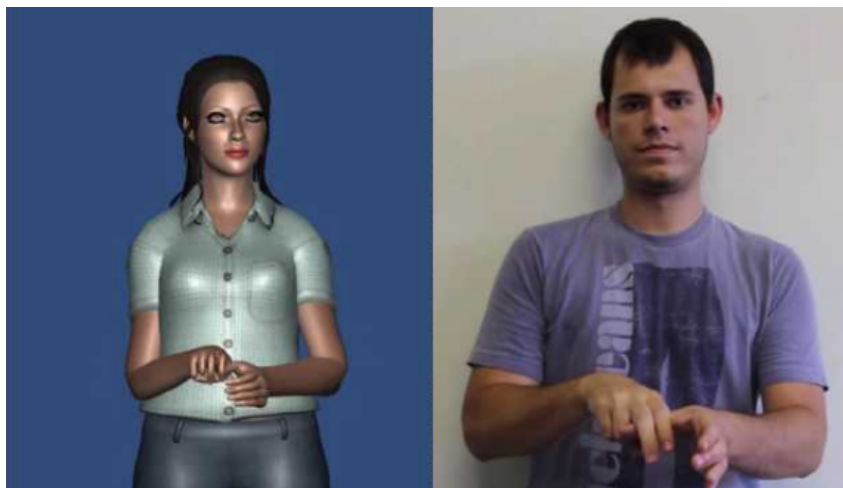
Figura 30 – A apresentação do termo em Libras “desculpar-se”, sendo o lado esquerdo o avatar proposto, e o lado direito o avatar do sistema tuniSigner.



Fonte: Elaborada pelo autor.

dos e registrados por um ator (pessoa) devidamente designada para este fim, pois, além deste trabalho fazer parte de um projeto mais amplo (SOUZA; LIMA; PÁDUA, 2014) que pretende criar sinais para termos pertencentes à dicionários terminológicos, espera-se que o avatar sinalize termos com movimentos tão semelhantes quanto possível aos realizados por uma pessoa. A 31 mostra o avatar e uma pessoa sinalizando o termo “banheira” .

Figura 31 – Sinalização do termo “banheira”, sendo o lado esquerdo o avatar proposto, e o lado direito o intérprete.



Fonte: Elaborada pelo autor.

5.2 Avaliação do Avatar Desenvolvido

Neste trabalho, foi utilizada a métrica DMOS (*Differential Mean Opinion Score*), detalhada no artigo de Sheikh, Sabir e Bovik (2006), para avaliar a qualidade da sinalização de termos por meio do avatar desenvolvido neste projeto. Para coletar os dados da avaliação dos termos sinalizados, foi elaborado um questionário que foi respondido por um grupo de nove usuários, que são surdos, professores de Libras ou intérpretes. A aplicação do questionário ocorreu por meio de uma plataforma disponibilizada na internet.

O questionário, contendo as perguntas exibidas no 2, foi dividido em 3 partes:

- 1ª parte: Identificação do entrevistado;
 - Nesta parte foram utilizadas as perguntas de 1 a 5;
 - As opções para a pergunta número 5 eram: iniciante, intermediário, avançado e fluente.
- 2ª parte: Obtenção de informações acerca da qualidade da sinalização dos termos pelo avatar desenvolvido e pelo avatar do sistema tuniSigner;
 - Para cada termo foram utilizadas as perguntas 6, 7, 8 e 9.

- 3ª parte: Obtenção de informações acerca da qualidade da sinalização dos termos pelo avatar desenvolvido e por uma pessoa.
 - Para cada termo foram utilizadas as perguntas 6, 7, 10 e 11.

Para responder as perguntas 6 a 11, o avaliador tinha que visualizar vídeos¹ com a sinalização dos termos, sendo que para as perguntas 7, 9 e 11 o avaliador tinha que selecionar uma nota de 1 a 5, sendo 1 para péssimo e 5 para excelente e para as perguntas 6, 8 e 10 o avaliador tinha que selecionar sim, se ele entendeu a sinalização, ou não, se ele não entendeu a sinalização. As perguntas presentes no questionário estão no 2.

