

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

**Tradução Automática com Adequação Sintático-Semântica
para LIBRAS**

MANUELLA ASCHOFF CAVALCANTI BRANDÃO LIMA

João Pessoa, PB

2015

MANUELLA ASCHOFF CAVALCANTI BRANDÃO LIMA

**Tradução Automática com Adequação Sintático-Semântica
para LIBRAS**

Dissertação apresentada ao Centro de
Informática da Universidade Federal da
Paraíba, como requisito parcial para obtenção
do título de Mestre em Informática (Sistemas
de Computação).

Orientador: Prof. Dr. Tiago Maritan Ugulino de Araújo

João Pessoa, PB

2015

L732t Lima, Manuella Aschoff Cavalcanti Brandão.
Tradução automática com adequação sintático-semântica
para LIBRAS / Manuella Aschoff Cavalcanti Brandão Lima.-
João Pessoa, 2015.
100f. : il.
Orientador: Tiago Maritan Ugulino de Araújo
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CI
1. Informática. 2. Sistemas de computação. 3. Tradução
automática. 4. Plataforma multimídia. 5. Linguagem formal de
regras de descrição. 6. Língua de sinais.

UFPB/BC

CDU: 004(043)

MANUELLA ASCHOFF CAVALCANTI BRANDÃO LIMA

**Tradução Automática com Adequação Sintático-Semântica
para LIBRAS**

Dissertação aprovada em 26 de agosto de 2015.

Banca Examinadora

Prof. Dra. Tiago Maritan Ugulino e Araújo
Orientador

Prof. Dr. Andrei de Araújo Formiga
Examinador Interno

Profa. Dra. Tatiana Aires Tavares
Examinador Interno

Prof. Dr. Aquiles Medeiros F. Burlamaqui
Examinador Externo

João Pessoa, PB

2015

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que sempre me incentivaram a estudar e acreditaram no meu potencial;

Ao meu marido que, com carinho, amor e paciência, entendeu a minha ausência em vários momentos dedicados à realização deste mestrado;

Ao meu irmão, que sempre me fez rir nos momentos de maior tensão;

À PRPG/UFPB, em especial a Profa Lenilde, pela oportunidade e incentivo na realização desta pesquisa;

Aos meus colegas do LAVID, pela disponibilidade em ajudar, pois o mérito deste trabalho não é apenas meu e sim de toda uma equipe que é forte e unida;

Ao meu orientador Tiago Maritan pela confiança no meu trabalho, pela paciência, pelos valerosos conselhos e pela presteza em me atender sempre que precisei;

E por fim, mas não menos importante, a Deus por ser a minha fortaleza, sempre.

Um diploma vale muito, e também um
juramento

Contudo tem mais valor, quem tem um bom
sentimento.

Quanto às riquezas da Terra, são como a
sombra do tempo!

(Luzirmil)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Alteração de movimento.....	19
Figura 2: Alteração de localização	19
Figura 3: Alteração de Orientação da Mão	20
Figura 4: Alteração de expressão facial	20
Figura 5: 61 CMs da LIBRAS	20
Figura 6: Sinal de ‘OUVIR’ e ‘OUVINTE’	21
Figura 7: Léxico da Língua Brasileira de Sinais (Adaptada)	22
Figura 8: Verbos direcionais	22
Figura 9: Definição do espaço de localização do referente.....	23
Figura 10: Arquitetura do Projeto e Acessibilidade como um Serviço.....	50
Figura 11: Resultado a análise sintática – sentença “Ele era magro demais para um boxeador”	55
Figura 12: Trecho de Documento XML para Representar a Descrição Fonológica.....	55
Figura 13: Exemplo de regra de tradução “S (VP NP) → S (NP VP)” descrita com a linguagem de descrição de regra proposta.....	56
Figura 14: Exemplo de regra de tradução com tratamento de sentença no tempo futuro (VP (VB-R PP) → VP (VB PP <FUTURE>))	57
Figura 15: Arquitetura do Componente de Tradução da Solução Proposta.....	60
Figura 16. Visão esquemática da integração do componente de tradução proposto com o VLibras (Araújo <i>et al.</i> 2014).	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Distribuição das publicações corpus da pesquisa ao longo do tempo	33
Gráfico 2: Classificação dos artigos de acordo com as categorias (a) Estratégia de tradução, (b) Tipo de Entrada, (c) Tipo de saída (d) Domínio de Tradução, (e) Método de Avaliação, (f) Presença de corpus linguístico, (g) Tipo de Artigo.	34
Gráfico 3: Grupos temáticos e quantitativo de artigos relacionados por ano	35
Gráfico 4: Grau de Escolaridade identificados por gênero	68
Gráfico 5: Tipo de usuário por Grau de Escolaridade identificados	68
Gráfico 6: Compreensão de conteúdo pelos usuários do teste	69
Gráfico 7: Gráfico de caixa para análise de compreensão de conteúdos	71
Gráfico 8: Gráfico de barras para análise da avaliação de conteúdos.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre as categorias Estratégia de Tradução, Método de Avaliação e Domínio de Tradução	36
Tabela 2: Problemas identificados na tradução, com sinalização dos tratados na versão atual tradutor e na nova versão proposta para o tradutor	51
Tabela 3: Gramática proposta usando a linguagem de descrição de regras	58
Tabela 4: Exemplos de aplicação das regras de tradução no componente de tradução proposto	61
Tabela 5: Resultados das métricas BLEU e WER.....	64
Tabela 6: Escala de referência de valores para os testes estatísticos.....	67
Tabela 7: Entendimento do Português	69
Tabela 8: Resultados da avaliação da Qualidade da Tradução.....	71

LISTA DE SIGLAS

Adj: Adjetivo
Adj_{Mi}: Adjetivo Modificado pelo Advérbio de Intensidade
Adj_{Mn}: Adjetivo Modificado pelo Adjetivo de Negação
Adv_(i): Advérbio de Intensidade
Adv_(n): Advérbio de Negação
Adv: Advérbio
Adv_{Mi}: Advérbio Modificado pelo Advérbio de Intensidade
ArSL: Língua Árabe de Sinais
ASL: Língua Americana de Sinais
AusLAN: Língua Australiana de Sinais
BaSL: Língua Bangla de Sinais
BSL: Língua Inglesa de Sinais
CM: Configuração de mãos
CSL: Língua Chinesa de Sinais
D_{A(f)}: Determinante – Artigo Feminino
D_{A(m)}: Determinante – Artigo Masculino
GerSL: Língua Alemã de Sinais
GSL: Língua Grega de Sinais
IndianSL: Língua de Sinais Indiana
ISL: Língua Italiana de Sinais
JSL: Língua Japonesa de Sinais
KSL: Língua Coreana de Sinais
L: Localização da mão
LIBRAS: Língua Brasileira de Sinais
LSE: Língua Espanhola de Sinais
M: Movimento da mão
NM: Aspectos não-manuais dos sinais
N_c: Substantivo Comum de Dois Gêneros
Or: Orientação da mão
PB: Português Brasileiro
PSL: Língua Paquistanesa de Sinais
P_x: Preposição a ser excluída (em, no, na, nos, nas, de, do, da, dos, das, por, pelo, pela, pelas, pelos, para)
RSL: Língua Russa de Sinais
S: Sentença
AP: Sintagma Adjetival
Adv_(i)P: Sintagma Adverbial de Intensidade
Adv_(n)P: Sintagma Adverbial de Negação
Adv_(t)P: Sintagma Adverbial de Tempo
Adv P: Sintagma Adverbial
SASL: Língua Sul-africana de Sinais
DP: Sintagma Determinante
NP: Sintagma Nominal
NumP: Sintagma Numeral
PP: Sintagma Preposicional
PossP: Sintagma Possessivo

VP: Sintagma Verbal

TaiwSL: Língua Taianesa de Sinais

ThaiSL: Língua Tailandesa de Sinais

VB: Verbo no Infinitivo

VB-D: Verbo no Passado

VB-P: Verbo no Presente

VB-R: Verbo no Futuro

VB-SD: Verbo no Passado do Subjuntivo

VB-SP: Verbo no Presente do Subjuntivo

VB-SR: Verbo no Futuro do Subjuntivo

V_{Mi}: Verbo Modificado pelo Advérbio de Intensidade

V_{Mn}: Verbo Modificado pelo Advérbio de Negação

V_N: Verbo com Radical Modificado pelo Advérbio de Negação

RESUMO

Pessoas surdas se comunicam naturalmente usando linguagens viso-espaciais, denominadas línguas de sinais. No entanto, apesar das línguas de sinais (LS), em muitos países, serem reconhecidas como língua, os problemas enfrentados pelos surdos no tocante ao acesso a informação permanecem. Em consequência disso, observa-se uma grande dificuldade dos surdos exercerem a sua cidadania e terem acesso à informação através das LS, o que acaba geralmente implicando em atraso linguístico e de aquisição do conhecimento. Visando propor soluções alternativas para minimizar a marginalização dos surdos, alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos relacionados à tradução automática de línguas orais para línguas de sinais. No entanto, as soluções existentes apresentam muitas limitações, pois precisam garantir que o conteúdo disponibilizado aos surdos chegue com a mesma qualidade que aos ouvintes. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma solução para tradução automática para LIBRAS com adequação sintático-semântica. Essa solução envolve um componente de tradução automática para LIBRAS; uma linguagem formal de descrição de regras, modelada para criar regras de tradução sintático-semânticas; a definição de uma gramática explorando esses aspectos; e a integração desses elementos no serviço VLibras, um serviço de tradução automática de conteúdos digitais em Português para LIBRAS. Para avaliar a solução, alguns testes computacionais utilizando as métricas WER e BLEU e com usuários surdos e ouvintes da LIBRAS foram realizados para aferir a qualidade da saída gerada pela solução. Os resultados mostram que a abordagem proposta conseguiu melhorar os resultados da versão atual do VLibras.

Palavras Chaves: Tradução Automática; Plataforma Multimídia; Linguagem Formal de Regras de Descrição; Língua de sinais.

ABSTRACT

Deaf people communicate naturally using visual-spatial languages, called sign languages. The sign languages (SL) are recognized as official languages in many countries, but the problems faced by deaf people to access to information remains. As a result, they have difficult to exercise their citizenship and to access information in LS. In order to minimize this problem, some works have been developed related to the machine translation of spoken languages to sign languages. However, these solutions have some limitations, since they have to generate contents for deaf with the same quality to the listeners. Thus, this work aims to develop a solution for machine translation to Brazilian Sign Language (LIBRAS) addressing syntactic-semantic issues. This solution includes a LIBRAS machine translation component; a rule description language, modeled to describe morphosyntactic-semantic machine translation rules; the definition of a grammar exploring these aspects; and the integration of these elements with VLibras, a machine translation service of digital contents in Brazilian Portuguese to LIBRAS. To evaluate the solution, some computational tests were performed using WER and BLEU metrics, along with some tests with Brazilian deaf users and LIBRAS specialists. The results show that the proposed approach could improve the results of the current version of VLIBRAS.

Keywords: Machine translation; Multimedia Plataforms; Formal rule description language, Sign language.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	15
1.2 Escopo do Trabalho.....	16
1.3 Organização do Trabalho	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 Língua de Sinais	18
2.1.1 Aspectos Fonológicos.....	19
2.1.2 Aspectos Morfológicos.....	21
2.1.3 Aspectos Sintáticos.....	22
2.1.4 Aspectos Semânticos e Pragmáticos	24
2.2 Processamento da Linguagem Natural	25
2.2.1 Tradução Automática	26
2.2.2 Linguística Formal	28
2.2.2 Analisadores Sintáticos	29
2.3 Considerações Finais	30
3 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA	32
3.1 Resultados	32
3.2 Discussão.....	37
3.2.1 Tradução para a Língua Brasileira de Sinais - LIBRAS	37
3.2.2 Tradução para a Língua De Sinais Americana - ASL	38
3.2.3 Tradução para a Língua de Sinais Árabe - ArSL	39
3.2.4 Tradução para a Língua de Sinais Chinesa/Taianaesa – CSL/TaiwSL.....	40
3.2.5 Tradução para a Língua de Sinais Coreana - KSL	41
3.2.6 Tradução para a Língua de Sinais Espanhola – LSE.....	42

3.2.7 Tradução para a Língua de Sinais Inglesa - BSL	43
3.2.8 Tradução para a Língua de Sinais Italiana - ISL	44
3.2.9 Tradução para a Língua de Sinais Japonesa – JSL.....	45
3.2.10 Tradução para a Língua de Sinais Russa - RSL	45
3.2.11 Tradução para a Língua de Sinais Sul Africana – SASL	46
3.3 Considerações Finais.....	47
4 VLIBRAS – SERVIÇO DE TRADUÇÃO AUTOMÁTICA PARA LÍNGUA BRASILEIRA DE SINAIS	49
4.1 Arquitetura e Componentes do VLibras.....	49
4.1.2 Componente de Animação	52
4.1.3 Componente de Distribuição	52
5 SOLUÇÃO: LINGUAGEM DE DESCRIÇÃO E GRAMÁTICA	53
5.1 Formalização da Linguagem	53
5.2 Gramática Proposta	57
5.3 Implementação e Integração com o VLibras.....	59
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
6.1 Definição do Experimento.....	63
6.2 Testes Computacionais.....	64
6.3 Avaliação com os Usuários	65
6.3.1 Avaliação dos Níveis de Compreensão	67
7 CONCLUSÕES	73
APÊNDICES	83

1 INTRODUÇÃO

As Línguas de Sinais (LS) são a língua natural das pessoas surdas, sendo usada para a comunicação e interação por esta comunidade. Elas são línguas gesto-visuais ou viso-espaciais, ou seja, são percebidas pelos olhos e se realizam no espaço com articuladores visuais: as mãos, o corpo, os movimentos e o espaço de sinalização.

Embora as Línguas de Sinais sejam reconhecidas como língua natural em diversos estudos linguísticos, a comunidade surda de todo o mundo ainda tem dificuldade em ter acesso à informação através delas. Como consequência, muitos enfrentam problemas ligados a atraso linguístico e aquisição de conhecimentos.

Com o objetivo de atender a esta demanda e minimizar a marginalização dos surdos, uma série de trabalhos científicos vem sendo desenvolvidos para melhorar o acesso à informação. Vários destes trabalhos estão relacionados à tradução automática de línguas orais para línguas de sinais, tais como os de Araújo et al. (2013, 2014), Huenerfauth (2004, 2005a, 2005b, 2008), San Segundo et al. (2006, 2007, 2008a, 2008b), Morrissey (2013), dentre outros. No entanto, ainda não há a adoção maciça e efetiva dos sistemas de tradução automática pela comunidade surda. Estes sistemas possuem algumas limitações como, por exemplo, a dificuldade em adaptar os conteúdos para a língua de sinais, respeitando as características e gramática própria das LS, a falta de naturalidade dos avatares (agentes animados virtuais), usados para representar a saída da tradução automática (HUENERFAUTH, 2007), dentre outros.

Contudo, Araújo et al. (2013), Boulares e Jemni (2013), Huenerfauth (2007) e San-Segundo et al. (2007) relatam que, apesar da comunidade surda preferir a tradução realizada por intérpretes humanos, eles acreditam na validade do uso da tradução automática através de avatares quando não é viável a utilização de intérpretes humanos.

Outro aspecto que causa grande limitação na tradução são as questões de natureza sintática e lexical, assim como, a natureza do texto, conteúdo e contexto impostos pela organização textual (COSTA, 2005). Além disso, ressalta-se a existência de restrições impostas pela organização textual em códigos com modalidades diferentes (oral - visual). No caso da tradução de uma língua oral-auditiva para gesto-visual não se deve manter a mesma forma gramatical apresentada na língua fonte. É necessário garantir que a informação chegue aos surdos com a mesma qualidade que chega aos que ouvem o que foi proferido.

No Brasil, com o objetivo de atender a demanda de acesso à informação pela comunidade surda em sua língua natural, autores como Lira (2009) e Moreira et al.(2011), vem desenvolvendo projetos e pesquisas a exemplo destas iniciativas:

- O FALIBRAS, que é um tradutor da língua portuguesa para a LIBRAS desenvolvido pelo Instituto de Computação da Universidade Federal de Alagoas (TAVARES, CORADINE, BREDA, 2005);
- O TLIBRAS que é um tradutor Português Brasileiro-LIBRAS e tem o projeto coordenado pela OSCIP Acessibilidade Brasil (LIRA, 2009);
- O Player Rybená que automatiza o processo de tradução do texto em Língua Portuguesa e para LIBRAS (MOREIRA et al., 2011);
- O Prodeaf que é um aplicativo criado pela Universidade Federal de Pernambuco que recebe uma entrada de voz em português e traduz para LIBRAS utilizando um boneco animado (VIEIRA et al, 2014);
- O HandTalk, que é um aplicativo de tradução automática, premiado no Brasil em 2013, e que traduz texto (palavras ou frases curtas) ou voz para LIBRAS (VIEIRA et al, 2014); e
- O VLibras que é um tradutor automático da Língua Portuguesa para a LIBRAS desenvolvido pelo LAVID da Universidade Federal da Paraíba (ARAÚJO et al, 2012).

Estas soluções apresentam limitações no que se refere à adequação sintático-semântica da tradução, especialmente em relação ao correto ordenamento do léxico nas sentenças de LIBRAS e o uso destas palavras incorporando os aspectos inerentes as LS. Além disso, em pesquisa realizada sobre os tradutores elencados, destaca-se que, com exceção do VLibras, os tradutores mencionados não atuam em cenários como TV Digital ou Cinema.

Portanto, o presente trabalho busca contribuir com o desenvolvimento de uma estratégia de tradução que perpassa pela reestruturação da arquitetura do componente de tradução do VLibras, a criação de uma linguagem de descrição de regras, uma gramática com um conjunto de regras que permitam a reescrita das sentenças do PB em LIBRAS e a integração destes componentes com o VLibras.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral a incorporação de aspectos sintático-semânticos na tradução automática do Português Brasileiro para LIBRAS, visando melhorar a qualidade das traduções geradas. A proposta contempla a reformulação arquitetural do

componente de tradução, o desenvolvimento de uma linguagem formal de descrição de regras e a criação de uma gramática que representa aspectos sintático-semânticos da transformação de textos em PB para LIBRAS. A gramática proposta permite que sejam realizadas reordenamentos de sentenças, atingindo o nível sintático, e a reescrita de palavras contribuindo assim para a correta compreensão de significado.

Para alcançar o objetivo geral desta proposta, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Modelar o processo de formação das glosas¹ na tradução do Português Brasileiro para a LIBRAS;
- Identificar os fatores determinantes na construção das regras sintático-semânticas que influenciam na escolha dos léxicos que compõem a oração/frase em LIBRAS;
- Mapear os parâmetros de composição do morfema (direcionalidade, frequência de movimento, ponto de articulação, configuração de mãos, expressões faciais e corporais) que ao sofrerem alterações em sua combinação provocam modificações semânticas e/ou sintáticas no significante;
- Projetar e desenvolver uma gramática moldada às necessidades da tradução automática do Português Brasileiro para LIBRAS no que se refere à adequação da morfologia, da sintaxe e da semântica.
- Implantar a solução proposta, arquitetura, linguagem e gramática, no VLibras;
- Avaliar o impacto na qualidade das traduções produzidas utilizando métodos computacionais e testes com usuários da LIBRAS surdos e ouvintes.

1.2 Escopo do Trabalho

O problema abordado neste trabalho possui natureza fortemente interdisciplinar, envolvendo Acessibilidade, Inteligência Artificial, Linguística, dentre outros conteúdos. Dessa forma, o tratamento de todos os aspectos do problema não é trivial e nem exequível no tempo de integralização de um mestrado. Portanto, o escopo tratado é restrito e detendo-se aos aspectos elencados a seguir:

1. A Língua de Sinais tratada neste trabalho é a LIBRAS. Assim, o foco é gerar um conjunto de regras de tradução para LIBRAS usando uma linguagem formal de descrição.

¹ Representação intermediária e escrita da LIBRAS

No entanto, acredita-se que a linguagem de descrição proposta pode ser facilmente adaptada para outras LS;

2. Este estudo não adentrará na análise de classificadores da LIBRAS pois são inerentemente ligados a percepção de contexto (pragmática). Além disso, os sistemas de tradução automática não estão eficientes ao ponto de compreender profundamente os conteúdos que estão sendo comunicados considerando as influências do contexto de uso;

3. A proposta do trabalho não é substituir ou se equiparar aos intérpretes humanos. Busca-se desenvolver uma solução que melhore a tradução automática atualmente existente para que as aplicações possam ser utilizadas, reduzindo as barreiras de comunicação e acesso a informação dos surdos, especialmente quando intérpretes humanos não estão disponíveis ou não são viáveis.

1.3 Organização do Trabalho

Esse trabalho está estruturado em sete capítulos. Neste primeiro capítulo foram apresentados os conceitos relevantes sobre o tema tratado, a justificativa e importância da pesquisa desenvolvida, os objetivos do estudo e a identificação do escopo abordado.

No segundo capítulo é apresentada uma fundamentação teórica sobre os conceitos necessários à compreensão do trabalho, tais como, línguas de sinais, aspectos linguísticos da LIBRAS, processamento de linguagem natural, tradução automática e linguística formal.

O terceiro capítulo é composto por uma revisão sistemática da literatura sobre sistemas de tradução automática para línguas de sinais. No quarto capítulo vê-se uma descrição do VLibras como forma de situar a aplicação que receberá a solução proposta, enquanto que no quinto capítulo descreve-se a solução proposta.

No sexto capítulo, são apresentados a metodologia usada nos testes, os resultados obtidos e a avaliação e interpretação dos mesmos. Por fim, são feitas as considerações finais e apresentamos as perspectivas de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O aporte teórico do presente trabalho é apresentado neste capítulo que inicia expondo as características da Língua de Sinais, enfatizando os aspectos linguísticos da Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS). Em seguida, aborda-se o processamento da linguagem natural, a tradução automática e a linguística computacional.

2.1 Língua de Sinais

Segundo Quadros e Karnopp (2004, p. 15), a linguística é a ciência que desenvolve o “estudo científico das línguas naturais e humanas”. De acordo com estas autoras, a linguística se detém a explicar os fatos linguísticos, ou seja, descrever as línguas e esclarecer os eventos comuns a elas. Além disso, ela tenta explicar os princípios que determinam a linguagem humana e conseqüentemente a existência de diversas línguas.

A linguística é dividida em diversas áreas, e cada uma se concentra em estudar determinados aspectos da linguagem. As áreas centrais que compõem esta ciência são: fonologia, morfologia, sintaxe e semântica. Há ainda outras áreas que subsidiam os estudos linguísticos: fonética, pragmática, sociolinguística, psicolinguística etc.

A fonologia, conforme Callou e Leite (1990, p. 11) “estuda os sons do ponto de vista funcional como elementos que integram um sistema linguístico determinado”. Sendo assim, estuda as diferenças fônicas intencionais e distintivas, ou seja, a forma da expressão (fonema). Enquanto a fonética estuda os sons diante das suas particularidades articulatórias, acústicas e perceptivas, de forma independente, tratando portando, da substância da expressão (fone).

No que se refere à morfologia, conceituamos comumente como “o estudo da estrutura interna das palavras, ou seja, da combinação entre os elementos linguísticos que formam as palavras e o estudo das diversas formas que apresentam tais palavras quanto às categorias de número, gênero, tempo e pessoa, por exemplo” (QUADROS; KARNOPP, 2004, p. 19). A sintaxe estuda os aspectos relacionados à estrutura da frase, em especial no âmbito de como o emissor transmite a mensagem e a maneira como organiza e relaciona as palavras.

Por fim, têm-se a semântica e a pragmática. A semântica tem como foco de estudo a significação e, segundo Bolgueroni e Viotti (2013) concentra-se no estudo da relação entre as expressões linguísticas e o mundo. A pragmática, de acordo com Quadros e Karnopp (2004), estuda a língua considerando o contexto linguístico do uso, o seu uso e os princípios de

comunicação. Fiorin (2010) complementa que a pragmática é a ciência do uso linguístico que tem como objeto de estudo a utilização da linguagem, por exemplo, em atos enunciativos.

A LIBRAS como uma língua natural humana possui regras gramaticais comuns à comunidade de indivíduos surdos do Brasil, variação linguística de acordo com a sua comunidade (dialeto), sistema fonológico, morfológico, sintático e semântico-pragmático próprios.

2.1.1 Aspectos Fonológicos

Conforme apresentado na Seção 2.1, a fonologia tem como objetivo identificar as unidades mínimas sonoras do sistema linguístico. Sendo assim, nas línguas oral-auditivas essas unidades mínimas são os fonemas, e nas línguas gesto-visuais são os quiremas².

O fonema é o menor elemento sonoro que é capaz de distinguir significados em palavras, tais como: amor – ator; morro – corro; vento – sento, entre outros. O quirema é a unidade mínima fonológica da língua de sinais, é visto como uma unidade formacional do sinal, ou seja, é composto pela articulação entre os parâmetros da língua de sinais. O sinal é constituído por 5 parâmetros básicos. São eles: a configuração de mãos (CM), a localização da mão (L), o movimento da mão (M), a orientação da mão (Or) e os aspectos não-manuais dos sinais (NM) (QUADROS; KARNOPP, 2004). Estes quiremas, diferentemente dos fonemas, não obedecem a uma ordem linear para formar os morfemas (Figuras 1 a 4).

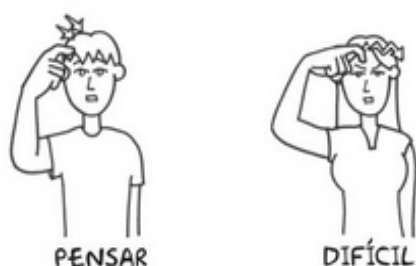


Figura 1: Alteração de movimento
Fonte: Choi et al, 2011



Figura 2: Alteração de localização
Fonte: Choi et al, 2011, p. 63

² Termo proposto por Stokoe (1965) para ser usado em substituição ao fonema pela Fonologia e Fonética da Língua de Sinais.



Figura 3: Alteração de Orientação da Mão
Fonte: Choi et al, 2011, p. 65



Figura 4: Alteração de expressão facial
Fonte: Choi et al, 2011, p. 65

A CM consiste na forma que a(s) mão(s) assume(m) na execução do sinal. De acordo com Faria e Assis (2010) foram mapeadas 61 posições em uso na LIBRAS (Figura 5).



Figura 5: 61 CMs da LIBRAS
Fonte: Faria; Assis, 2010, p. 178

O movimento é um parâmetro complexo e pode assumir uma variedade de formas e direções, podendo ser classificado de acordo com a taxonomia em tipo, direcionalidade, maneira e frequência. De acordo com a taxonomia do movimento, o tipo identifica se este é feito com as mãos, pulsos e antebraços; a direcionalidade informa se o movimento é unidirecional, bidirecional ou multidirecional; a maneira descreve a qualidade, tensão e

velocidade do movimento; por fim, a frequência refere-se à quantidade de repetições (QUADROS, KARNOOP, 2004)

Outro parâmetro é a locação, também conhecido como ponto de articulação, que nada mais é do que a “área do corpo, ou no espaço de articulação definido pelo corpo em que ou perto da qual o sinal é articulado” (KLIMA; BELLUGI, 1979, p. 50 *apud* QUADROS; KARNOOP, 2004, p. 57). A orientação é a direção para a qual a palma da mão aponta na produção do sinal. Esta orientação pode sofrer alterações durante a execução do sinal (FERREIRA-BRITO, 1995).

Finalmente, o parâmetro expressões não manuais consistem nos movimentos da face, dos olhos, da cabeça e/ou do tronco. Tais parâmetros não manuais são relevantes especialmente para a semântica e a pragmática, pois, eles são importantes na formação do significado (semântica) e do local referencial (pragmática).

2.1.2 Aspectos Morfológicos

Lembrando que a morfologia é o estudo da estrutura interna das palavras e sinais, é importante entender que diferentemente das línguas orais em que as palavras complexas, frequentemente, mas não exclusivamente, são criadas a partir da adição de afixos a uma raiz, na língua de sinais essa complexidade dos morfemas é resultado de processos não concatenativos, porque à raiz são adicionados movimentos e contornos no espaço de sinalização (KLIMA; BEGULLI, 1979 *apud* QUADROS; KARNOOP, 2004). Como exemplo da descrição anterior relacionamos os sinais ‘OUVIR’ e ‘OUVINTE’, onde no primeiro o movimento de fechar a mão próxima ao ouvido é mais curto, enquanto que o segundo o movimento é repetido (Figura 2).

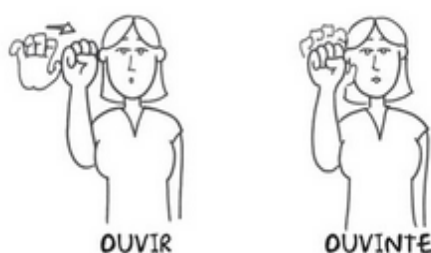


Figura 6: Sinal de ‘OUVIR’ e ‘OUVINTE’

Fonte: Choi et al, 2011

Desta forma o léxico da língua de sinais, assim como, em outras línguas, é intrincado possuindo o alfabeto, o léxico nativo e o léxico não nativo, conforme demonstrado na figura 2 de Brentari e Padden (2001 *apud* QUADROS; KARNOPP, 2004).

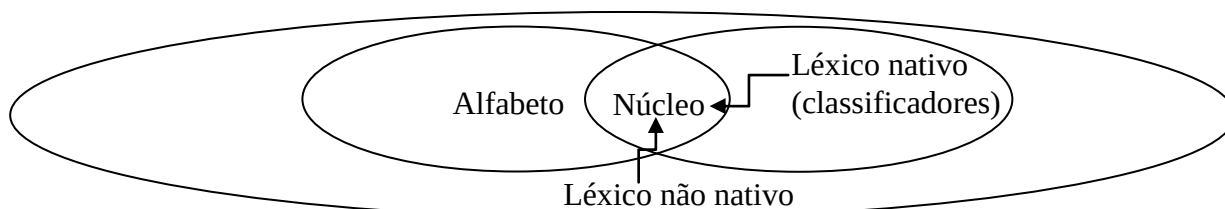


Figura 7: Léxico da Língua Brasileira de Sinais (Adaptada)

O alfabeto manual é constituído por sinais que representam as letras da língua oral, sendo este usado para soletrar nomes e palavras que não possuem representação na língua de sinais. O léxico nativo é formado pelos sinais próprios da LIBRAS e o léxico não nativo é composto por palavras da língua oral soletradas em língua de sinais utilizando o alfabeto manual.

Destaca-se ainda as colocações de Bernardino (1999) amparada em Ferreira-Brito que ressalta o aspecto multidimensional da LIBRAS onde parâmetros podem ser alterados através de modulações aspectuais, incorporação de informações gramaticais e lexicais, quantificação, negação e tempo.

2.1.3 Aspectos Sintáticos

A análise da sintaxe da LIBRAS deve considerar o espaço de execução do sinal devido as relações sintáticas fazerem uso do sistema pronominal e nominal para este fim. Como exemplo, cita-se a diferença na execução do movimento dos verbos direcionais de acordo com o pronome que identifica o executor da ação (Figura 8).



Figura 8: Verbos direcionais

Fonte: Choi et al, 2011

Nesta perspectiva, no discurso em LIBRAS, qualquer referência realizada estabelece um local no espaço de sinalização o qual servirá como local referente durante a execução do discurso (QUADROS; KARNOPP, 2004).

Como os referentes podem estar na situação de interação ou não, adota-se a regra de que na presença do referente os pontos de localização serão de acordo com a posição real, porém, se os referentes estiverem ausentes da cena os pontos de localização serão fixados de forma abstrata. Na Figura 9 observe que existe a identificação dos referentes ‘Maria’ e ‘João’ sendo assim a sinalização de discurso que envolva a personagem ‘Maria’ deve usar o local referente esquerdo para realização da correta adequação sintática do enunciado.

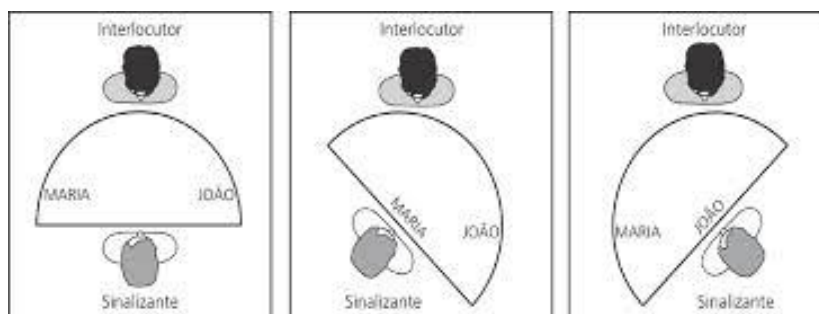


Figura 9: Definição do espaço de localização do referente

“As línguas de sinais, por serem de modalidade gestual-visual utilizam, como elemento gramatical, a tridimensionalidade do espaço para a comunicação” (FELIPE, 2007, p. 67). Os aspectos não manuais também são relevantes na sintaxe da LIBRAS, visto que os enunciados possuidores de verbos com concordância (Figura 8) na sua formação obrigatoriamente devem ter esta marca (QUADRO; KARNOPP, 2004). Contudo, não é apenas nesta situação que os aspectos não manuais devem aparecer, visto que, na marcação da localização dos referentes também é necessário este parâmetro.

Segundo Quadros e Karnopp (2004) existem dois trabalhos que mencionam a flexibilidade da ordem das frases na língua de sinais, mas apesar disso parece que existe uma ordem básica, que é a ordem Sujeito – Verbo – Objeto (SVO). As mesmas autoras explicam que a flexibilidade da ordem das frases em LIBRAS está relacionada com o mecanismo gramatical de topicalização, que consiste em na marcação não manual com a elevação das sobrancelhas. A topicalização na língua de sinais, assim como, ocorre nas línguas orais, é usada quando se deseja dar ênfase a algo em especial no enunciado.

2.1.4 Aspectos Semânticos e Pragmáticos

Retomando os conceitos de semântica e pragmática, o primeiro estuda o significado linguístico e o segundo estuda o significado resultante do uso linguístico. Além disso, entendemos que o sentido muitas vezes sofre influência do contexto pragmático, sendo este último tomado como o conjunto de circunstâncias em que a mensagem que se deseja transmitir é emitida. Desta forma no presente trabalho optamos por trabalhar a semântica e pragmática em conjunto.

De acordo com Fiorin (2010, p. 138-139)

Dentre as várias possibilidades de investigação do significado, uma delas, se concentra no estudo da relação existente entre as expressões linguísticas e o mundo. Não se pode negar que uma das características importantes das expressões linguísticas é que elas são sobre alguma coisa. [...] Esse mundo sobre o qual falamos quando usamos a linguagem pode ser tomado como o mundo real, parte dele ou mesmo outros mundos ficcionais ou hipotéticos.

Assim, o significado é entendido como sendo a relação entre a linguagem e o que ela fala, ou seja, o mundo. Fiorin (2010) afirma que conhecer a verdade sobre a sentença é entender em que circunstância de mundo está será verdadeira ou falsa.

Então o significado linguístico do enunciado, em LIBRAS, é influenciado substancialmente pelos aspectos sintáticos da classe morfológica ‘verbo’ (ver Figuras 8 e 9). E segundo Silva (2006) esta classe morfológica também é bastante influenciadora das relações semânticas da língua. Tal fato dá-se diante de importância do conhecimento do sentido do verbo para entender o seu comportamento e consequentemente predizer as suas propriedades sintáticas.

Substanciado com essa afirmativa, Silva (2006) relata que as propriedades sintáticas e semânticas de um verbo, em LIBRAS, determinam o comportamento deste, sendo a diferença de comportamento percebida de acordo com os *elementos dêiticos*³. Sendo assim, os verbos em LIBRAS quando classificados considerando suas características morfológicas e semânticas, de acordo com Felipe (2001) são enquadrados em:

- Verbos com flexão número-pessoal: o parâmetro de direcionalidade é um marcador de flexão de pessoa do discurso; Ex: _{1s}PERGUNTAR_{2s} “eu pergunto a você”

³ Elementos linguísticos que indicam os participantes do enunciado ou o tempo ou o lugar. (FIORIN, 2010)

- Verbos com flexão para locativo: além da direcionalidade considera o ponto de articulação como parâmetro de flexão; Ex: MESA_k COPO
coisa-
arredondada COLOCAR_k “colocar copo na mesa”
- Verbo com flexão para gênero: os classificadores são os marcadores de identificação de gênero em LIBRAS. Ex: pessoa²ANDAR, veículo²ANDAR/MOVER, animal²ANDAR.

2.2 Processamento da Linguagem Natural

O Processamento da Linguagem Natural - PLN, segundo Rosas (2011, p. 137) é a “habilidade de um computador processar a mesma linguagem que os humanos usam no dia a dia”. Ele tem como principal foco investigativo a língua que Saussure (2006, p. 17) define como sendo “ao mesmo tempo um produto social da faculdade da linguagem e um conjunto de convenções necessárias, adotadas pelo corpo social para permitir o exercício dessa faculdade nos indivíduos. [...] é um todo por si e um princípio de classificação.”.

A área de PLN, ou Linguística Computacional, é eminentemente interdisciplinar e lida com problemas relacionados à automação da interpretação e da geração da língua humana em aplicações como Tradução Automática, Sumarização Automática de Textos, Categorização Textual, Recuperação e Extração de Informação, Indexação Automática, entre outras. Além disso, também é seu objeto de pesquisa a criação de dicionários/léxicos e corpus linguístico, análise morfossintática automática, análise semântico-discursiva automática, etc.

Um importante ramo da PLN, a tradução automática é entendida como sendo a tradução de uma língua fonte para uma língua alvo realizada por um dispositivo com processamento eletrônico. Esta tem como suporte teórico duas áreas diferentes que, no entanto, confluem neste campo: a inteligência artificial, de onde a tradução automática extrai uma série de técnicas computacionais ligadas à análise e à geração automática de textos em língua natural, e a linguística formal, especialmente apoiada nas teorias de Chomsky.

Chomsky contribui com a ideia de que o conhecimento que um falante de língua natural tem poderia ser descrito através de um conjunto finito de regras, onde estas regras seriam universais, valeriam para toda e qualquer língua e descreveriam um número infinito de frases, podendo estas serem gramaticais ou agramaticais. Além disso, ele classificou as gramáticas de acordo com o conjunto de regras que as definem em quatro tipos: gramática regular, gramática livre de contexto, gramática sensível ao contexto e gramáticas do tipo 0 (ROSAS, 2011).

O PLN divide a análise da língua em níveis, e conforme Rosas (2011), estes são observados em cinco: morfológico, lexical, sintático, semântico e pragmático. Exemplos destes níveis de análise da língua podem ser percebidos na seção 2.1. O nível morfológico tem foco na estrutura interna das palavras, ou seja, é composto da combinação entre os elementos linguísticos que formam as palavras e as suas diversas formas de apresentação quanto às categorias de número, gênero, tempo e pessoa, por exemplo. (QUADROS; KARNOPP, 2004).

O nível lexical objetiva estudar a morfologia das palavras e agrupar estas palavras em categorias lexicais, tais como, substantivo, verbo, preposição, etc, enquanto que o nível sintático prevê a organização da sentença a partir de uma estrutura gramatical que define a união dos sintagmas. O nível semântico através do produto gerado pelo nível sintático busca realizar inferências no que se refere ao significado da sentença. Por fim, o nível pragmático realiza a análise da sentença considerando o contexto de uso.

Aos níveis de análise da língua pela PLN pode ser agregado um nível fonológico, porém ele é opcional, visto que este nível é normalmente presente apenas em aplicações de PLN que envolve analisadores ou sintetizadores de voz.

Como apresentado anteriormente, a tradução automática tem como proposta realizar de forma automatizada a tradução de uma língua fonte para uma língua fim. Contudo, é natural pensar-se apenas em traduções entre línguas oral-auditivas, visto que são as mais difundidas e utilizadas mundialmente, em face da maioria da população mundial ser ouvinte. No entanto, não se pode esquecer a substancial importância da tradução automática entre as línguas orais e as línguas de sinais, sendo esta última, a língua natural da população surda.

2.2.1 Tradução Automática

A tradução automática ou tradução por máquina automática (*Machine translation – MT*) é a conversão de texto de uma linguagem natural (a origem) para outra (o destino) usando meios computacionais (RUSSELL, NORVIG, 2004).

A tradução automática fluente depende uma boa leitura, claro entendimento do texto original e de encontrar um texto correspondente no idioma de destino, que transmita as informações de forma semelhante. Como se pode perceber este processo depende de uma escolha e o problema está em como solucionar esta escolha diante da imensa quantidade de fatores que podem influenciá-la, tais como: contexto de uso, formalidade da língua, entre outros.

Neste sentido, algumas estratégias de tradução automática foram desenvolvidas e de acordo com Su & Wu (2009), os sistemas de tradução automática podem ser divididos em três classes principais: Tradução Automática Baseada em Regras (Rule-Based Machine Translation - RBMT), Tradução Automática Estatística (Statistical Machine Translation - SMT) e Tradução Automática Baseada em Exemplos (Example-Based).

As estratégias baseadas em regras mantêm um banco de dados de regras de tradução e sempre que a regra de tradução definida coincide ela é aplicada e a tradução é feita diretamente. Estas regras podem atuar no nível léxico, sintático ou semântico.