Quadro 2 – Perguntas utilizadas no questionário para avaliar o avatar desenvolvido.

Número	Pergunta
1	Nome Completo
2	Idade
3	E-mail
4	Surdo?
5	Nível de conhecimento em Libras
6	Foi possível entender o termo sinalizado pelo Avatar 1?
7	Qual nota você dá para a sinalização do termo pelo Avatar 1?
8	Foi possível entender o termo sinalizado pelo Avatar 2?
9	Qual nota você dá para a sinalização do termo pelo Avatar 2?
10	Foi possível entender o termo sinalizado pelo intérprete?
11	Qual nota você dá para a sinalização do termo pelo intérprete?

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os dados obtidos por este trabalho foram coletados por uma plataforma de formulários eletrônica disponibilizada na Internet, no período de 16/05/2016 até 23/05/2016. Nove falantes de Libras responderam ao formulário de avaliação disponibilizado. Os gráficos da 32 descrevem o perfil das pessoas entrevistadas em relação à Libras.

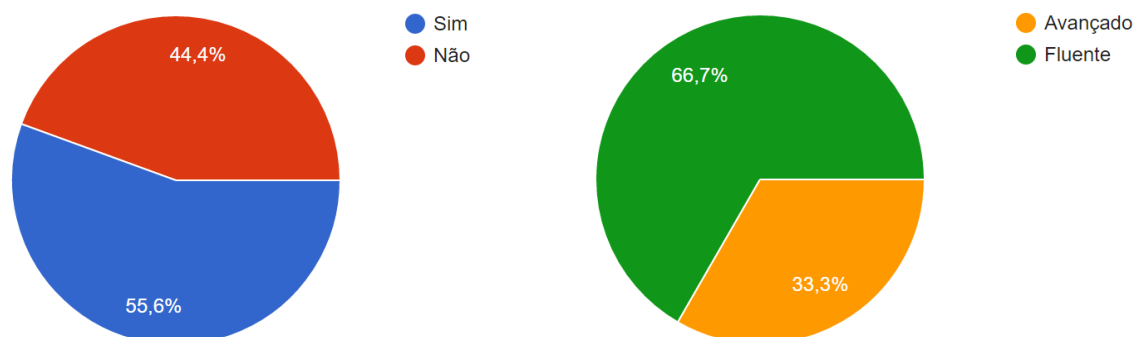
Como descrito na 5.1, a avaliação da sinalização dos termos aconteceu na segunda e na terceira parte do questionário, onde foram apresentados a cada avaliador 10 sinais da Libras utilizados no sistema tuniSigner (BOUZID; JEMNI, 2014) e 10 sinais do dicionário terminológico da disciplina de Desenho Arquitetônico criados no trabalho de Lima (2014). Na segunda parte do questionário, para cada termo, foi exibido um vídeo com o avatar desenvolvido neste trabalho sinalizando os termos e um outro vídeo onde, o sinal era executado pelo avatar do sistema tuniSigner. Na terceira parte do questionário, para cada termo, foi exibido um vídeo com o avatar desenvolvido sinalizando o termo e um outro vídeo onde o sinal era executado por um intérprete.

¹Foi criado um canal no site YouTube (Projeto Libras CEFET-MG, 2016) para armazenar os vídeos de cada sinalização.

Figura 32 – Descrição das pessoas que responderam ao questionário.

Surdo: (9 respostas)

Nível de conhecimento em Libras: (9 respostas)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após os avaliadores responderem o questionário, as respostas foram agrupadas e por meio delas foram gerados os gráficos utilizando a métrica DMOS.

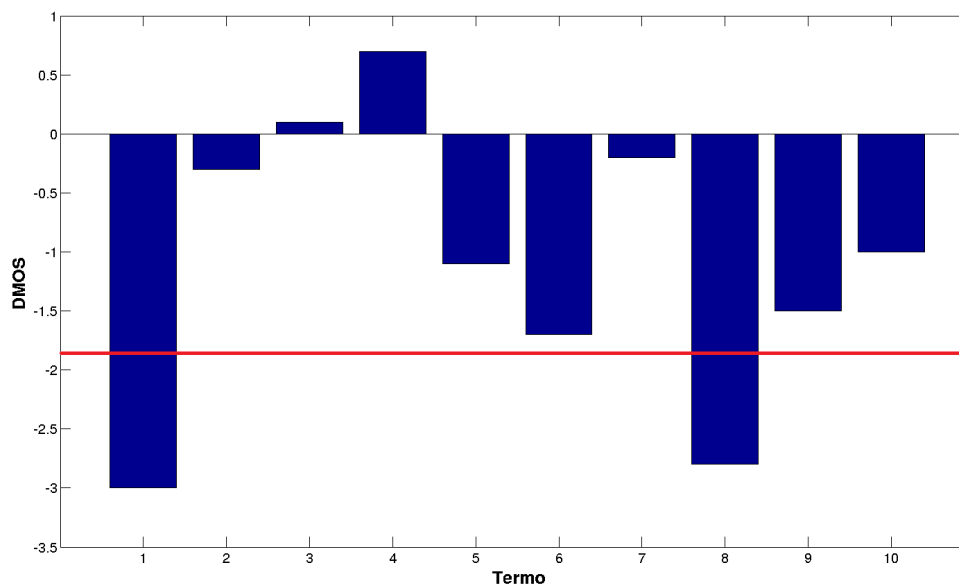
O gráfico apresentado pela 33 exibe o resultado da diferença da qualidade entre o avatar desenvolvido e o avatar do sistema tuniSigner dado pela métrica DMOS, obtida por meio da média das avaliações recebidas pelo avatar do tuniSigner sendo subtraída pela média das avaliações recebidas pelo avatar desenvolvido. Dos 10 termos apresentados por ambos os sistemas, 8 (80%) dos 10 termos sinalizados pelo avatar desenvolvido tendem a uma melhor aceitação pelos entrevistados, e em 2 (20%) dos sinais (no caso dos termos “amarelo” e “realidade”) obtiveram uma aceitação maior, considerando que a diferença apresentada foi superior a -2.

O gráfico da 34 mostra que os avaliadores julgam que a sinalização de todos os termos técnicos propostos por Lima (2014) foi melhor executada pelo intérprete do que pelo avatar desenvolvido neste projeto. Com isso, como esperado, pode-se afirmar que através das respostas dos avaliadores, a qualidade de sinalização dos termos por meio do intérprete é semelhante à sinalização dos termos pelo avatar desenvolvido neste projeto. Porque, apesar de possuir notas inferiores às do intérprete, as notas não foram muito distantes das notas obtidas pelo intérprete, sendo que para nenhum dos termos o DMOS foi maior do que um.

Dessa forma, os resultados obtidos sugerem que o avatar desenvolvido neste projeto é promissor, porque as avaliações de qualidade superam as avaliações recebidas pelo avatar do sistema tuniSigner e se assemelham-se às avaliações recebidas pelo intérprete.

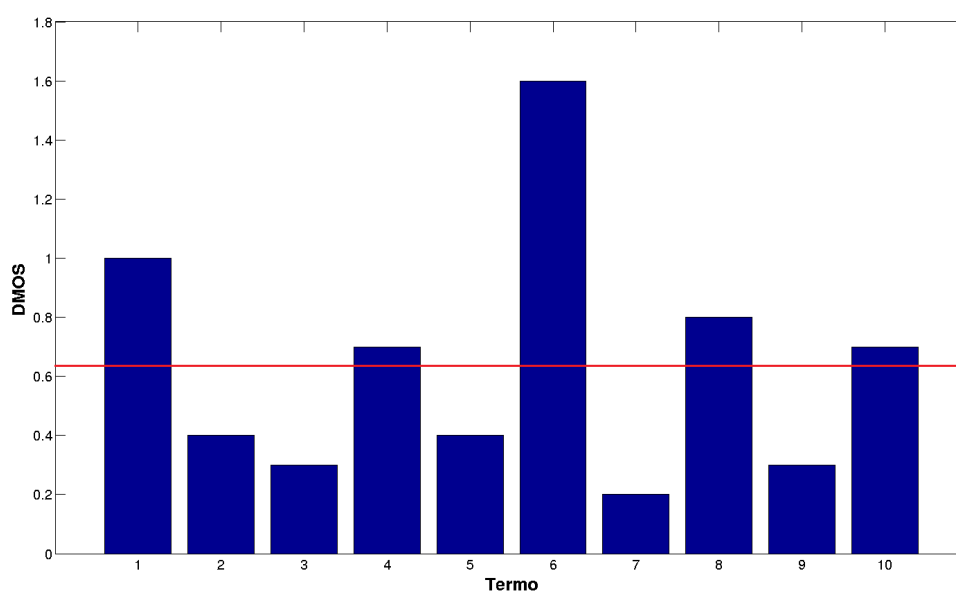
No próximo capítulo será apresentada a conclusão deste trabalho e os trabalhos futuros.