Quando as regras atingem apenas o nível léxico, a tradução obtida na língua destino apresenta apenas a substituição das palavras da língua de origem para a língua destino. Assim, é mantida a estrutura gramatical da língua de origem. Morrissey (2008) afirma que este tipo de tradução pode ser classificada como tradução direta.

Já a tradução que considera o nível sintático e semântico é uma tradução baseada em regras, a qual Morrissey (2008) classifica como sendo tradução baseada em transferências ou exemplos. Neste tipo de tradução a língua-original sofre um processamento que gera uma representação sintática (ou semântica). Em seguida através do processamento usando de regras de tradução origina uma representação textual da língua-destino.

Morrissey (2008) ainda destaca a tradução baseada em interlíngua como sendo uma estratégia de tradução baseada em regras. Neste caso usa-se uma representação intermediária que é independente da língua-original e da língua destino. Essa independência de acordo com Russell e Norvig (2004) demonstra que é possível construir um sistema de interlíngua para realizar a tradução de n linguagens com menos esforço de trabalho.

A tradução baseada em estatística busca se beneficiar da aplicação de dados estatísticos e de um modelo probabilístico para se contribuir para resolução do problema em escolher qual tradução, se uma determinada sentença, seria a mais provável. Este tipo de tradução faz uso de um corpus bilíngue. A tradução estatística procura extrair automaticamente o conhecimento (regras de tradução e base de conhecimento) acerca da tradução a partir desse corpus bilíngue (RUSSELL, NORVIG, 2004).

A tradução automática estatística é baseada na frequência das palavras e de acordo com Russel e Novig (2004) é melhor criar um modelo que possa fazer bom uso dos dados disponíveis, mesmo que o modelo pareça excessivamente simplista.

A tradução baseada em exemplos é uma estratégia de "tradução por analogia", que procura similaridades em exemplos anteriores para construir a tradução de novas sentenças.

Como esta tradução se baseia em exemplos anteriores, faz dela dependente de um corpus paralelo bilíngue.

Esta necessidade de corpus paralelo bilíngue permite que este tipo de estratégia seja usando em sistemas de tradução automática para domínios específicos, pois existe uma limitação imposta pelo corpus, principalmente quando se trata do corpus linguístico da língua de sinais.

2.2.2 Linguística Formal

Segundo Othero (2009), a Linguística Computacional é essencialmente multidisciplinar, permeando atividades relacionadas à linguística e a ciência da computação. Assim, ele apresenta que “sempre que os informatas resolvem pedir auxílio aos linguistas teóricos em algum de seus projetos de Processamento de Linguagem Natural (PLN), seus programas acabam se tornando menos eficientes” (OTHERO, 2009, p. 12).

Tal afirmativa é possível pois, nem sempre os linguistas e os informatas têm os mesmos objetivos no estudos da linguagem humana. Othero (2009) reforça esta afirmativa citando Aristóteles (1969), que diz que “o objetivo do conhecimento teórico é a verdade, enquanto o do conhecimento prático é a eficácia”.

Os estudos da Linguística Formal se preocupam em descrever a estrutura interna da sentença com base em um formalismo linguístico consagrado nos estudos sintáticos, como por exemplo, a Teoria X-Barra de Chomsky. Esta formalização através da propositura de regras torna possível implementação computacional do PLN (RUSSELL, NORVIG, 2004).

Sendo assim, a Linguística Formal trabalha basicamente com dois tipos de informação: as regras gramaticais e dicionários ou léxico. Ela é definida como um conjunto possivelmente infinito de cadeias, onde cada cadeia é uma concatenação de símbolos terminais, também chamados de palavras (RUSSEL, NORVIG, 2004).

A formalização em nível sintático é de grande valia para a PLN pois, vem permitindo o progresso de pesquisas na área, bem como, o desenvolvimento de aplicações computacionais, tais como o tradutor automático proposto neste trabalho.

Segundo Othero (2009, p. 14)

O estudo da sintaxe de uma língua pode ser essencial para seu tratamento computacional em diversos outros níveis de descrição linguística, e normalmente trabalhos de implementação computacional em uma língua envolvem o tratamento sintático ou morfosintático dessa língua.

Portanto, estudos baseados em PLN requerem análises detalhadas e cuidadosas sobre a estrutura gramatical da língua, bem como, os impactos e influências na construção do significado.

Apesar de várias iniciativas de oficialização das línguas de sinais, elas ainda não são amplamente utilizadas. Dessa forma, as LS, em especial a LIBRAS, não possuem ainda regras suficientemente formais, explícitas e gerativas que possibilitem o desenvolvimento de um tradutor automático que, de certa forma, consiga refletir as regras de formação das sentenças específicas da LS.

Assim, uma das contribuições do presente trabalho é a definição de uma linguagem de descrição de regras de tradução que permita os especialistas em LIBRAS criem regras formais que serão utilizadas na tradução, ao passo que são os estudiosos da língua que conseguirão definir formalmente as formações sentenciais gramaticalmente corretas. Além disso, acredita-se também na importância desta linguagem para os estudos de linguística formal da LIBRAS, visto que ela servirá como base para construção das regras de formação dos sintagmas e concatenação destes para formação das sentenças.

2.2.2 Analisadores Sintáticos

Os analisadores sintáticos, também conhecidos como *parsers*, são aplicações que devem ser capaz de dada uma sentença reconhecer se a mesma é gramatical ou não, em uma determinada língua, e atribuir a ela sua estrutura de constituintes de acordo com uma determinada teoria gramatical (OTHERO, 2006). É importante a ressalva de que a eficiência deste analisador tem relação direta com as regras de formação de sentenças implementadas, assim como, com o léxico reconhecido.

A formação do léxico, segundo Alencar (2012) constitui-se pela união de diferentes subléxicos resultantes da concatenação de diferentes tipos de morfemas. Pode-se observar também a inserção de fonemas⁴, essa última chamada de epêntese; a alternância ortográfica⁵; e, construções recursivas⁶. Logo, a dicionarização não é um critério para considerar a palavra como bem formada ou não, conseqüentemente um bom analisador sintático deve ter amparo de um bom reconhecedor morfológico.

⁴ Exemplo: Pé – Pezinho / Tatu - Tatuzinho

⁵ Exemplo: Braço – Braceira - Braçudo

⁶ Exemplo: Lento – Hiperlento - Superhiperlento

No tocante a gramática, Russel e Norvig (2004) relatam que está é um conjunto finito de regras que especificam as linguagens, e que as linguagens naturais, em geral, não possuem nenhuma gramática oficial para especificá-las. Porém há um forte empenho dos cientistas da língua, os linguistas, em codificar suas gramáticas. Alencar (2012) apresenta que a gramática são dispositivos capazes de gerar uma língua, logo, são algoritmos que são capazes de descrever modelos psicolinguísticos.

Em relação à implementação computacional destas regras, de acordo com Othero (2009, p. 18)

[...]é necessário o trabalho prévio do linguista: é ele quem deve formalizar as regras sintáticas de uma língua de tal maneira que elas possam ser implementadas e tratadas computacionalmente. Então, uma estratégia para o desenvolvimento de um *parser* seria investi-lo do conhecimento já explicitado sobre os processos de formação das sentenças e dos sintagmas da língua. Ou seja: deveríamos ensinar ao *parser* tudo aquilo que as gramáticas sabem. Evidentemente, seria preciso antes formalizar as regras gramaticais para que elas pudessem ser manipuladas pelo computador.

Observa-se na assertiva anterior a menção ao uso de sintagmas que são formados por palavras que desempenham uma função sintática na sentença. Portanto, constata-se que a maioria dos formalismos de regras gramaticais se baseia na ideia da estrutura sintagmática, ou seja, especifica as fórmulas de análise sintática conforme as quais se constroem os sintagmas.

O presente trabalho aborda a tradução automática do Português Brasileiro – PB para a LIBRAS cuja solução proposta faz uso de um analisador sintático com gramática formal definida por Othero (2009), onde há a formalização de regra para sentenças gramaticais simples. Nesta formalização o autor nos traz a definição dos sintagmas: nominal; verbal; adjetival; adverbial; preposicional; quantitativo; determinante; numeral; e, possessivo.

A gramática de Othero (2009, p. 142-143), será utilizada pelo analisador sintático a ser acoplado ao VLibras, objeto de estudo deste trabalho. Além disso, a sua explicitação é importante em face da linguagem proposta por este estudo se utilizar de percepções geradas por regras gramaticais nela presente.

2.3 Considerações Finais

Nesse capítulo foi apresentada uma fundamentação teórica detalhada sobre a LIBRAS e seus aspectos linguísticos, processamento da linguagem natural e linguística formal, que são o arcabouço teórico do presente trabalho.

Na Seção 2.1, foram descritos os principais conceitos relacionados às línguas de sinais, em especial a LIBRAS, incluindo o conceito de língua e linguagem, bem como, os aspectos linguísticos, tais como, fonológicos, morfológicos, sintáticos, semânticos e pragmáticos. Na Seção 2.2 foram elencados os principais conceitos relacionados ao processamento da linguagem natural, tradução automática e linguística formal.

No próximo capítulo, é demonstrada a revisão sistemática da literatura sobre os sistemas de tradução automática de línguas orais para línguas de sinais. Essa revisão busca produzir um mapeamento sobre o tema, identificando as principais contribuições e limitações das soluções existentes na literatura científica.

3 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Com o objetivo de identificar as principais contribuições relacionadas ao tema deste trabalho, uma revisão sistemática de literatura foi conduzida sobre tradução automática para línguas de sinais. A proposta foi mapear os principais estudos relacionados à tradução automática para língua de sinais, bem como identificar e descrever as principais contribuições e lacunas relacionadas a este tema.

A revisão sistemática é uma metodologia rigorosa que se propõe a identificar os estudos sobre um determinado tema, através da aplicação de métodos explícitos e normatizados de busca, avaliando a qualidade e validade desses estudos encontrados, assim como, a sua aplicabilidade no foco da pesquisa, para selecionar os estudos que fornecerão as evidências científicas. Como resultado da revisão sistemática apresenta-se a síntese dos achados, com vistas a facilitar a implementação na pesquisa baseada em evidência (DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO, TAKAHASHI, BERTOLOZZI, 2011).

O capítulo apresenta os resultados e discussões obtidos na revisão sistemática a partir do protocolo formalizado e descrito no Apêndice A deste trabalho, seguido das considerações finais.

3.1 Resultados

Na presente revisão sistemática, analisaram-se 75 estudos que foram rigorosamente selecionados e atenderam aos critérios de inclusão descritos nos métodos, estando os resultados organizados e identificados no apêndice, de forma a promover uma melhor visualização do que foi obtido.

Como se pode observar através do Gráfico 1, há uma maior incidência de inovações em pesquisa na área tema no período de 2007 a 2009, destacando-se o ano de 2008. Este período concentra 28% dos artigos selecionados sobre a temática abordada.

Observa-se ainda que os anos de 2000 e 2004 há uma publicação de 17 estudos, ou seja, aproximadamente 23% do total de estudo publicados até julho de 2014. Os anos de 2008 e 2011 destacam-se cada um com 9 e 8 publicações respectivamente, ou seja, representam 11,33%, em média, cada um do total de publicações.

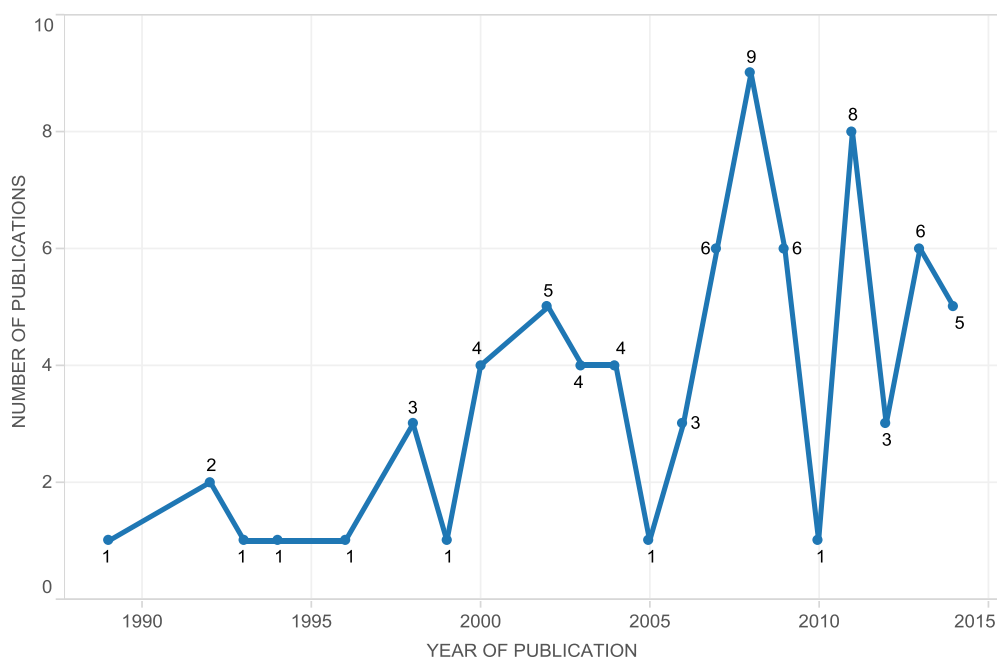


Gráfico 1: Distribuição das publicações corpus da pesquisa ao longo do tempo

Em relação às estratégias de tradução, de acordo com o Gráfico 2a, pode-se perceber que aproximadamente 65% da amostra utilizam regras como estratégia de tradução da língua oral para a língua de sinais e 13% usam uma estratégia híbrida. No que se refere ao tipo de entrada 67% dos artigos descrevem o processo de tradução automática a partir da entrada de texto e 27% de voz, os demais artigos não deixam claro qual tipo de entrada utilizada, conforme se verifica no Gráfico 2b.

A análise do tipo de saída do processo de tradução automática revela, através do Gráfico 2c, que 74,67% dos estudos utilizam um agente animado virtual, avatar, como elemento de saída da tradução. Verifica-se também que 17,33% expressam a tradução em glosa (texto estruturado na gramática da LS).

De acordo com o Gráfico 2d, é possível observar também que 58,67% dos artigos avaliados desenvolvem a tradução no âmbito geral, enquanto que 36% são projetados para um domínio específico de tradução. Cabe a ressalva que apesar do domínio geral da tradução ser o destaque desta análise há relato na maioria dos artigos que o dicionário de tradução precisa ser ampliado.

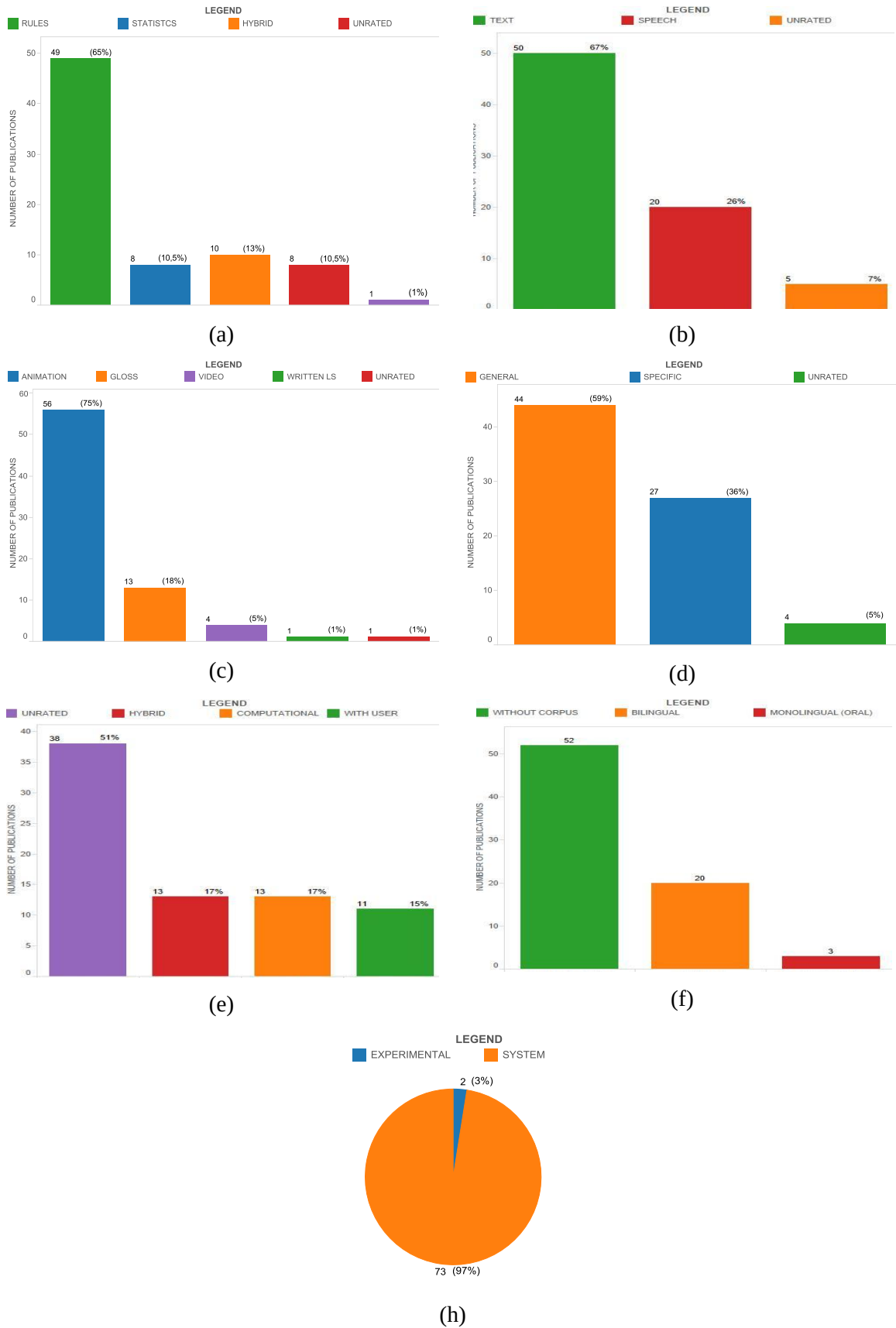


Gráfico 2: Classificação dos artigos de acordo com as categorias (a) Estatística de tradução, (b) Tipo de Entrada, (c) Tipo de saída (d) Domínio de Tradução, (e) Método de Avaliação, (f) Presença de corpus linguístico, (g) Tipo de Artigo.

Quanto à estratégia de avaliação utilizada no estudo para medir características pertinentes à abordagem temática, identifica-se que 51% dos estudos não utilizaram nenhuma metodologia de avaliação ou não se consegue identificar o método de avaliação. Dentre os trabalhos que é possível identificar um processo de avaliação (ver Gráfico 2e), observa-se que os estudos validados de forma híbrida, isto é combinando testes computacionais com avaliação com usuários, e aqueles avaliados apenas de forma automática (por exemplo, através de testes computacionais), representam um total de 17% cada um.

Como identificado no Gráfico 2f, 69% dos trabalhos não utilizam corpus linguístico no processo de tradução. Daqueles que utilizam corpus linguístico, 27% fazem uso de um corpus bilíngue, não sendo observado nenhum estudo realizado utilizando apenas corpus unilíngue da língua de sinais.

Quanto ao objetivo do artigo, foram encontrados apenas estudos classificados como sistema e experimental, de acordo com a classificação definida para os tipos de artigo (item 7 desta seção). Destes, 97% dos artigos tem objetivo categorizado como sistema, e apenas 3% descrevem experimentos.