Figura 33 – Gráficos DMOS para as perguntas 7 e 9 utilizadas na segunda etapa da avaliação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 34 – Gráficos DMOS para as perguntas 7 e 11 utilizadas na segunda etapa da avaliação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Capítulo 6

Conclusão

Este trabalho apresenta o projeto e o desenvolvimento de um novo agente virtual (avatar) para sinalizar os termos de línguas de sinais, possibilitando ao usuário visualizar a sinalização em diversos ângulos e velocidades. O avatar desenvolvido é parte fundamental do projeto proposto por [Souza, Lima e Pádua \(2014\)](#), sendo a sua execução de extrema importância para as comunidades surdas e das instituições de ensino.

Foi feito o levantamento das técnicas para a criação de personagens 3D, tendo como resultado a modelagem do avatar, a implementação dos métodos de cinemática inversa e a parametrização do avatar, de modo que o mesmo pode ler os termos salvos no sistema e sinalizá-los.

Tem-se o conhecimento adquirido neste trabalho como o principal ganho, pois para iniciar este trabalho foi necessário realizar grande pesquisa bibliográfica. O conhecimento adquirido neste trabalho permite melhorar o projeto desenvolvido e auxiliar na criação do projeto proposto por [Souza, Lima e Pádua \(2014\)](#).

O principal resultado deste trabalho é a criação do avatar. Sendo que, como mostrado no 5, o avatar pode sinalizar os termos de forma semelhante a uma pessoa, cumprindo com o objetivo inicial.

Este trabalho contribui significativamente para o compartilhamento de conteúdo em Libras, pois os sinais podem ser armazenados consumindo pouco espaço em disco, ser transmitidos através de conexões com baixas taxas de transmissão ou reduzir o custo de produção da sinalização de termos.

6.1 Trabalhos Futuros

Para o desenvolvimento do avatar utilizou-se de tecnologias e softwares recentes para a criação de personagens 3D, como os sistemas Unity e Mixamo. Para trabalhos futuros serão propostas novas implementações e melhorias:

- Testar ou implementar novos métodos de cinemática inversa para o movimento dos membros superiores do avatar, pois o método de cinemática inversa nativo do motor de jogos Unity possui muitas limitações. Uma possibilidade seria utilizar o método FABRIK para todo o processo, não somente para as juntas da mão;
- Desenvolver um método para interpretar e converter o SWML dos termos presentes na base do SignPuddle e codificá-lo na estrutura XML que o avatar lê;
- Otimizar a forma de armazenamento dos termos a serem interpretados pelo avatar, transportando os dados para um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional (SGBD), como por exemplo o MySQL, pois atualmente cada termo é salvo em um arquivo XML;
- Criar um sistema online que possa armazenar os termos e que utilize o avatar desenvolvido para sinalizá-los.
- Ampliar a base de termos suportados, além de suportar outras línguas de sinais.

Referências

- ABRAHAM, K. **Avatar animation from SignWriting notation**. Dezembro 2008. 90 p. Dissertação — University of the Western Cape, Cidade do Cabo, África do Sul, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- ALMEIDA, I. R. **Exploring Challenges in Avatar-based Translation from European Portuguese to Portuguese Sign Language**. Outubro 2014. 72 p. Dissertação — Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2014. Citado na página 20.
- ARISTIDOU, A.; LASENBY, J. Fabrik: A fast, iterative solver for the inverse kinematics problem. **Graphical Models**, Elsevier, v. 73, n. 5, p. 243 – 260, 2011. Citado na página 31.
- BERKA, R. Inverse kinematics-basic methods. **Central European Seminar on Computer Graphics (CESCG)**, CESC, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 17.
- BOUZID, Y.; JEMNI, M. tunisigner: A virtual interpreter to learn sign writing. In: **Advanced Learning Technologies (ICALT), 2014 IEEE 14th International Conference on**. Athens: [s.n.], 2014. p. 601–605. Citado 6 vezes nas páginas vi, 1, 18, 19, 33 e 36.
- BRASIL. Lei nº 10.436, de 24 de abril de 2002. dispõe sobre a língua brasileira de sinais - libras e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 24 abril 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10436.htm>. Acesso em: 16 novembro 2015. Citado na página 2.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Evolução da Educação Especial no Brasil.Censo Educacional (MEC/INEP/2006)**. Brasília, DF, 2008. 11 p. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/brasil.pdf>>. Acesso em: 17 novembro 2015. Citado na página 3.
- COSTA, A. D. R.; DIMURO, G. A signwriting-based approach to sign language processing. In: CITESEER. **Proceedings from GW 2001: Gesture Workshop**. [S.l.], 2001. p. 202–212. Citado 4 vezes nas páginas 8, 12, 13 e 14.
- ELLIOTT, R. et al. The development of language processing support for the visicast project. In: ACM. **Proceedings of the fourth international ACM conference on Assistive technologies**. [S.l.], 2000. p. 101–108. Citado na página 21.
- ESIGN. **eSIGN - Página do Sistema**. 2003. Disponível em: <<http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/esign/>>. Acesso em: 18 de novembro de 2015. Citado na página 22.
- GREGORY, J. **Game engine architecture**. [S.l.]: CRC Press, 2009. Citado na página 14.
- KRNOUL, Z. Web-based sign language synthesis and animation for on-line assistive technologies. In: **The Proceedings of the 13th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility**. [S.l.]: ACM, 2011. p. 307–308. Citado 2 vezes nas páginas vi e 23.
- LE, B. H.; DENG, Z. Robust and accurate skeletal rigging from mesh sequences. **ACM Transactions on Graphics (TOG)**, ACM, v. 33, n. 4, p. 84, 2014. Citado na página 15.

LIMA, V. L. d. S. e. **Língua de Sinais**: proposta terminológica para a área de desenho arquitetônico. 329 p. Tese — UFMG, Belo Horizonte, 2014. Citado 6 vezes nas páginas 2, 3, 33, 34, 36 e 37.

MOEMEDI, K. A. **Rendering an avatar from sign writing notation for sign language animation**. Novembro 2010. 85 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia – Nome da área de concentração) — University of the Western Cape, Cidade do Cabo, África do Sul, 2010. Citado na página 19.

MORAES, T. d. **Ensino de Química em Libras**: inclusão e os desafios da linguagem. 2014. 34 f. Monografia (Licenciatura em Química) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014. Citado na página 2.

NAKAMURA, K. **About American Sign Language**. 1995. Disponível em: <<http://www.deaflibrary.org/asl.html>>. Acesso em: 22 de junho de 2016. Citado na página 6.

ORVALHO, V. C.; ZACUR, E.; SUSIN, A. Transferring the rig and animations from a character to different face models. **Computer Graphics Forum**, Blackwell Publishing Ltd, v. 27, n. 8, p. 1997–2012, 2008. Citado na página 15.

PAPADOGIORGAKI, M. et al. Vsigns: A virtual sign synthesis web tool. **Proceedings of 6th COST**, v. 276, p. 25–31, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.

PILSEN, U. of West Bohemia in. **Dicionário online da Língua Checa de Sinais**. 2009. Disponível em: <<http://signs.zcu.cz/demo>>. Acesso em: 18 de novembro de 2015. Citado na página 23.

Projeto Libras CEFET-MG. **Projeto Libras CEFET-MG**. 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/0OMAKV>>. Acesso em: 25 de maio de 2016. Citado na página 36.