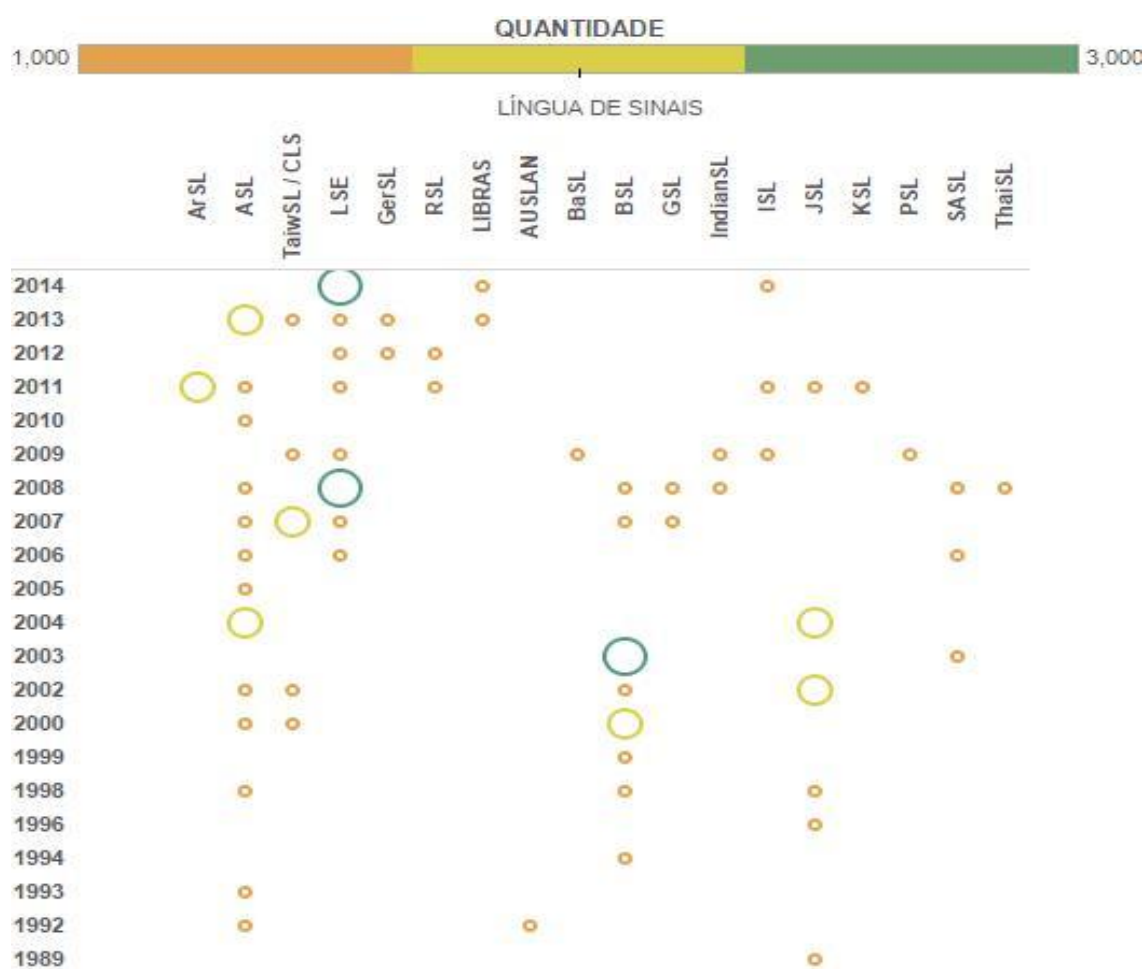


Gráfico 3: Grupos temáticos e quantitativo de artigos relacionados por ano

A partir dos enfoques dos artigos, foi possível agrupá-los de acordo com a Língua de Sinais utilizada na saída do processo de tradução automática. Sendo assim, conforme demonstrado no Gráfico 3, a abordagem possuímos 18 grupos temáticos que refletem as saídas das línguas de sinais. Além disso, no Gráfico 3 permite verificar que o maior número de publicações tem ASL como a LS de saída, seguida da LSE.

Uma visão dos artigos que compõem esta revisão sistemática contendo a inter-relação entre as categorias estratégia de tradução, domínio da tradução e método de avaliação pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1: Relação entre as categorias Estratégia de Tradução, Método de Avaliação e Domínio de Tradução

Domínio De Tradução	Estratégia	Método De Avaliação							
		Automático		Com Usuário		Híbrida		Sem Classificação	
Específico	Estatística	3	4,00%	-	-	1	1,33%	-	-
	Híbrida	3	4,00%	1	1,33%	2	2,67%	-	-
	Regras	1	1,33%	4	5,33%	3	4,00%	5	6,67%
	Sem Classificação	-	-	3	4,00%	-	-	1	1,33%
Geral	Estatística	1	1,33%	-	-	3	4,00%	-	-
	Híbrida	-	-	-	-	1	1,33%	2	2,67%
	Regras	5	6,67%	2	2,67%	3	4,00%	24	32,00%
	Sem Classificação	-	-	-	-	-	-	3	4,00%
Sem Classificação	Híbrida	-	-	-	-	-	-	1	1,33%
	Regras	-	-	-	-	-	-	2	2,67%
	Sem Classificação	-	-	1	1,33%	-	-	-	-
Total		13	17%	11	15%	13	17%	38	51%

A Tabela 1 nos permite observar que todos os trabalhos que relatam o uso de estratégia de tradução estatística realizam algum tipo de avaliação. Além disso, observamos que existe uma grande concentração de trabalhos que usam a estratégia de tradução baseada em regras e para domínio geral de tradução que não descrevem nenhum tipo de avaliação (32%). Sob esta perspectiva, os trabalhos detalhados na próxima seção são aqueles que adentram no tratamento do sintático e/ou semântico da tradução.

3.2 Discussão

Nesta seção será apresentada uma descrição dos estudos selecionados que possuem adequação sintática e/ou semântica nas suas estratégias de tradução automática. Este recorte delimitando o escopo da análise qualitativa tem como objetivo focar no objeto da pesquisa desenvolvida. No apêndice encontra-se a revisão sistemática com a descrição qualitativa de todos os estudos mencionados no Gráfico 3.

3.2.1 Tradução para a Língua Brasileira de Sinais - LIBRAS

Araújo et al (2013) descreve uma arquitetura para a tradução automática da língua portuguesa do Brasil para a LIBRAS no cenário de domínio geral e em tempo real, tais como a TV. O sistema chamado de LibrasTV recebe como entrada um fluxo de texto, proveniente do *closed caption* e gera uma janela com um avatar em LIBRAS. O sistema descrito utiliza estratégia de tradução baseada em regras e em estatística e realiza validação com usuários.

Como o sistema proposto por Araújo et al (2013) objetiva a tradução automática em tempo real, ele recorre a estratégias que auxiliem na diminuição do tempo de processamento, tais como, utilização de dicionário de LIBRAS com sinais pré-renderizados, e a implementação de máquina de tradução da língua portuguesa do Brasil para glosa em LIBRAS.

A arquitetura desenvolvida prevê a existência de dois módulos, sendo o primeiro identificado como módulo Tradutor de LIBRAS e o segundo é o módulo Exibidor. No módulo tradutor há a extração do texto do *closed caption*, que é submetido ao processo de tradução e devolve como produto uma sequência de glosas. Esta sequência de glosas é codificada pelo *encoder* e encaminhada de forma sincronizada para o *decoder*. A tradução combina táticas tais como, as regras de transferência morfosintáticas, definidas por especialistas; o método estatístico de compressão de dados para classificar os *tokens* de entrada (palavras); a simplificação textual para reduzir a complexidade da entrada antes da aplicação destas regras de tradução.

O *decoder* encontra-se no módulo Exibidor, este após receber o *stream* decodifica-o encaminhando para o exibidor. O exibidor realiza a substituição das glosas pelos sinais correspondentes localizados no dicionário de LIBRAS, gerando a janela de LIBRAS.

Araújo et al (2014) apresenta uma modificação na arquitetura inicialmente proposta, onde se observa a expansão dos cenários de uso, sendo demonstrado a viabilidade de uso da

solução na Web e Cinema Digital, além da TV digital. A nova solução, denominada VLibras, incorporação também estratégias de computação humana, sendo estas previstas na construção dos sinais e na definição de regras sintáticas.

Os testes de validação de Araújo et al. (2013) abordam medidas quantitativas e avaliações qualitativas com usuários. Foram utilizados vídeos com durações diferenciadas. Em um primeiro momento executou-se testes automáticos no analisador morfossintático, em seguida foram realizados testes automáticos para verificar a média do *delay* e a largura de banda necessária para o encaminhamento do fluxo codificado de LIBRAS. Por fim foram realizados testes com usuários surdos para verificar informações subjetivas tais como a compreensão da tradução gerada.

A validação da solução de Araújo et al. (2014) considera a inteligibilidade da tradução gerada, além de questões como adequações sintáticas, naturalidade e qualidade dos movimentos do avatar. São feitos ainda testes de *delay*, que mostraram que a solução proposta não ultrapassa o retardo máximo aceitável pelas normas nacionais que é de 4 segundos. No que se refere ao componente de computação humana observa-se que o seu uso permite a modelagem de sinais de forma mais rápida do que com os animadores possuindo uma boa taxa de acertos.

3.2.2 Tradução para a Língua De Sinais Americana - ASL

Na pesquisa de Zhao (2000) apresenta-se um protótipo de tradutor automático do inglês para ASL, considerando as questões linguísticas, visuais e espaciais relativas a esta LS. A tradução proposta é desenvolvida em duas etapas, a primeira trata da tradução do texto em inglês gerando glosas que consideram aspectos sintáticos, gramaticais e morfológicos da informação. A segunda etapa faz uma interpretação da glosa gerada na etapa anterior e adiciona parâmetros de movimento. Este artigo de Zhao (2000) não descreve nenhuma estratégia de avaliação, utiliza tradução baseada em regras sem a presença de um corpus linguístico. Além disso, ele utiliza texto como informação de entrada de dados e produz animações baseada em avatares como saída.

Huenerfauth (2004) apresenta uma proposta de tradução de textos em inglês para animações em língua de sinais americana. Ele propõe uma nova representação semântica que usa um modelo de cena 3D de realidade virtual para produzir fenômenos de ASL especialmente complexos chamados "classificador". O modelo atua como uma interlíngua dentro de um novo projeto de arquitetura de tradutor multi-caminho que também incorpora as

abordagens de tradução direta e de tradução baseada em transferência em um único sistema. Em Huenerfauth (2005a), o mesmo autor usa representações de discurso, semântica, sintaxe e (sinal) fonologia adaptados para geração de ASL. Em particular, as traduções fazem uso de classificadores e da marcação do espaço de sinalização. Neste último trabalho, nenhuma proposta de avaliação é apresentada ou descrita.

Huenerfauth (2008) traz uma abordagem híbrida de tradução que combina tradução baseada em interlíngua, baseada em transferência e direta, que são aplicadas de acordo com a sentença de entrada. Como marca dos trabalhos deste autor há sempre a preocupação da modelagem dos classificadores no sistema de tradução. Um dos problemas relatados pelo autor, no uso de soluções baseadas em interlíngua, é a dificuldade de projetar um sistema sob esta perspectiva para ser aplicado em conteúdos de domínio geral. Normalmente, esse tipo de abordagem só é viável para domínios limitados e específicos. Além disso, existem sentenças em inglês em que uma análise semântica profunda não é necessária o que viabiliza o uso de uma abordagem baseada em transferência.

Um experimento com usuários para confrontar a qualidade dos conteúdos gerados pela solução de Huenerfauth (2008) baseada em classificadores, foi realizada e descrita no artigo de Huenerfauth et al. (2007). Huenerfauth et al. (2007) buscaram verificar a qualidade de conteúdos gerados por uma solução baseada em tradução direta. Os resultados mostraram que os usuários consideraram os conteúdos gerados significativamente mais naturais, gramaticalmente corretos e compreensíveis do que a solução baseada em tradução direta. Além disso, em testes realizados para avaliar o nível de compreensão dos usuários foi possível verificar que os usuários conseguiram compreender melhor os conteúdos quando este explorava o uso de classificadores.

3.2.3 Tradução para a Língua de Sinais Árabe - ArSL

Almasoud e Al-Khalifa (2011) apresentam solução que tem como objetivo melhorar o processo de tradução no que se refere à adequação semântica da língua de sinais árabe. Para realizar essa tarefa, eles propõem a adição de uma camada extra de semântica ao traduzir texto em árabe para ArSL, com o auxílio da web semântica. A solução foi desenvolvido para aplicação em conteúdos de domínio específico, recebe como entrada texto escrito em árabe,

usa estratégia de tradução baseada em regras, e apresenta como saída a representação escrita de sinais sob a notação *signwriting*⁷.

A arquitetura do sistema de tradução de Almasoud e Al-Khalifa (2011) prevê a existência de três módulos: módulo de análise morfológica, módulo de transformação gramatical e módulo de tradução semântica. O módulo de análise morfológica retorna um par <feature><value> (a característica da palavra junto com o seu valor) para cada palavra da sentença. Esses pares são então encaminhados para o módulo de transformação gramatical que aplica regras de acordo com as características da palavra. Por fim, o módulo de tradução semântica recebe o resultado do módulo de transformação gramatical e encontra cada palavra um sinal de acordo com o domínio da ontologia proposta. Caso não exista um sinal representativo para alguma das palavras, o sistema gera a datilologia da palavra. Neste trabalho, não é descrito nenhum processo de avaliação do sistema, comentando apenas que esta deveria ser feita com usuários experientes na língua.

3.2.4 Tradução para a Língua de Sinais Chinesa/Taianesa – CSL/TaiwSL

Li et al (2013) trazem uma abordagem de tradução que considera o contexto no qual é produzida a mensagem inicial para gerar a tradução em CSL, ou seja, a tradução passa por um processo de adequação semântica. Assim, este projeto tem como proposta descrever e compreender como o contexto influencia em tornar a mensagem mais inteligível. Para tanto, o processo de tradução utilizado é baseado em regras formuladas a partir de um método de revisão de comportamento que visa o ajuste de contexto, utilizando regras que consideram o comportamento gramatical, a tensão, o tom e a emoção. Este sistema não faz uso de corpus linguístico, foi desenvolvido para um âmbito geral e teve a sua validação realizada com usuários.

Xu e Gao (2000) realizam a tradução de textos em chinês para CSL. A estratégia de tradução é baseada em regras e o sistema desenvolvido é proposto para domínio geral da tradução, não sendo observada avaliação dos resultados. Sua arquitetura é composta por um analisador gramatical que recebe o texto em chinês e encaminha o produto para um módulo de produção da codificação em CSL. Este módulo da produção da codificação CSL aplica as regras para a adequação linguística da CSL e posteriormente encaminha o resultado do seu

⁷ Sistema de escrita de sinais criado por Valerie Sutton em 1974 que expressa configuração de mãos, movimento, ponto de articulação, direção e expressões não manuais do sinal em língua de sinais⁽⁴⁾.

processamento para o módulo de visualização da animação. Este último módulo é responsável gerar animações utilizando um agente animado virtual.

Por fim, Lin et al (2002) apresentam um modelo de regras de tradução do chinês para a CSL, onde há um mapeamento da estrutura da língua chinesa e propositura de regras para a transformação das sentenças em CSL. Este estudo não apresenta o desenvolvimento de sistema apenas há propositura de um modelo de regras de tradução.

3.2.5 Tradução para a Língua de Sinais Coreana - KSL

Chung, Lee e Park (2011) propõem uma solução para a tradução de textos na web utilizando um dispositivo móvel, com o objetivo de melhorar o acesso à informação do conteúdo web aos surdos. Ele utiliza texto em língua coreana como entrada, e gera animações em KSL como saída.

O sistema de Chung, Lee e Park (2011) foi concebido visando melhorar a portabilidade, a dimensionalidade da posição, o sincronismo e a escalabilidade. Ele tem estrutura formada por cliente, servidor e *mobile*, onde o usuário ao acessar um site no cliente, inicializa um *plug-in* que realiza a comunicação com o servidor e o *mobile*. Esta comunicação inicia-se com o cliente enviando o texto a ser traduzido para o servidor que encaminha uma *stream* de vídeo com a animação avatar contendo a tradução para o KSL para o *mobile* onde é tocada.

O processo de tradução do aplicativo proposto por Chung, Lee e Park (2011) ocorre efetivamente no servidor. No entanto, o cliente antes de encaminhar o texto a ser traduzido faz um pré-processamento de análise morfológica e análise semântica e sintática das sentenças. No servidor quando o texto é recebido há uma transformação do texto baseada na morfologia das palavras e depois uma simplificação das sentenças. Em seguida ocorre um processo de resolução de ambiguidade, verificação da concordância verbal, de sincronização das interações manuais e não manuais do sinal, e por fim o posicionamento espacial da sinalização. Este passo gera um script de animação que é responsável por gerar a animação tocada no dispositivo móvel.

Ressalta-se que um dos diferenciais deste sistema é a propositura da realização da adequação semântica da tradução, considerando as expressões não manuais. Observa-se, também, que Chung, Lee e Park (2011) expõem uma tabela demonstrando a análise de resultados sobre os critérios de análise (escalabilidade, sincronismo, dimensionamento da posição e portabilidade), porém eles não informam como esta avaliação foi realizada.

3.2.6 Tradução para a Língua de Sinais Espanhola – LSE

As pesquisas de D'Haro et al. (2008), Gallo et al. (2009), López-Ludeña et al. (2011, 2012, 2013, 2014a, 2014b), Pezeshkpour et al. (1999), San-Segundo et al. (2006, 2007, 2008a, 2008b) propuseram uma arquitetura para traduzir voz em língua espanhola de sinais (LSE) com enfoque em ajudar pessoas surdas no atendimento em serviços públicos (domínio específico). O objetivo é colaborar para proporcionar uma condição de exercer os direitos de cidadão aos surdos.

Gallo et al. (2009), López-Ludeña et al. (2011, 2013, 2014a, 2014b), San-Segundo et al. (2007, 2008b) utilizam uma estratégia de tradução híbrida. San-Segundo et al. (2006, 2008a) relatam o uso de tradução baseada em regras. Os demais trabalhos usam a tradução baseada em estatística. Observa-se ainda que todos as publicações geram como saída a visualização da LSE através de avatar, exceto os estudos D'Haro et al. (2008), San-Segundo et al. (2007), López-Ludeña et al. (2012) e Porta et al. (2014) que apresentam como saída a glosa. Outra diferença é que todas as propostas utilizam corpus bilíngue salvo o sistema de D'Haro et al. (2008) pois, o mesmo apresenta corpus oral (unilíngue – língua oral) e San-Segundo et al. (2008a) que não menciona a utilização de corpus linguístico.

A arquitetura da solução de López-Ludeña et al. (2011, 2012, 2013, 2014b) é composta por três módulos: um Reconhecedor de Voz, um Tradutor de Linguagem Natural e um módulo de Animação. O Reconhecedor de Voz converte a fala em uma sequência textual. O módulo Tradutor de Linguagem Natural transforma a sequência textual em uma sequência de sinais em LSE, enquanto que o módulo de Animação gera a animação do avatar-3D de acordo com a sequência de sinais repassada.

López-Ludeña et al. (2014b) mostram em seus resultados que a sua solução possui uma acurácia maior do que as estratégias baseadas apenas em regras ou estatística. No entanto, os autores fazem uma ressalva de que a dependência de um corpus bilíngue pode representar um gargalo para a adoção da mesma visto que a LSE é uma língua recente e ainda não totalmente consolidada. Outra observação verificada a partir da validação do sistema de López-Ludeña et al. (2014b) é que há maior acurácia no reconhecimento de sentenças curtas, ou seja, que utilizam menos sinais.

Todos os trabalhos apresentados nesta seção, exceto o de López-Ludeña et al. (2014a), embora tratem de diferentes estratégias de tradução (baseada em regras, estatística e híbrida) e tenham produzido importantes contribuições, todos eles são restritos a um domínio

específico o que restringe a informação sobre o comportamento do mesmo no domínio de tradução geral.

López-Ludeña et al. (2014a) traz como produto a geração de glosa com estratégia de tradução baseada em regras, no entanto, ressalta que a glosa é um passo intermediário para a geração dos sinais. A proposta deste sistema, diferentemente dos demais apresentados nesta seção, é de domínio geral e tem como entrada o texto. A arquitetura do sistema é composta por um analisador, um módulo de transferência e um gerador. O Analisador é responsável pela identificação das dependências morfológicas na LO e na LS produzindo uma árvore de dependência que representa as relações funcionais entre as palavras, pois abstrai a localização das palavras. O módulo de transferência faz um mapeamento entre as dependências existentes na LO e na LS e realiza as substituições lexicais (léxico-morfológica e semântica) e estruturais. Por fim, o gerador é responsável pela ordenação das palavras considerando a árvore de dependência da LSE, gerando uma sequência de glosas em LSE.

A validação do sistema de López-Ludeña et al. (2014a) apesar de realizada apresenta como ressalva que a aplicação está incompleta pois, a glosa é um passo intermediário usado na tradução da LO em LS e portanto, não é bem compreendida pelos surdos. No entanto, testes automáticos realizados demonstram que a tradução gerada para domínio geral alcançaram taxas equivalentes de sistemas que são de domínio específico.

3.2.7 Tradução para a Língua de Sinais Inglesa - BSL

O sistema de tradução proposto por Marshall e Sáfár (2003) apresenta quatro estágios: (1) análise sintática do inglês; (2) geração da estrutura de representação do discurso; (3) transferência semântica; e (4) geração da escrita HamNoSys. O estágio de análise sintática estabelece as ligações que caracterizam as dependências sintáticas. Ela utiliza interferência do usuário para determinar a dependência correta quando existem múltiplos elos. A geração da estrutura de representação do discurso é responsável por capturar o conteúdo semântico do texto, enquanto que a transferência semântica gera uma adequação do discurso em inglês para BSL. Por fim, a produção da escrita de sinais HamNoSys ocorre através da transformação do produto obtido pelo estágio 3 em uma notação fonética de HamNoSys que é utilizada para gerar uma animação gerada com um avatar.

Elliot et al. (2000) propõe-se a desenvolver uma notação compatível com XML para descrever a língua de sinais, assim como, um *framework* que suporte a tradução do texto em língua natural em uma notação orientada ao gesto. A estratégia de tradução utilizada é

baseada em regras e desenvolvida para um domínio geral, mas não há relato sobre a realização de testes e experimentos com a solução.

3.2.8 Tradução para a Língua de Sinais Italiana - ISL

Lesmo, Mazzei e Radicioni (2011) descrevem uma ontologia para a tradução da língua italiana para a língua de sinais italiana (ISL). A justificativa dessa proposta de modelo baseia-se na insuficiência de estudos sobre a estrutura linguística da ISL. A análise proposta é baseada em um domínio específico de interpretação semântica de previsões meteorológicas. Utiliza-se de estratégia de tradução baseada em regras que procede a análise semântica. Como regra de interpretação semântica, os autores supõem que as palavras significativas podem ser expressas em termos de nós de ontologia, e o significado da frase é um caminho complexo sobre a ontologia, a restrição ontológica. Eles relatam ainda a existência de confrontos semânticos que foram resolvidos através de uma heurística. Essa heurística, no entanto, não é descrita na íntegra no trabalho.

O projeto ATLAS de Shoaib et al. (2014) tem como objetivo desenvolver ferramentas que deem suporte aos surdos a terem acesso a conteúdos e serviços de Tecnologia da Informação. Ele é composto por vários módulos, tais como o tradutor linguístico e o animador de personagens virtuais. Como exemplo de serviços oferecidos ao usuário elenca-se o dicionário de ISL on line, bem como, um editor para tradução manual. Os serviços do projeto ATLAS têm como foco os recursos lexicais e um corpus em ISL que são usados para treinar o tradutor e é base do dicionário on line (SHOAIB et al., 2014).

O ATLAS usa uma estratégia de tradução híbrida, baseada em regras e estatística, tendo como foco principal um domínio específico de tradução. Ele gera como saída um texto em AEWLIS (Atlas EWLIS), que é uma representação intermediária contendo as relações fonológicas, sintáticas e semânticas, sendo este posteriormente encaminhado para um componente de animação. Os autores propõem que os recursos léxico gerados sejam integrados ao MWN (MultiWordNet)⁸ (SHOAIB et al., 2014).

⁸ MultiWordNet é um popular banco de dados lexical multilíngue no qual as palavras são conectadas por meio de relações léxico-semânticas e organizadas em conjuntos de sinônimos (SHOAIB et al., 2014).

3.2.9 Tradução para a Língua de Sinais Japonesa – JSL

O objetivo de Murakami et al. (2002) é tornar as animações mais naturais, através da inclusão de modificadores para realçar determinadas características. Sendo assim, o método proposto utiliza regras gramaticais para intensificar parâmetros como extensão, velocidade e frequência. Essa estratégia visa permitir que os dicionários sejam menores, uma vez que não é necessário registrar uma animação para cada expressão enfatizada. Porém cabe a ressalva que esta proposta ignora as expressões não manuais que são de extrema importância para a compreensão da semântica e pragmática em questão. A solução apresenta uma avaliação realizada com usuários que consideraram, de acordo com os autores, a tradução natural.

Hou e Aoki (2004b) propõem um aplicativo que permita a comunicação não-verbal utilizando interface de chat de linguagem natural, mas também é adequada para treinamento multimídia em língua de sinais. Eles utilizam como a JSL e CSL como línguas alvo, e como diferencial em relação a soluções anteriores como as descritas em Li, Aoki e Kim (1998) e de Hou e Aoki (2004a), apresentam um módulo de extração semântica que tem como objetivo melhorar a qualidade da tradução e também proporcionar uma tradução em tempo real. Este módulo de extração de características semânticas busca descrever informações que serão repassadas ao sintetizador de animação como forma de gerar uma animação mais natural.

3.2.10 Tradução para a Língua de Sinais Russa - RSL

Grif et al. (2011) e Grif et al (2012) abordam a tradução automática da língua russa para a língua de sinais russa. O primeiro utiliza voz em língua russa como entrada, enquanto que o segundo usa a forma escrita como entrada. Ambas as propostas geram animações em RSL como saída.

O sistema descrito no estudo de Grif et al. (2011) é uma evolução do artigo de Grif et al. (2012) pois utiliza o mesmo processo de tradução apenas incorporando um módulo de reconhecimento de voz para manipular a entrada de voz. A estratégia de tradução implementada combina tradução baseada em regras e estatística, possuindo os módulos de análise, operação interlingual, sintetização e visualização dos resultados. O módulo de análise realiza análise grafêmica, morfológica, sintática e semântica. A análise grafêmica é responsável por reconhecer o texto; enquanto que a análise morfológica utiliza métodos da morfologia *fuzzy* para identificar as características das palavras. A análise sintática é responsável por identificar as relações entre os elementos da sentença. Por fim, a análise

semântica utiliza árvores de dependência construídas baseadas nos resultados da análise sintática. Nenhuma das publicações, no entanto, descreve métodos de avaliação dos resultados.

3.2.11 Tradução para a Língua de Sinais Sul Africana – SASL

va Zijl e Barker (2003) apresenta-se uma abordagem que utiliza um sistema de escrita de sinais como parte de um tradutor automático de SASL. De acordo com va Zijl e Barker (2003) esta combinação tem três vantagens principais, tais como: (1) a interface icônica e ideográfica melhora o problema de passar etiquetas das frases com a palavra categorias e parte do discurso (POS) para sistemas de tradução automática, o que melhora a precisão da tradução; (2) a interface icônica e ideográfica apresenta uma oportunidade de capturar a línguas de sinais quando palavras-sinais estão associadas com entrada botões nas diversas folhas; e (3) a interface icônica e ideográfica torna possível capturar várias instâncias de línguas.

O sistema de tradução de va Zijl e Barker (2003) é de domínio geral, com estratégia de tradução baseada em regras que recebe como entrada texto em inglês e gera saída em SASL visualizada através de avatar. Na proposta deste sistema a entrada de texto é gerada pelo sistema de a interface icônica e ideográfica GNAApp que descreve as palavras em notação de escrita de sinais que são agrupadas no sistema de acordo com a temática. Essa condição minimiza muitos problemas de ambiguidade da tradução. A validação é realizada através de testes automáticos e descreve os ganhos de tradução desempenho, precisão e cobertura da tradução. Os resultados mostram que o uso da interface icônica e ideográfica reporta melhorias nos parâmetros de análise elencados. A solução também apresenta o foco no avatar, principalmente na manipulação das expressões faciais, visto que, elas são relevantes na adequação semântica de linguística de LS, assim como, na demonstração de emoções.

va Zijl e Combrink (2006) relatam o status atual do SASL-MT mencionado no artigo de va Zijl e Barker (2003) e, em seguida, abordam a construção do espaço de sinalização e a geração de expressões não-manuais. A proposta utiliza como entrada textos em inglês e tenta extrair o conteúdo emocional, stress e outras informações semânticas para gerar as expressões não-manuais.

O sistema de va Zijl e Olivrin (2008) considera dois níveis de detalhe para sentenças. O primeiro trata de palavras específicas na frase, e o segundo é a combinação de palavras para formar frases. Durante a geração do discurso as sentenças são marcadas com metadados que

indicam expressividade, entonação de palavras específicas e o ritmo da frase. A validação do aplicativo de va Zijl e Olivrin (2008) foi realizada através de testes com diferentes tipos de documentos, que variam em conteúdo emotivo. Como resultado observou-se que os textos acadêmicos mostraram emoção neutra (como esperado), enquanto artigos de jornal mostraram emoções mais elevadas e mais flutuantes. Porém algumas *tags* motivais foram camufladas o que é um defeito. Outros testes demonstraram que o sistema pode identificar o tipo de sentença (afirmação, interrogação ou exclamação) que gera diferenças não-manuais em línguas de sinais.

3.3 Considerações Finais

A análise dos trabalhos demonstra que existe uma substancial quantidade de estudos que tratam do assunto tema, tradução automática da língua oral para a língua de sinais. Além disso, percebe-se que existem pesquisas que relatam estratégias de tradução simples onde são realizadas apenas substituição de palavras ou soletração manual, assim como, propostas bastante sofisticadas e complexas que usam modelos híbridos de tradução.

Porém, constatou-se que grande parte destas pesquisas não utilizam metodologias de avaliação, mas aqueles que as fazem não utilizam padrões de avaliação, ou seja, alguns apenas avaliam métricas extraídas por meio de testes automáticos enquanto outros realizam testes qualitativos com usuários. Revela-se ainda que não há uma uniformização das características a serem avaliadas, sendo esta questão importante quando se pensa que a implantação de inovações no processo de tradução podem beneficiar alguns aspectos, porém, prejudicar outros. Portanto, alguns critérios que deveriam ser observados como relevantes na validação dos tradutores automáticos são: qualidade de tradução, nível de compreensão dos conteúdos pelos usuários, o tempo ou atraso de tradução, a naturalidade da apresentação, dentre outros.

Verifica-se também, que existem poucos trabalhos que relatam sistemas de tradução automática de âmbito geral para a utilização em TV, assim como, observou apenas uma solução desenvolvida para tradução de transmissões em salas de cinema. Nos trabalhos descritos não há soluções que explorem algum tipo de estratégias de computação que auxilie no desenvolvimento das construções linguísticas das soluções e na evolução da qualidade dos conteúdos gerados ao longo do tempo.

Existem alguns trabalhos que relatam pesquisas voltadas para realizar a correta utilização do espaço de sinalização, característica marcante da língua de sinais. Assim também ocorre em relação a sistemas que abordam a tradução incorporando classificadores,

porém, estas pesquisas ainda são insuficientes e não conseguiram ser aplicadas em um processo de tradução de domínio geral.

Por fim, identifica-se que nenhuma das pesquisas aborda o aspecto linguístico da LS que está intrincado ao processo de interpretação, que é a tradução do diálogo. Uma das características de interpretação da LS é que quando se sinaliza diálogo(s) o intérprete realiza movimentos rotacionais do tronco (*crossover*) para identificar a mudança do emissor do discurso. Esse aspecto é relevante quando se percebe na tradução automática no âmbito da TV, por exemplo.

Concluem-se diante da revisão sistemática de literatura que, apesar as inúmeras pesquisas existentes na área, ainda há muitos problemas a serem solucionados sobre o assunto em foco. Destaca-se, em especial, as limitações sobre a adequação sintático-semântica das traduções para conteúdos de domínio geral, foco da contribuição deste trabalho. Porém, mesmo ainda sendo necessárias muitas melhorias no processo de tradução automática da língua oral para a LS, as soluções existentes já contribuem de forma significativa para o acesso a informação dos surdos.

No próximo capítulo, o VLibras, serviço de tradução de LIBRAS para plataforma multimídia proposto por Araújo et al. (2014) será apresentado em maiores detalhes. A justificativa para tal detalhamento é que a solução proposta neste trabalho tem como objetivo melhorar a qualidade da tradução gerada pelo VLibras a partir da incorporação de aspectos sintático-semânticos.

4 VLIBRAS – SERVIÇO DE TRADUÇÃO AUTOMÁTICA PARA LÍNGUA BRASILEIRA DE SINAIS

Neste capítulo é apresentado o VLibras, um serviço de tradução automática para LIBRAS, desenvolvido por Araújo et al. (2014) no Laboratório de Aplicações de Vídeo Digital – LAVID da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Este serviço foi concebido para três cenários de uso: TV Digital, Web e Cinema Digital; e realiza traduções para textos de domínio geral.

Conforme mencionado no Capítulo 1, o VLibras de Araújo et al. (2014), assim como outros tradutores automáticos para LIBRAS, possui limitações de tradução, especialmente com relação ao tratamento das questões sintáticas e semânticas. Com o objetivo de reduzir essas limitações, a solução proposta neste trabalho, envolve reestruturação do tradutor que é um componente de software desenvolvido para realizar tradução automática para LIBRAS. A este será incorporado um banco de regras, uma gramática, que trataram alguns aspectos sintático-semânticos, como, por exemplo, o tratamento dos tempos verbais, dos advérbios de negação e intensidade, entre outros.

A solução proposta é integrada ao VLibras, por isso a importância de descrevê-lo neste Capítulo. É importante ressaltar, no entanto, que não se pretende eximir todas as limitações do VLibras, mas contribuir na redução destas. Também é importante destacar que esse Capítulo não tem como intenção esgotar todos os aspectos relacionados ao VLibras. A ideia é apenas posicionar o serviço no contexto ao qual será integrada a solução proposta, apresentando o seu modo geral de funcionamento e suas características. Maiores informações podem ser encontradas em Araújo et al (2013 e 2014).

4.1 Arquitetura e Componentes do VLibras

O VLibras, que é utilizado na implantação da solução proposta neste trabalho, possui uma arquitetura composta por uma série de componentes de software (ver Figura 10). Além dos componentes de Filtragem e Extração de legendas que são utilizados para filtrar extrair textos dos conteúdos multimídia, ele é composto também por um componente de Tradução, que é o principal foco deste trabalho e onde será incorporada a solução proposta, um componente de Animação e um componente de Sincronização e Distribuição. Esses três últimos componentes, considerados o núcleo geral da solução, serão apresentados nas Seções 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3.

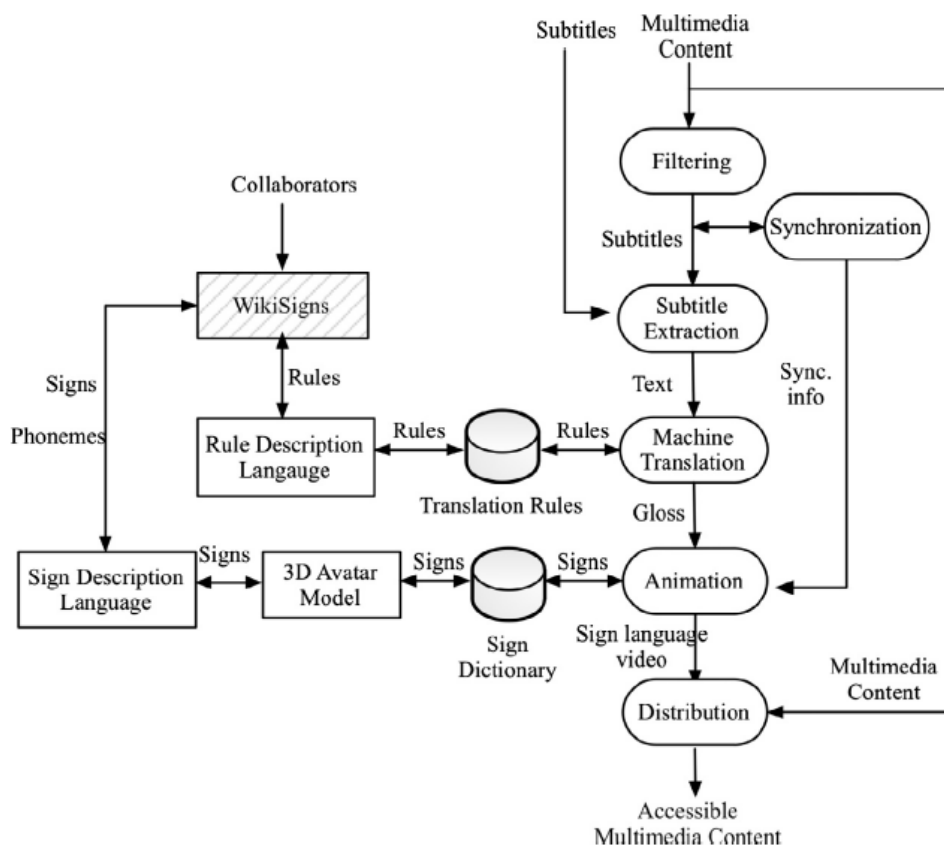


Figura 10: Arquitetura do Projeto e Acessibilidade como um Serviço
Fonte: ARAUJO et al, 2013, p. 765

4.1.1 Componente de Tradução

O componente de Tradução é responsável pela conversão do texto recebido em língua oral em língua de sinais expressa em glosa. Este módulo utiliza uma estratégia de tradução híbrida onde faz uso de método de compreensão estatístico (classificação morfológica das palavras), estratégias de simplificação (exclusão de artigos e transformação dos verbos para infinitivo), e um conjunto de regras morfossintáticas, elaboradas por especialistas na LS.

O fluxo de trabalho do componente de tradução do VLibras se dá em quatro etapas. A primeira etapa, descritas a seguir.

(1)Classificação: realiza a classificação morfológica e sintática das palavras fazendo uso do PPM-C (variação do *Prediction by Partial Matching*);

(2)Simplificação: realiza a remoção dos artigos e preposições, substituição lexical (dicionário de sinônimos) e substituição verbal (verbo no infinitivo);

(3)Datilologia: realiza a soletração dos nomes próprios, siglas e nomes técnicos;

(4)Aplicação de regras: realiza a aplicação de regras, descritas por uma linguagem de descrição de regras, que buscam fazer a ordenação das sentenças.

Dessa forma, o componente atual de tradução do VLibras consegue atender apenas de forma parcial as regras de adequação da LIBRAS. São observadas várias limitações nesta solução, sendo estas relacionadas aos níveis linguísticos morfológicos, sintáticos, semânticos e pragmáticos.

A Tabela 2 elenca as limitações existentes na versão atual do tradutor ao passo que sinaliza a atuação das regras elaboradas e propostas neste trabalho.

Tabela 2: Problemas identificados na tradução, com sinalização dos tratados na versão atual tradutor e na nova versão proposta para o tradutor

	Tradutor (Versão Atual)	Tradutor (Nova Versão)
Análise morfológica do PB	X	X
Análise sintática do PB		X
Substituição lexical por palavras sinônimas	X	X
Tratamento do tempo verbal		X
Adequação semântica do uso dos advérbios de intensidade e negação		X
Tratamento dos substantivos comuns de dois gêneros		X
Tratamento dos Verbos de Ligação		X
Eliminação Qualificada dos Artigos e Preposições		X
Tratamento do substantivo composto		
Tratamento de sentenças na voz passiva		
Tratamento dos aspectos sintáticos dos verbos direcionais		
Tratamento de períodos simples com mais de um verbo e de períodos compostos		
Adequação semântica de palavras homônimas		
Uso de classificadores		
Ajuste da Pragmática de diálogos		

4.1.2 Componente de Animação

O componente de Animação é responsável por converter uma sequência de glosas em um vídeo em LIBRAS, utilizando um dicionário com vídeos para cada sinal em LIBRAS. Esse dicionário é descrito formalmente por um conjunto de tuplas (t) no seguinte formato:

$$t = \langle g, v \rangle$$

onde cada tupla (t) é composta por uma glosa (g), identificação escrita do sinal, e um vídeo (v).

A aplicação utiliza o sistema de vídeo produzido com avatar, pois este permite a redução de custos com uso de intérpretes, a ampliação do dicionário mantendo os mesmos parâmetros de sinalização (local, características físicas do modelo, aspectos relacionados a iluminação, cor de roupa, etc). O vídeo de LIBRAS final gerado pelo componente de Animação será então sincronizado e distribuído na plataforma multimídia correspondente (TV Digital, Web ou Cinema).

4.1.3 Componente de Distribuição

O componente de distribuição e sincronização recebe vídeo acessível e distribui o conteúdo multimídia podendo este ser mixado, multiplexado ou disponibilizado em uma segunda tela. A mixagem é a estratégia utilizada prioritariamente na Web, enquanto que a multiplexação é prevista como solução para a DTV, pois irá atender as necessidades específicas do usuário final. Por fim, a estratégia de distribuição que usa a segunda tela é a solução implementada para tornar acessível o cinema digital.

5 SOLUÇÃO: LINGUAGEM DE DESCRIÇÃO E GRAMÁTICA

A solução é composta uma linguagem formal de descrição de regras e uma gramática para realizar tradução automática para LIBRAS envolvendo alguns aspectos sintático-semânticos, como, por exemplo, o tratamento dos tempos verbais, dos advérbios de negação e intensidade, entre outros. Uma linguagem formal de descrição de regras foi modelada, para auxiliar na formalização das regras de trabalho. A importância de uma linguagem como essa é corroborada por Othero (2009, p.14) quando ele afirma que “o estudo da sintaxe de uma língua pode ser essencial para seu tratamento computacional em diversos outros níveis de descrição linguística, e normalmente trabalhos de implementação computacional em uma língua envolvem o tratamento sintático ou morfossintático dessa língua”.

Adicionalmente, com base na linguagem proposta, foi definida uma gramática para tratamento dos tempos verbais, dos advérbios de negação e intensidade, dentre outros. Por fim, essa gramática foi integrada ao VLibras, que foi utilizado como prova de conceito, para validar a solução para traduzir conteúdos digitais multimídia para LIBRAS em diversas TICs como, por exemplo, TV Digital, Web, Cinema.