QUADROS, R. M. de. **O tradutor e intérprete de língua brasileira de sinais e língua portuguesa**. [S.l.]: Artmed, 2004. Citado na página 6.

ROOT-MOTION. **Final IK**. 2013. Disponível em: <<http://www.root-motion.com/final-ik.html>>. Acesso em: 11 de maio de 2016. Citado na página 31.

SHEIKH, H. R.; SABIR, M. F.; BOVIK, A. C. A statistical evaluation of recent full reference image quality assessment algorithms. **IEEE Transactions on Image Processing**, v. 15, n. 11, p. 3440–3451, 2006. Citado na página 35.

SIGNWRITING.ORG. **About SignPuddle Developer**. 2001. Disponível em: <<http://www.signwriting.org/forums/software/swml/>>. Acesso em: 09 de novembro de 2015. Citado na página 12.

SLEVINSKI, S. E. **About SignPuddle Developer**. 2009. Disponível em: <<http://www.signbank.org/signpuddle/about/>>. Acesso em: 05 de novembro de 2015. Citado na página 8.

SLEVINSKI, S. E. **IMWA Conversion to the ISWA**. 2009. Disponível em: <http://www.signpuddle.net/imwa_convert/>. Acesso em: 05 de novembro de 2015. Citado na página 10.

SLEVINSKI, S. E. The signpuddle standard for signwriting text. **SignPuddle**, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.

SLEVINSKI, S. E. **The SignWriting Stack 2015**. 2015. Disponível em: <http://www.signwriting.org/symposium/archive/sws0043_Paper_SignWriting_Stack_2015_by_Stephen_Slevinski.pdf>. Acesso em: 05 de novembro de 2015. Citado na página 11.

SOUSA, S. F. d.; SILVEIRA, H. E. d. Terminologias químicas em libras: a utilização de sinais na aprendizagem de alunos surdos. **Química Nova na Escola**, p. 37–46, fev. 2011. Citado na página 3.

SOUZA, C. L. d.; LIMA, V. L. d. S. e.; PÁDUA, F. L. C. Abordagem interdisciplinar para a criação e preservação de novos sinais para dicionários terminológicos em libras. **Acta Semiótica et Lingvística**, v. 19, n. 1, p. 76–90, 2014. Citado 4 vezes nas páginas 4, 23, 35 e 39.

STUMPF, M. R. Língua de sinais: escrita dos surdos na internet. In: **V Congresso Ibero-Americano de Informática na Educação–RIBIE**. Chile: [s.n.], 2000. Citado na página 7.

STUMPF, M. R. **Aprendizagem de escrita de língua de sinais pelo sistema SignWriting: língua de sinais no papel e no computador**. 329 p. Tese — Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro de Estudos Interdisciplinares em Novas Tecnologias da Educação. Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação., Porto Alegre, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 18.

SUTTON, V. **The SignWriting Alphabet**. Tech. Rep, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 8, 10 e 11.

SUTTON, V.; FROST, A. Signwriting: Sign languages are written languages. **Center for Sutton Movement Writing, CSMW**, Tech. Rep, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 8.

TUNISIGNER. **tuniSigner - Página do Sistema**. 2014. Disponível em: <<http://tunisigner.com>>. Acesso em: 28 de abril de 2016. Citado na página 19.

UNITY. **Documentação da função Lerp**. 2015. Disponível em: <<http://docs.unity3d.com/ScriptReference/Vector3.Lerp.html>>. Acesso em: 09 de novembro de 2015. Citado na página 32.

VISICAST. **ViSiCAST - Página do Sistema**. 2002. Disponível em: <<http://www.visicast.co.uk/index.htm>>. Acesso em: 18 de novembro de 2015. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.

WFD, W. F. o. t. D. **Human Rights**. 2004. Disponível em: <<http://wfdeaf.org/human-rights>>. Acesso em: 12 de novembro de 2015. Citado na página 3.

WYK, D. E. v. **Virtual human modelling and animation for real-time sign language visualisation**. Dezembro 2008. 90 p. Dissertação — University of the Western Cape, Cidade do Cabo, África do Sul, 2008. Citado na página 19.