5.1 Formalização da Linguagem

Considerando que a análise sintática irá representar a sentença sob o aglomerado de sintagmas que por sua vez será formado por zero ou mais palavras, define-se formalmente uma sentença S como:

$$S = \langle sg_1, sg_2, sg_3, \dots, sg_n \rangle, \text{onde}$$

$$sg_n = \text{sintagma nominal} \mid \text{sintagma verbal} \mid \text{sintagma adverbial} \mid \text{sintagma adjetival} \mid \\ \text{sintagma numeral} \mid \text{sintagma quantitativo} \mid \text{sintagma preposicional} \mid \\ \text{sintagma determinante} \mid \text{sintagma possessivo}$$

ou ainda uma sentença S , quando não reconhecida pelo analisador sintático, pode ser definida como um conjunto de elementos linguísticos, representada formalmente da seguinte forma:

$$sg_i \text{ ou } S = \langle e_1, e_2, e_3, \dots, e_c \rangle, \text{onde}$$

$e_1, \dots, e_c$, são um conjunto de elementos linguísticos, ordenados de acordo com a sequência de entrada da sentença em PB e c representa o número de elementos. Estes elementos linguísticos podem ser sintagmas, tipos de palavras ou morfemas.

$e_i =$ verbo | substantivo | advérbio | adjetivo | preposição | numeral |
 pronome | artigo | conjunção | interjeição
 sintagma nominal | sintagma verbal | sintagma adverbial | sintagma adjetival |
 sintagma numeral | sintagma quantitativo | sintagma preposicional |
 sintagma determinante | sintagma possessivo

$$e_i = \langle ms_{class}, ms_{esp}, n_{pos}, n_{prop}, n_{adc}, n_{padc} \rangle, \text{onde}$$

ms_{class} representa a classe morfológica e/ou sintática do elemento linguístico; ms_{esp} é um campo opcional que indica a existência de restrições na aplicação da regra, ou seja, a regra é aplicada em elementos específicos; n_{pos} representa a nova posição do elemento após a aplicação da regra sendo indicado o valor “-1” no caso de remoção do elemento; n_{prop} é um campo opcional que indica possíveis mudanças no elemento linguístico (por exemplo, a incorporação do advérbio de negação a adjetivos, verbos e advérbios); n_{adc} também é um campo opcional que indica a adição de morfema a sentença (por exemplo, no caso do tratamento dos tempos verbais, futuro e passado, em sentenças sem a presença de advérbio de tempo); e n_{padc} é o campo opcional para informar a posição do elemento adicionado na sentença.

A Figura 11 mostra a árvore gerada pela análise sintática de uma sentença reconhecida pelo *parser*. Percebe-se que o objeto de entrada é classificado como uma sentença (S) onde esta é formada por sintagma nominal (NP) e sintagma verbal (VP). Cada sintagma (sg_i) é formado por um conjunto de elementos linguísticos, que podem ser sintagmas ou morfemas. No terceiro nó da árvore da Figura 12 observamos que o sintagma preposicional (PP) é formado por um morfema que é uma preposição (P) e um sintagma nominal (NP).

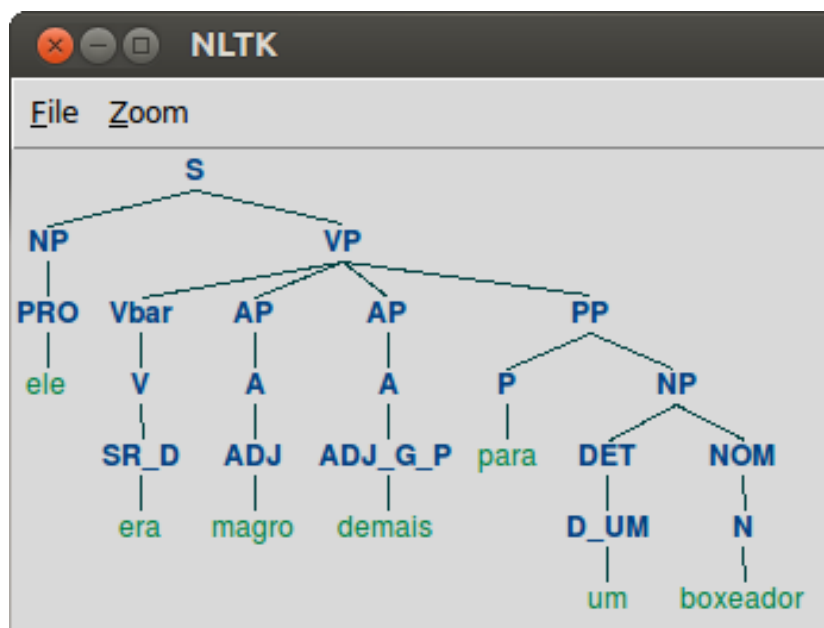


Figura 11: Resultado a análise sintática – sentença “Ele era magro demais para um boxeador”

A partir da formalização acima, foi definida uma linguagem que reflete a estrutura da frase em LIBRAS e permite a definição de regras sintáticas e semânticas. Além disso, como a LIBRAS, em alguns casos, faz a alteração do morfema para representar a adequações sintáticas fizemos uso da linguagem descrita em Silva (2012) e representada a seguir na Figura 12.

```
<locacao>
<config>
  <config-mao> </config-mao>
  <config-palma> orientacao="" sentido=""
  sentido-dedos="" </config-palma>
</config>
  <ponto-articulacao local="" subdivisao="">
</locacao>
```

Figura 12: Trecho de Documento XML para Representar a Descrição Fonológica
Fonte: Silva, 2012, p. 29

A partir da formalização descrita, definiu-se uma linguagem utilizando uma representação XML para identificar os atributos das regras de tradução. Cada regra possui um campo contador que representa o número de elementos linguísticos. Para cada elemento, existem os seguintes atributos:

- `title`: identifica a classe morfofossintática do elemento linguístico;
- `specific`(atributo opcional `msesp`): indica se regra é aplicada a um grupo específico do campo título;
- `action` (atributo `act`): indica o tipo de operação que devera ser executada pela regra;
- `newpos` (atributo `npos`): indica a nova posição do elemento após a aplicação da regra;
- `newprop` (atributo opcional `nprop`): indicam possíveis mudanças nos elementos;
- `newtoken` (atributo opcional `nadc`): indica adição de morfema, palavra, a sentença; e
- `newtokenpos` (atributo opcional `npadc`): representa a posição onde a palavra adicionada será inserida na sentença.

A Figura 13 ilustra um exemplo da representação XML de uma regra de tradução. Ela indica que uma sentença em Português caracterizada como “Sintagma Verbal (VP) + Sintagma Nominal (NP)” que está em ordem inversa deve ser traduzida para “Sintagma Nominal (NP) + Sintagma Verbal (VP)”, a ordem direta em LIBRAS.

```
<rule name = "S(VP_NP)">
  <active>true</active>
  <count>2</count>
  <class>
    <action>invert</action>
  </class>
</rule>
```

Figura 13: Exemplo de regra de tradução de ordenamento direto da sentença $S(VP\ NP) \rightarrow S(NP\ VP)$ descrita com a linguagem de descrição de regra proposta.

Outro exemplo de regra é apresentado na Figura 14. Ela indica que numa sentença que esteja no tempo futuro no PB, o verbo deve ser modificado para a forma infinitiva, seguido pelo sinal de FUTURO em LIBRAS.

```

<rule name = "VB-R">
  <active>true</active>
  <count>1</count>
  <class>
    <title>VB-R</title>
    <action>change_vb</action>
    <newprop>VB</newprop>
    <newtoken>FUTURO</newtoken>
    <newtokenpos>next</newtokenpos>
  </class>
</rule>

```

Figura 14: Exemplo de regra de tradução com tratamento de sentença no tempo futuro (VP (VB-R PP) → VP (VB PP <FUTURE>).

A partir da linguagem de descrição de regras proposta, na Seção 5.2 será apresentada uma gramática construída para traduzir conteúdos em Português para LIBRAS.

5.2 Gramática Proposta

Entendendo que o presente estudo não tem intenção de formalizar a LIBRAS, este trabalho busca contribuir com a definição de uma linguagem que possa ser utilizada por especialistas em LIBRAS para formalizar regras de análise sintática e formação de sentenças. Diante deste pressuposto não se tem a intenção de descrever todas as regras possíveis e até mesmo necessárias para a correta formação de sentenças na LIBRAS. Também é importante ressaltar que a LIBRAS ainda é uma língua que não possui uma gramática com consolidado nível de formalização. Dessa forma, muitas das soluções apresentadas advêm da observação do uso cotidiano desta LS. Ressalta-se ainda, que as regras aqui descritas possuem intenção de auxiliar a tradução automática do PB para a LIBRAS. Assim as regras de formação das sentenças de entrada são pertinentes à geração de sentenças do PB, mais especificamente as descritas por Othero (2009, p. 142-143).

As regras elaboradas são dependentes em nível morfológico ou morfossintático, sendo a primeira aplicada no módulo de adequação morfológica e a segunda no módulo de adequação sintática. As regras elaboradas são apresentadas na Tabela 3 sendo alguns exemplos detalhados a seguir. Todas as regras encontram-se detalhadas no Apêndice C.

Tabela 3: Gramática proposta usando a linguagem de descrição de regras

Mód.	Descrição	Regra	Exemplos –Português x Glosa LIBRAS
Adequação Morfológica	(1)Eliminar proposição	PP (P _x DP) → PP (DP) {em, de, por, para} PP (P _x AdvP) → SP (AdvP)	PB: de menino LIBRAS: menino PB: por aqui LIBRAS: aqui
	(2)Tratar substantivo comum de dois gêneros	DP (DA(f) SNc) → SN <mulher> DP (DA(m) SNc) → SN <homem>	PB: a presidente LIBRAS: presidente mulher PB: o artista LIBRAS: artista homem
	(3)Eliminar artigo	DP (D _A NP) → NP DP (D _A PossP) → PossP DP (D _A NumP) → NumP	PB: a mulher LIBRAS: mulher PB: os meus filhos LIBRAS: meus filhos PB: os dois porcos LIBRAS: dois porcos
	(4)Tratar verbo com advérbio de tempo	VP (VB-*SAdv _(t) P) → VP (VB SAdv _(t) P) VP (SAdv _(t) VB-*) → VP (Adv _(t) P VB) (*) P, R, D (presente, futuro e passado)	PB: Ontem trabalhei LIBRAS: Ontem trabalhar PB: Vi ontem LIBRAS: Ver ontem
	(5)Tratar verbo no presente	VP (VB-P DP) → VP (VB DP) VP (VB-P PP) → VP (VB PP) VP (VB-P AP) → VP (VB AP)	PB: Bebo água LIBRAS: Beber água
	(6)Tratar verbo no futuro	VP (VB-R DP) → VP (VB DP <futuro>) VP (VB-R PP) → VP (VB PP <futuro>) VP (VB-R AP) → VP (VB AP <futuro>)	PB: Estudarei LIBRAS: LIBRAS: Estudar LIBRAS futuro
	(7)Tratar verbo no passado	VP (VB-D DP) → VP (VB DP <passado>) VP (VB-D PP) → VP (VB PP <passado>) VP (VB-D AP) → VP (VB AP <passado>)	PB: Aprenderam português LIBRAS: Aprenderam português passado
Adequação Sintática	(8)Tratar advérbio de intensidade (i) de negação (n)	VP (VB Adv _(i)) → VP (V _{Mi}) VP (Adv _(n) VB _(n)) → VP (V _N) VP (Adv _(n) VB) → VP (V _{Mn})	PB: Trabalhar muito LIBRAS: trabalhar_muito PB: Não ter LIBRAS: não_ter PB: Não Conhecer LIBRAS: não_conhecer
		AP (Adv _(i) Adj) → AP (Adj _{Mi}) AP (Adj Adv _(i)) → AP (Adj _{Mi}) AP (Adv _(n) Adj) → AP (Adj _{Mn}) VMn → VB(<expressão-facial= não> VMi → VB(<movimento (se verbos-modifica) flag-repetição><ponto-articulacao estado = “inicial” local = ? subdivisão = ?> <ponto-articulacao estado = “final” local = ? subdivisão = ?><expressão-facial=?><velocidade=?>	PB: muito bonito LIBRAS: muito_bonitp PB: lindo demais LIBRAS: muito_lindo PB: Não bonito LIBRAS: não_bonito
		AdvP (Adv Adv _(i)) → SAdv(Adv _{Mi}) AdvP (Adv _(i) Adv) → SAdv (Adv _{Mi}) Adj _{Mi} → Adj(<movimento (se circular tamanho-raio=?) flag-repetição><ponto-articulacao estado = “inicial” local = ? subdivisão = ?> <ponto-articulacao estado = “final” local = ? subdivisão = ?><expressão-facial=?><velocidade=?> AP (Adv _(n) Adj) → AP (Adj _{Mn}) Adj _{Mn} → Adj(<expressão-facial=não>	PB: bem demais LIBRAS: muito_bem PB: muito bem LIBRAS: muito_bem

(9)Ordem direta da frase	S (VP NP) → S (NP VP)	PB: Descontraídos, os garotos estão. LIBRAS: Os garotos estão descontraídos.
(10)Eliminar verbo de ligação	VP (V AP) → VP (AP)	PB: Você é bonito LIBRAS: Você bonito

A gramática demonstrada na Tabela 3 reflete algumas regras da LIBRAS. Uma destas regras é a eliminação do verbo de ligação do PB (regra 10). Em Português, os verbos de ligação não são significativos e, portanto, não indicam ação. Estes verbos aparecem nos sintagmas verbais (VP) que possuem um verbo (VB-*) seguido de um sintagma adjetival (AP). Logo, o VP em LIBRAS será formado apenas pelo AP (Ver Tabela 3, regra 10). Outro exemplo, das regras é a eliminação de preposições. Em LIBRAS algumas preposições não são sinalizadas e conseqüentemente devem ser eliminadas no processo de tradução, exigindo a exclusão destas. Esta regra gramatical está identificada na Tabela 3, regra 1. Nestas observamos que quando o sintagma preposicional (PP) for composto por uma preposição específica (P_x) é uma sintagma determinante (DP) ou sintagma adverbial (AdvP) a P_x será excluída.

5.3 Implementação e Integração com o VLibras

Para validar e construir uma prova de conceito da solução, após a modelagem da linguagem de descrição e da gramática, o componente de tradução foi implementado e integrado com o VLibras, um serviço de tradução automática para LIBRAS em plataformas multimídia proposto por Araújo et al. (2014). Conforme mencionado no Capítulo 4, o VLibras foi concebido para três cenários de uso (TV Digital, Web e Cinema Digital), e realiza traduções de conteúdos de domínio geral.

O componente de tradução proposto foi desenvolvido na linguagem de programação Python. Para a classificação morfológica das sentenças de entrada foi utilizada a ferramenta Aelius (ALENCAR, 2010).

Considerando o cenário onde a solução é implantada e o fluxo de processos descrito pela Figura 10 reformulou-se a arquitetura do componente de tradução para permitir a reestruturação do fluxo de processos. Neste sentido, em busca de atender aos itens assinalados na Tabela 2 propõe-se a reorganização e criação de etapas junto ao componente de tradução, conforme demonstrado na Figura 15.

De acordo com a Figura 15, o novo componente de tradução recebe um texto em Português Brasileiro como entrada, e após algumas etapas, como classificação morfossintática e aplicação de regras de tradução definidas por especialistas, converte o texto resultante em uma representação textual da LIBRAS denominada glosa.

Observando a Figura 15, é possível verificar que a nova arquitetura admite a realização da classificação sintática dos textos em Português Brasileiro (PB), o que permite a elaboração de um conjunto de regras necessárias a adequação sintático-semântica da adequação do PB para LIBRAS.

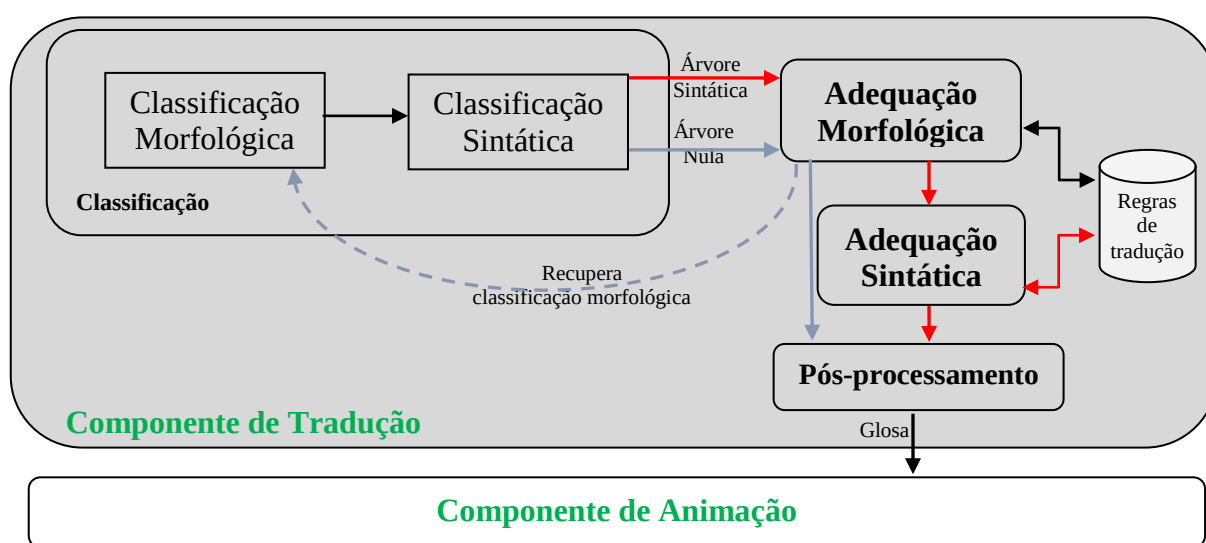


Figura 15: Arquitetura do Componente de Tradução da Solução Proposta

O processo de classificação sintática tem como entrada o resultado da saída da classificação morfológica. Este processo poderá produzir dois tipos de saída: uma árvore sintática reconhecida pela gramática gerativa do *Parser* ou uma árvore sintática nula. Uma árvore sintática nula será produzida quando as sentenças de entrada não forem reconhecidas pela gramática do *parser*. No entanto, a árvore sintática nula nem sempre retrata a inadequação da estrutura formal do PB, podendo esta ser uma limitação da gramática gerativa utilizada pelo *parser* (OTHERO, 2009).

Consciente das limitações do analisador sintático do PB, e percebendo que algumas regras dependem da análise sintática da sentença a arquitetura proposta inclui um módulo de Adequação Morfológica, e um módulo de Adequação Sintática.

O módulo de Adequação Morfológica implementa regras que não dependem da análise sintática, necessitando apenas do resultado da análise morfológica. Assim, neste momento a sentença reconhecida como gramatical é processada pelo módulo de Adequação

Morfológica e o seu resultado entregue ao módulo de Adequação Sintática que após a execução entregará a glosa ao componente de animação. Por outro lado, as sentenças com árvore sintática nula, sofrem um processamento diferenciado no módulo de Adequação Morfológica. Este módulo ao receber a sentença com árvore sintática nula realiza a recuperação da classificação morfológica, posteriormente aplica as regras de reescrita deste módulo, entregando a glosa gerada diretamente ao componente de animação.

Após a aplicação das regras de tradução, a glosa gerada passa por um processo de pós-processamento, onde há a conversão de números por extenso para numerais e de palavras no plural para singular. O processo de pós-processamento é importante, pois diminui a possibilidade de datilologia durante a apresentação dos gestos visuais ao surdo pelo serviço de geração de LIBRAS.

No processo de pós-processamento também é realizada a ação de substituição lexical. Esta ação tem a função de ampliar o léxico sem a necessidade alocar memória com a replicação do sinal no dicionário de sinais. Um exemplo desta ação é a substituição da palavra “moradia” pela palavra “casa” e no dicionário de sinais ter apenas o sinal identificado com o nome “casa”.

Alguns exemplos de aplicação das regras elaboradas são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Exemplos de aplicação das regras de tradução no componente de tradução proposto

Entrada do tradutor	Saída do tradutor
Ele comprou o carro	Ele comprar carro passado
Ele comprará o carro	Ele comprar carro futuro
Ele compra o carro	Ele comprar carro
Ele comprou o carro ontem	Ele comprar carro ontem
Ontem ele comprou o carro	Ontem ele comprar carro
A presidente morreu	Presidente mulher morrer passado
O presidente morreu	Presidente homem morrer passado

O processo de integração com o serviço VLibras é ilustrado na Figura 16. De acordo com a Figura 16, inicialmente, um usuário submete um arquivo (texto, vídeo, legenda, áudio) para o serviço. Esse arquivo é então recebido por um servidor web que o encaminha para um serviço de acordo com o seu tipo, para que seja feito a extração do texto desse conteúdo para tradução. Esse processo de extração do texto pode ser realizado extraindo textos da legenda,

aplicando estratégias de reconhecimento de voz para transformar um fluxo de áudio em texto, dentre outros. Em seguida, o texto é repassado para o novo componente de tradução proposto, que converte automaticamente este texto para glosa. A glosa é então repassada para o sincronizador que é responsável pela geração do vídeo de LIBRAS (composição de animações), juntamente com o componente de animação. Posteriormente, se o fluxo de entrada for um vídeo, o vídeo de LIBRAS pode ser mixado no vídeo original, produzindo um único vídeo acessível, isto é, o vídeo do usuário com uma janela (“legenda”) de LIBRAS. Por fim, o vídeo acessível, ou apenas o vídeo de LIBRAS, é então devolvido para o usuário do serviço.

No Capítulo 6, serão apresentados alguns resultados realizados com a solução proposta para avaliar a qualidade dos conteúdos gerados.

Destaca-se que este trabalho terá como pressuposto que cada sentença em LIBRAS não é um mero aglomerado de palavras, unidas uma a outra de qualquer forma. Considerar-se-á que há uma organização entre o nível da palavra e da sentença, ou seja, o sintagma. Logo a sentença será entendida como um conjunto de sintagmas, onde cada sintagma possui um conjunto de palavras.

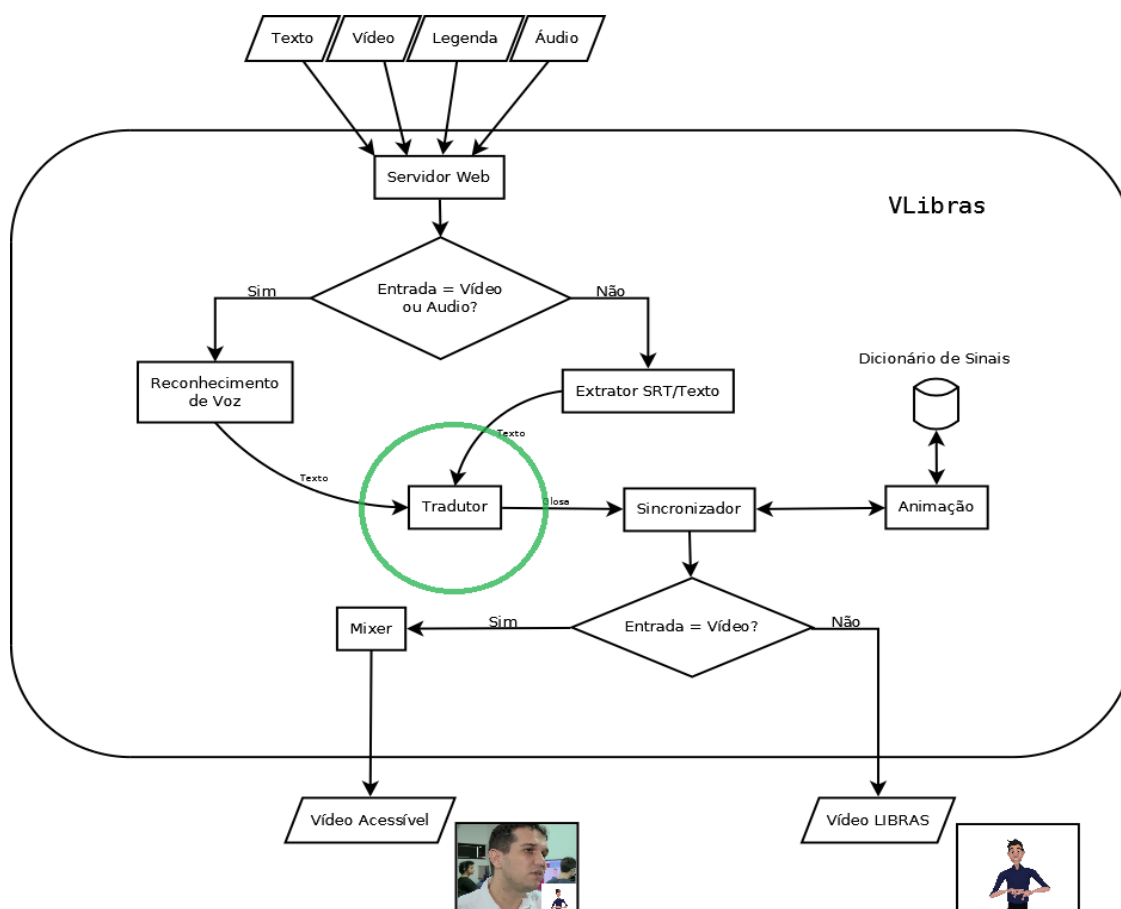


Figura 16. Visão esquemática da integração do componente de tradução proposto com o VLibras (Araújo *et al.* 2014).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados alguns testes realizados para avaliar a solução e os principais resultados obtidos. Inicialmente, na Seção 6.1, será apresentado a definição dos experimentos realizados. Em seguida, nas Seções 6.2 e 6.3, serão apresentados os resultados com análise estatística e interpretação dos dados.

6.1 Definição do Experimento

O experimento desenvolvido com intenção de avaliar a solução proposta foi estruturado em 2 partes. Na primeira parte, foram realizados alguns testes computacionais utilizando sentenças do corpus linguístico Bosque (Freitas, Rocha e Bick, 2008) com objetivo de verificar a qualidade de tradução dos conteúdos. Esses testes foram realizados de forma automática e usando métricas objetivas que possuem, de acordo com Melo, Matos e Dias (2014), a “*finalidade de avaliar sistemas de tradução automática com maior economia, rapidez e independência de linguagens do que avaliações realizadas manualmente*”. Mais especificamente, foram escolhidas as métricas WER (*Word error rate*) e BLEU (*Bilingual Evaluation Understudy*). A escolha destas medidas deu-se porque elas também foram utilizadas em trabalhos anteriores (San-Segundo et al., 2008b)(Araújo et al., 2013)(Su & Wu, 2009), e, portanto, podem ser utilizadas para comparar diferentes tradutores.

Na segunda parte, foram selecionadas sentenças, usando o mesmo corpus linguístico, que abordassem as regras descritas na gramática proposta. As sentenças selecionadas foram submetidas à tradução do VLibras, com o componente de tradução descrito em Araújo et al. (2014) e do VLibras com a solução proposta incorporada (ver Seção 5.2). Em seguida, a saída gerada pelos tradutores passou pelo componente de Animação do VLibras, gerando conteúdos em Libras representado pelo seu avatar. De posse das animações geradas pelas duas versões do tradutor, os conteúdos acessíveis foram avaliados por usuários surdos com relação ao nível de compreensão e a qualidade de tradução desses conteúdos. O objetivo era investigar se os usuários eram capazes de compreender os conteúdos acessíveis e se a solução proposta consegue melhorar a qualidade da tradução gerada pelo VLibras (Araújo et al. 2014).

6.2 Testes Computacionais

Para avaliar a qualidade dos conteúdos gerados pelo novo componente de tradução, inicialmente, um conjunto de testes computacionais foi realizado. Esses testes foram realizados de forma automática usando as métricas objetivas WER (Word Error Rate) e BLEU (Bilingual Evaluation Understudy).

A métrica BLEU é um algoritmo que visa avaliar a qualidade do texto traduzido automaticamente a partir de uma linguagem natural para outra. O resultado demonstra a correspondência entre a saída da tradução automática e a tradução de referência produzida por um intérprete. A WER é métrica utilizada para verificação da taxa de reconhecimento da palavra em nível morfológico. Ela é uma medida usada para a comparação de diferentes sistemas, bem como para avaliar as melhorias dentro de um sistema, no entanto, não fornece detalhes sobre a natureza dos erros da tradução.

Inicialmente, 69 sentenças do corpus “Bosque” (Freitas, Rocha e Bick, 2008) foram selecionadas aleatoriamente. Em seguida, dois intérpretes de LIBRAS traduziram em conjunto todas as sentenças selecionadas para uma sequência de glosas em LIBRAS, seguindo alguns parâmetros repassados (Ex: Numeral cardinal – escrever na forma numérica; Numeral ordinal escrever na forma escrita por extenso). Essas traduções geradas pelos intérpretes foram utilizadas como referência para o cálculo das métricas desejadas.

Em seguida, as sentenças foram traduzidas usando o protótipo do VLibras descrito em Araújo et al. (2014) e usando o VLibras com o componente de tradução proposto nesse trabalho incorporado. Por fim, os valores de WER e BLEU de cada versão do VLibras foram calculados com base nas traduções de referência geradas pelos intérpretes.

Na Tabela 5, são ilustrados os valores percentuais de BLEU, considerando a precisão em 1-gramas (unigramas), 2-gramas (bigramas), 3-gramas (trigramas) e 4-gramas, e WER para as duas soluções.

Tabela 5: Resultados das métricas BLEU e WER

		VLibras com Solução Proposta	VLibras com Tradutor de Araújo et al. (2014)
BLEU	1-gramas	73,47%	41,30%
	2-gramas	61,19%	21,44%
	3-gramas	51,20%	11,24%
	4-gramas	42,98%	6,64%
WER	-	31,70%	85,23%

De acordo com a Tabela 5, nesses testes, as medidas do VLibras incorporado com a solução proposta foram melhores que as baseadas nas medidas do VLibras com a versão com tradutor proposta em Araújo et al. (2014) para todas as medidas. Os valores de BLEU 4-gramas e de WER de aproximadamente 43% e 31%, respectivamente, para a solução proposta, indicam que a tradução sobre textos livres (domínio geral) é uma tarefa não-trivial e ainda tem muito a ser melhorada. No entanto, pode-se perceber que existe uma melhoria razoável na qualidade da tradução automática quando comparada com a versão proposta em Araújo et al. (2014). Deve-se ressaltar, porém, que o objetivo da solução proposta, não é substituir ou se equiparar a tradutores humanos. Seguindo Araújo et al (2013) “A ideia principal é reduzir as barreiras de acesso a informação, especialmente quando intérpretes não estão disponíveis”. Além disso, esse resultado não é suficiente para concluir que a proposta de tradução é boa ou ruim, porém podemos perceber que houve uma melhoria das métricas computacionais com o uso da solução proposta.

De acordo com Su & Wu (2009), a avaliação baseada em métricas objetivas não é suficiente para avaliar a qualidade de tradução para línguas de sinais, uma vez que essas línguas são gestuais e visuais. Em consequência disso, uma avaliação com usuários também foi realizada e será apresentada na Seção 6.3.

6.3 Avaliação com os Usuários

A avaliação com usuários tem como propósito validar os conteúdos gerados pela solução proposta no tocante à capacidade de compreensão dos usuários da Libras, sejam eles surdos ou ouvintes (intérpretes e/ou professores de Libras). Para isso, o nível de compreensão dos conteúdos acessíveis gerados pela solução proposta foi avaliado e confrontado com o nível de compreensão de conteúdos gerados pela versão atual do VLibras (Araújo et al. 2014). Os principais efeitos estudados pelo experimento são o nível de compreensão e adequação gramatical da Libras dos conteúdos gerados, a partir do ponto de vista dos usuários da Libras.

O experimento com usuários foi conduzido através do uso de questionário disponibilizado em formulário eletrônico web. Este formulário foi duplicado para que pudesse diferenciar a tradução das duas versões diferentes do VLibras e foi inserido em uma página eletrônica responsável por fazer o gerenciamento da distribuição dos formulários de forma balanceada. O acesso ao formulário era realizado por meio de acesso controlado (*login* e senha do Google) o que impedia a resposta ao mesmo questionário mais de uma vez utilizando a mesma conta.

Os formulários continham a tradução de 5 sentenças selecionadas do corpus linguístico Bosque com domínio geral e que são representativas no uso das regras incorporadas a gramática da solução proposta.

O questionário era composto de três partes e é apresentado em sua forma escrita no Apêndice B deste trabalho. Neste questionário é possível observar as sentenças selecionadas do Bosque e as perguntas correspondentes. As perguntas do questionário foram gravadas por uma intérprete, sendo os vídeos gerados incorporados no formulário eletrônico, enquanto que as sentenças do bosque foram geradas usando o VLibras nas 2 versões (com e sem a solução proposta). A interpretação, usando uma intérprete de Libras, do questionário buscou dar autonomia e melhor compreensão das perguntas ao usuário não conhecedor do português.

Na primeira parte do questionário, o usuário fornece informações pessoais como gênero, idade, grau de escolaridade, nível de conhecimento em Português, se é surdo, se usa computador, se usa smartphone e se usa algum aplicativo de tradução para Libras. Na segunda parte, os usuários responderam a 14 (quatorze) perguntas sobre a tradução das 5 sentenças, tendo como objetivo avaliar o seu nível de compreensão dos conteúdos. As perguntas eram de múltipla escolha e compostas por quatro alternativas, onde apenas uma era a correta. Para todas as questões, a última alternativa representava a opção "Não sei", que foi incluída para evitar que os usuários escolhessem aleatoriamente uma das alternativas quando não soubessem a resposta correta.

Concluindo, na terceira etapa, o usuário avaliava subjetivamente os conteúdos apresentados com relação ao nível de compreensão, adequação a gramática de LIBRAS, bem como, algumas características relacionadas a sinalização com o avatar como, por exemplo, qualidade dos movimentos, expressão facial, naturalidade e empatia. Mais especificamente, essa parte do formulário era composta por seis questões onde o usuário avaliou os conteúdos com relação à facilidade de compreensão da tradução, adequação a gramática de LIBRAS, os movimentos do avatar, a naturalidade da sinalização do avatar, a correte da expressão facial do avatar, dentre outros, utilizando uma escala qualitativa de 4 pontos (perfeita, boa, razoável, ruim).

A utilização de uma escala objetivando a mensuração dos resultados é uma necessidade da avaliação, contudo de acordo com Guimarães (2014) as respostas devem ser adequadas ao perfil do público-alvo, no caso específico surdo ou usuários de Libras. Assim, Guimarães (2014) em seu estudo relata que as escalas numéricas não são satisfatórias na avaliação de usuários surdos, pois não são corretamente interpretadas. A autora sugere que as escalas devem considerar a percepção de mundo pelos surdos, portanto devem ser amparadas

em ícones visuais (Ex.: emotiocons) ou na Libras, e preferencialmente possuir questionamentos curtos e com escalas binárias.

Finalmente, para realizar uma comparação objetiva das duas versões do VLibras (solução proposta e versão descrita em Araújo et al. 2014), usou-se uma escala de valores para os conceitos utilizados nos testes. Esta escala de valores encontra-se definida na Tabela 6.

Tabela 6: Escala de referência de valores para os testes estatísticos

Conceito	Valor de Referência
Perfeito(a)(mente)	4
Bom(em)(oa)	3
Razoável	2
Ruim	1
Não sei	-

6.3.1 Avaliação dos Níveis de Compreensão

O experimento para avaliação do nível de compreensão dos conteúdos foi realizado entre os dias 02 e 12 de julho de 2015, e a coleta de informações deu-se a partir do envio do endereço Web do formulário eletrônico para professores de Libras, surdos e intérpretes. O experimento contou com a participação espontânea de 26 usuários da Libras. Esses usuários receberam aleatoriamente os formulários contendo as traduções geradas pelas duas versões do VLibras, porém esta informação não era identificada nos formulários eletrônicos.

Na página inicial do formulário há um vídeo produzido com a intérprete cujo objetivo é preparar o usuário para o teste. Como a proposta é avaliar o usuário da Libras, todos os vídeos apresentados no formulário são em Libras e não contém legenda em português.

Apesar de 26 usuários terem realizado os testes, 3 deles foram descartados por indícios de falta de seriedade na realização dos testes, uma vez que responderam “Não sei” em todas as perguntas. O grupo remanescente de 23 usuários era heterogêneo e composto por 15 mulheres e 8 homens na faixa etária de 15 a 45 anos, e com uma média de idade de 31,9 anos. A identificação do grau de escolaridade e gênero dos usuários testados são visualizados no Gráfico 4. De acordo com o Gráfico 4, é possível observar que aproximadamente 35% dos usuários do teste são mulheres com especialização.

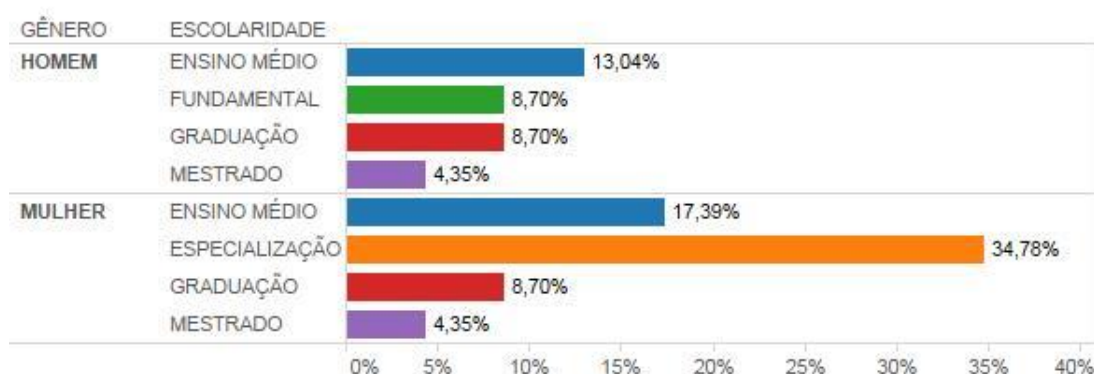


Gráfico 4: Grau de Escolaridade identificados por gênero

Os testes foram realizados por 12 surdos e 11 ouvintes sendo estes intérpretes e/ou professores de Libras. No Gráfico 5 percebe-se que a maioria dos usuários surdos possuem ensino médio completo como maior grau de escolaridade enquanto que a maior parte dos usuários ouvintes tem especialização.

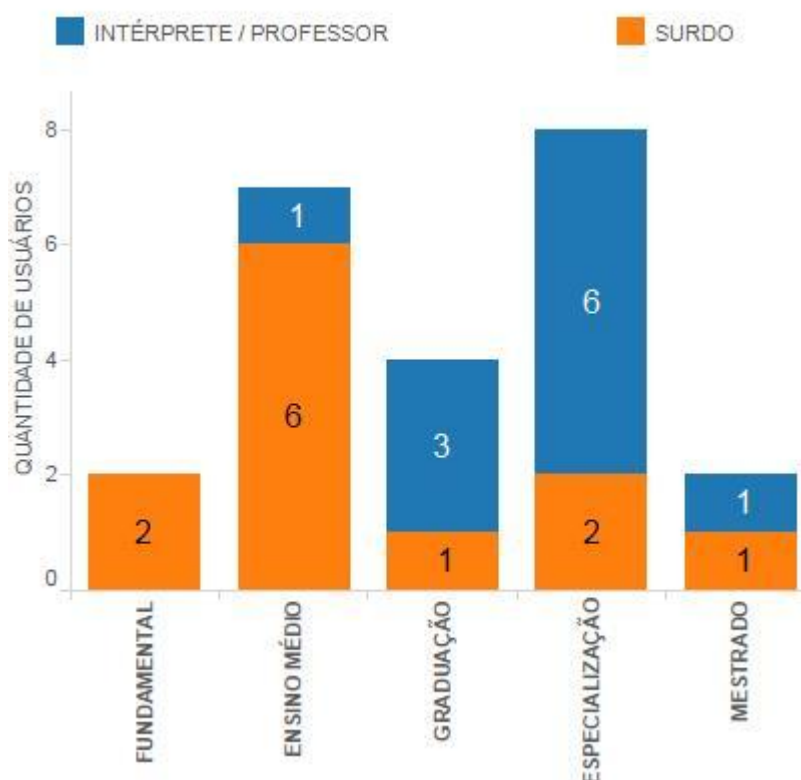


Gráfico 5: Tipo de usuário por Grau de Escolaridade identificados

Todos os usuários declararam que usam computador o que nos permite validar a realização dos testes via formulário eletrônico. Sobre o entendimento do português os resultados apresentados na Tabela 7, nos mostram que há homogeneidade entre os grupos que

testaram as duas versões do VLibras. Além disso, observa-se que os dois grupos declararam que possuem, na média, uma “boa” compreensão do português.

Tabela 7: Entendimento do Português

	VLibras com Solução Proposta	VLibras com Tradutor de Araújo <i>et al.</i> (2014)
Valor Médio	2,92	3,20
Desvio Padrão	0,95	1,03

Os resultados dos testes de compreensão de conteúdos deste experimento são apresentados no Gráfico 6. Conforme pode ser observado para todos os conteúdos avaliados, os usuários que assistiram a tradução realizada pela solução proposta tiveram uma média de acertos relativamente maior, exceto para a pergunta 11.

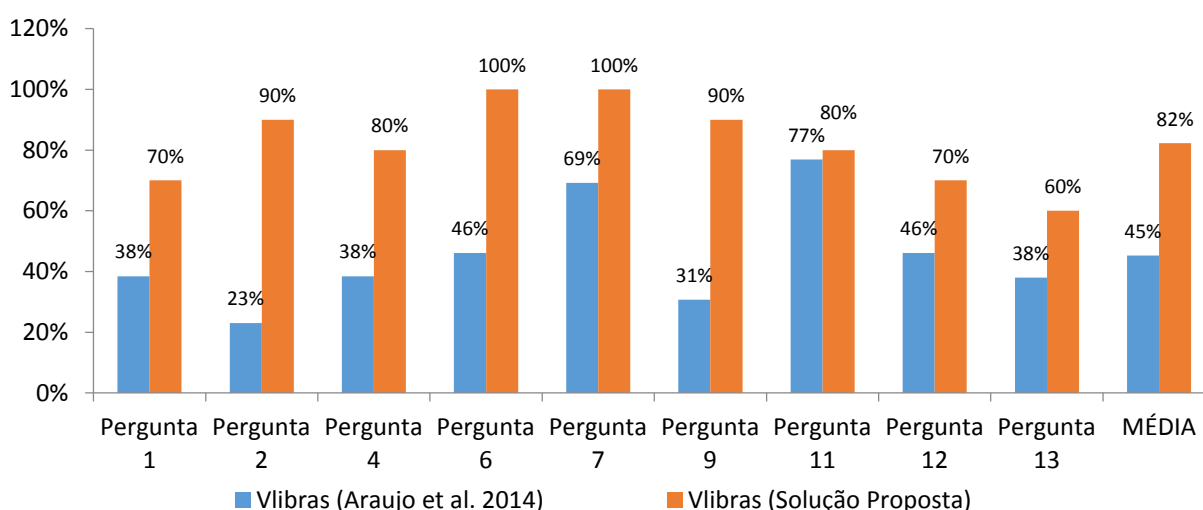


Gráfico 6: Compreensão de conteúdo pelos usuários do teste

A taxa média de acertos, indicada no Gráfico 6, foi de 82% para os usuários que assistiram a tradução da solução proposta tendo um desvio padrão de 14%, enquanto que a taxa média de acertos para os usuários que assistiram a tradução usando o VLibras descrito em Araújo *et al.* (2014) foi de 45% com um desvio padrão de 17%. A diferença entre a média de acertos entre os dois grupos foi, portanto, de aproximadamente 35%.

Na Tabela 2, apresentada na Seção 4, destaca-se que o VLibras não tratava o substantivo comum de dois gêneros, no entanto, os resultados mostram que 46% dos usuários que realizam os testes com a versão de Araújo *et al.* 2014 do VLibras acertaram a resposta da pergunta 6 que trata sobre este problema. Uma das possíveis justificativas é que apesar da

falta de tratamento, esta versão do tradutor não exclui o artigo masculino “O” que acompanha a palavra “ATACANTE”. Portanto, como a maioria dos usuários do teste tem boa compreensão do Português pode ter havido uma associação do gênero através desta sinalização da letra “O” antes do substantivo “ATACANTE”, apesar desta não ser a forma correta de apresentar a informação em Libras.

Conforme mencionado na Seção 2.1.4, a Libras não possui flexão de tempo verbal, sendo este incorporado a sentença através da adição de um sinal denotativo de tempo (Ex.: PASSADO, FUTURO). As perguntas 2, 7, 11 e 13, portanto, tratavam sobre a percepção do tempo verbal expresso na sentença. A sentença avaliada pela pergunta 2 não possuía advérbio de tempo na sua estrutura, consequentemente o tratamento proposto por este trabalho produz como resultado um aumento médio das respostas corretas de, aproximadamente, 65%.

Com relação à pergunta 7, é possível verificar que como esta relaciona-se a uma sentença que possui advérbio de tempo em sua estrutura os resultados são próximos, podendo sua diferença ser atribuída as demais regras, a exemplo da exclusão de artigos e proposições o que melhoraria a compreensão do conteúdo, percebida na correlação com as respostas da pergunta 6 que avalia o conteúdo da mesma sentença.

As perguntas 11, 12 e 13 são relacionadas a uma sentença sem marcação de advérbio de tempo e que se encontra no presente. Além disso, está é uma sentença que a compreensão do seu conteúdo depende de uma análise semântica da sentença mais elaborada. Neste sentido, verifica-se que, nas respostas da pergunta 13 houve o menor percentual de acerto das questões avaliadas pela solução proposta. Outra hipótese para a redução deste índice é falta de compreensão da pergunta gerada, posto que esta além da percepção de tempo também envolvia a compreensão de conteúdo. Contudo é necessário uma análise mais aprofundada sobre este resultado ficando como proposta de trabalhos futuros.

Para uma melhor compreensão da dispersão dos resultados das duas propostas, foi também gerado um Gráfico de caixa com esses dados (ver Gráfico 7). Para os conteúdos baseados na solução proposta, os valores da mediana, do primeiro e terceiro quartil da distribuição foram de 88,89%, 72,22% e 97,22%, respectivamente. Isso significa que 50% dos usuários acertaram mais de 88,89% das questões.

Para os testes realizados com o VLibras de Araújo et al. (2014) os valores da mediana, do primeiro e terceiro quartil da distribuição foram, respectivamente 44,44%, 33,33% e 66,67%. Isso significa que menos de 50% dos usuários obtiveram uma taxa de acertos superior a 50% das questões do experimento.

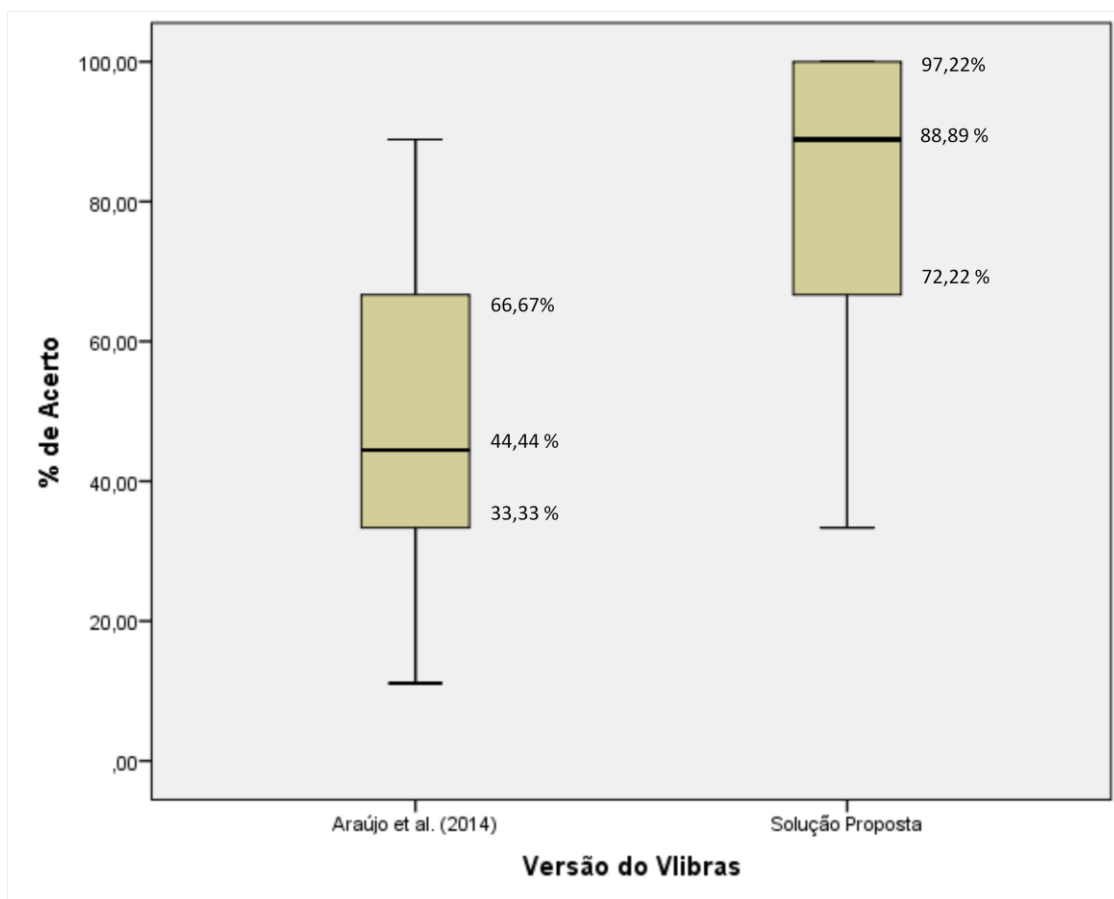


Gráfico 7: Gráfico de caixa para análise de compreensão de conteúdos

Na Tabela 8, são apresentados os resultados relacionados à qualidade da tradução para cada sentença uma das sentenças.

Tabela 8: Resultados da avaliação da Qualidade da Tradução

Tradutor	Medidas	Sentença 1	Sentença 2	Sentença 3	Sentença 4	Sentença 5	Média
VLibras (Araújo et al., 2014)	Valor Médio	2,77	2,54	2,38	2,54	2,38	2,52
	Desvio Padrão	0,93	1,05	1,12	0,97	1,12	0,93
VLibras (Solução Proposta)	Valor Médio	2,80	2,60	2,40	3,10	2,80	2,74
	Desvio Padrão	0,79	1,07	1,26	1,10	1,03	0,77

De acordo com a Tabela 8, é possível observar que, para todas as perguntas, as duas soluções obtiveram valores médios razoáveis para todas as sentenças. Isso é um indício de que as duas soluções geraram um conteúdo em Libras de qualidade razoável, com um valor médio levemente superior para a solução proposta. É importante destacar, no entanto, que a diferença entre o valor médio das duas soluções é pequena, o que indica, provavelmente, que ela não é estatisticamente representativa.

Uma das possíveis explicações seria a dificuldade em interpretar a qualidade da tradução em face de sua subjetividade. Além disso, de acordo com Guimarães (2014), pessoas surdas tem dificuldade em avaliar usando escalas. A autora sugere que testes de avaliação com usuários surdos devem priorizar perguntas binárias para uma melhor compreensão.

Por fim, no Gráfico 8, é possível verificar que mais de 50% dos usuários avaliaram o avatar como perfeito ou bom. No entanto, apesar dos bons resultados de compreensão da tradução existem indícios de que os movimentos, a naturalidade e as expressões faciais do avatar precisam ser melhoradas. As expressões faciais obtiveram 33,33% de avaliação com sendo “ruim”, sendo importante investigar este aspecto, uma vez que as expressões faciais são imprescindíveis para uma melhor adequação sintático-semântica na tradução automática da Libras.

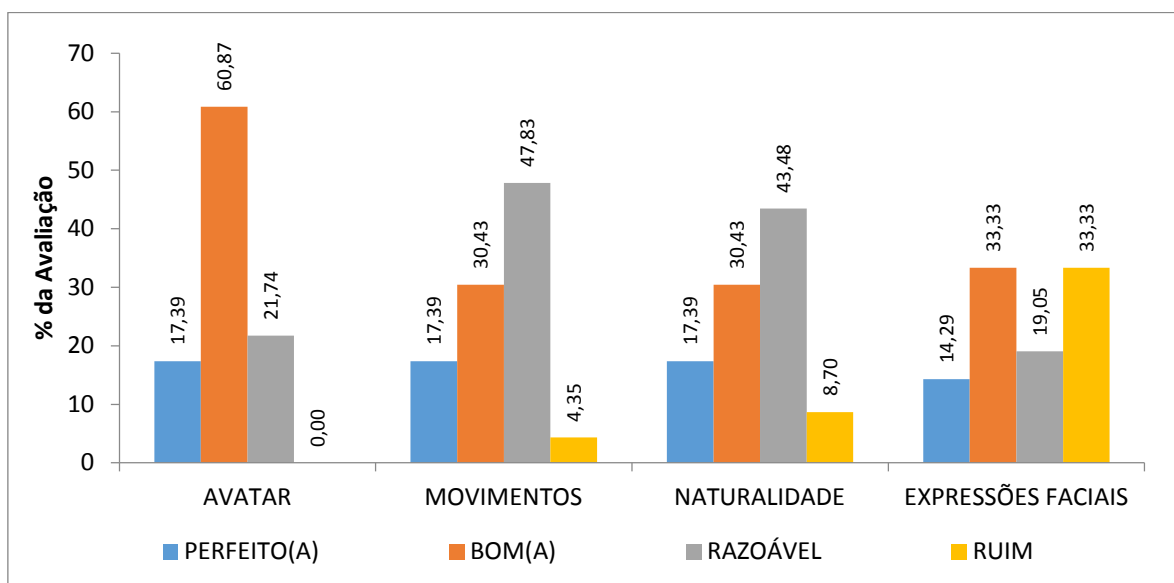


Gráfico 8: Gráfico de barras para análise da avaliação de conteúdos

De um modo geral, a tradução gerada com a solução proposta obteve melhores resultados em todas as métricas computacionais, porém de acordo com Su & Wu (2009) não nos permitia comprovar a melhoria da qualidade da tradução. Assim, a avaliação com usuários foi realizada e demonstrou a tradução gerada pela solução proposta obteve uma melhor compreensão dos conteúdos e índices de qualidade da tradução superiores em todas as sentenças. Por fim, verificou-se que houve uma boa avaliação do avatar, mas que ainda é necessário investir em melhorias na animação dos movimentos, naturalidade e em especial nas expressões faciais.

7 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi proposta uma nova estratégia de tradução automática para Libras que incorpora aspectos sintáticos e semânticos, e uma prova de conceito foi desenvolvida para o serviço de tradução VLibras (Araújo et al. 2014). Como contribuições deste trabalho, destacam-se: a modelagem de uma linguagem formal definida para especificar regras de tradução para Libras; a definição de uma gramática de tradução para Libras, desenvolvida com base na linguagem modelada; e o desenvolvimento e integração de um componente de tradução no serviço VLibras, cenário de uso para validar a solução.

O presente trabalho tinha como objetivo melhorar a qualidade de tradução do VLibras, a partir da incorporação de aspectos sintáticos e semânticos. Alguns testes computacionais foram realizados e mostraram através das métricas computacionais BLEU e WER que houve uma razoável melhora na qualidade da tradução para as sentenças avaliadas. Além disso, alguns testes com usuários da Libras, surdos ou ouvintes (intérpretes e professores de Libras), também foram realizados e mostraram que a solução proposta conseguiu melhorar os níveis de compreensão dos conteúdos pelos usuários com relação aos da tradução gerada pelo VLibras de Araújo et al. (2014) e que obteve resultados razoáveis com relação a qualidade da tradução.

Mediante a estruturação de regras que melhorem a qualidade da tradução automática dos sistemas de tradução vislumbra-se que estes possam auxiliar de forma mais eficiente à comunidade surda a ter acesso à informação. Espera-se ainda, melhorar a comunicação da comunidade surda com a sociedade. A linguagem de descrição pretende também, agregar os conhecimentos de linguísticas da área para que estes produzam novas regras formais de tradução e adequação morfossintático-semântica.

Como proposta de trabalhos futuros almeja-se desenvolver um sistema web onde especialistas possam construir as regras de tradução onde a descrição XML seja transparente ao usuário por meio de uma interface amigável e intuitiva. Além disso, pretende-se ampliar as pesquisas sobre a linguística formal da Libras com a intenção de ampliar a gramática da solução proposta.

Outro trabalho futuro é ampliar os testes com usuários, realizando entrevistas para que possamos compreender o quais aspectos da tradução podem ser melhorados para que os resultados de compreensão de conteúdos sejam melhores.

REFERÊNCIAS

- Abdallah, M (1998), A neuro-hierarchical multilayer network in the translation of the American sign language, em 'Proceedings of the IEEE Southeastcon', Orlando, EUA , pp. 224-227
- Afzal, H., S. Nafees, S. Nasir & A. Tariq (2009), iPSL: enabling rehabilitation of deaf community in Pakistan, em 'Proceedings of the 3rd International Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology, i-CREAt'e'09', Singapura, pp. 1-4
- Al Ameiri, F.; Zemerly, M. J.; Al Marzouqi, M. (2011), Mobile Arabic Sign Language, em '2011 International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST)', Abu Dhabi, Emirados Árabes Unidos, pp. 363-367.
- Alencar, L. F. de; G. de A. Othero. (2012) Abordagens computacionais da Teoria da Gramática. Campinas, SP: Mercado das Letras.
- Alencar, L. F. Aelius: uma ferramenta para anotação automática de corpora usando o NLTK. IX Encontro de Linguística de Corpus. Porto Alegre, PUCRS, 8 e 9 de outubro de 2010.
- Allen, J. M. & R. A. Foulds (2004), An approach to animating sign language: a spoken English to sign English translator system, em 'Proceedings of the 30th Annual Northeast IEEE Bioengineering Conference', Springfield, EUA, pp. 43-44
- Almasoud, A. M. & H. S. Al-Khalifa (2011), 'A Proposed Semantic Machine Translation System for translating Arabic text to Arabic sign language', em Proceedings of the Second Kuwait Conference on e-Services and e-Systems, Nova Iorque, EUA, pp. 79-84.
- Anuja, K., S. Suryapriya & S. M. Idicula (2009), Design and development of a frame based MT system for english-to-isl, em 'Proceedings of the World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing- NaBIC 2009', Coimbatore, Índia, pp. 1382-1387
- Araújo, T. M. U. de, (2012) 'Uma Solução para Geração Automática de Trilhas em Língua Brasileira de Sinais em Conteúdos Multimídia', Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.
- Araújo, T. M. U. de, F. L. S. Ferreira, D. A. N. dos S. Silva, F. H. Lemos, G. Pessoa Neto, D. Omaia, G. L. de Souza Filho & T. A. Tavares (2013), 'Automatic generation of Brazilian sign language windows for digital TV systems', em Journal of the Brazilian Computer Society, pp. 107-125.
- Araújo, T. M. U. de, F. L. S. Ferreira, D. A. N. dos S. Silva, L. D. Oliveira, E. L. Falcão, L. A. Domingues, V. F. Martins, I. A. C. Portela, Y. S. Nóbrega, de Souza Filho Lima, T. A. Tavares & A. N. Duarte (2014), 'An approach to generate and embed sign language video tracks into multimedia contents', em Information Sciences, pp. 1-19.
- Bangham, J. A., S. J. Cox, R. Elliot, J R. W. Glauert, I. Marshal, S. Rankov & M. Wells (2000), Virtual signing: capture, animation, storage and transmission-an overview of the

ViSiCAST project, em 'Proceedings of the IEE Seminar on Speech and Language Processing for Disabled and Elderly People', Londres, Reino Unido, pp. 1-7

BOLGUERONI, Thais. VIOTTI, Evani. *Referência Nominal em Língua de Sinais Brasileira*. Todas as Letras U, v. 15, n. 1, 2013.

Boulares, M. & M. Jemni (2013), 'Toward a mobile service for hard of hearing people to make information accessible anywhere', em International Conference on Electrical Engineering and Software Applications (ICEESA), Hammamet-Tunísia, pp. 1-5.

Callou, D.; Leite, Y. Iniciação à fonética e fonologia. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1990.

Chiu, Y. H., C. H. Wu, H.Y. Su & C.J. Cheng (2007), 'Joint optimization of word alignment and epenthesis generation for chinese to taiwanese sign synthesis', IEEE Transactions on Advances in Computers Pattern Analysis and Machine Intelligence 29(1), 28-39.

Choi, D.; Vieira, M. I. da S.; Oliveira, P. R. G. de; Nakasato, R. In: Pereira, M. C. da C. (org.). *Libras: conhecimento além dos sinais*. 1ª ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2011

Chung, J.W., H. J. Lee & J. C. Park (2011), Improving accessibility to web documents for the aurally challenged with sign language animation, em 'Proceedings of the International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics, WIMS'11', Sogndal, Noruega, pp. 1-8.

Costa, W. C. O texto traduzido como re-textualização. Cadernos de Tradução. Vol. 2. Número 16, Pós-graduação em Estudos da Tradução - PGET. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis-SC, 2005

Cox, S., M. Lincoln, M. Nakisa, M. Wells, M. Tutt & S. Abbott (2003), 'The development and evaluation of a speech to sign translation system to assist transactions', International Journal of Human Computer Interaction 16(2), 141-161.

Cox, S., M. Lincoln, M. Tryggvason, M. Nakisa, M. Wells, M. Tutt & S. Abbott (2002), Tessa, a system to aid communication with deaf people, em 'Proceedings of the 5th International ACM Conference on Assistive Technologies, Assets'02', Edinburgh, Escócia, pp. 205-212.

D'Haro, L. F., R. San-Segundo, R. Córdoba, J. Bugerth, D. Stein & H. Ney (2008), Language model adaptation for a speech to sign language translation system using web frequencies and a map framework, em 'Proceedings of the Interspeech 2008', Brisbane, Austrália, pp. 2199-2202.

Dangsaart, S., K. Naruedomkul, N. Cercone & B. Sirinaovakul (2008), 'Intelligent thai text – thai sign translation for language learning', Computers & Education 51, 1125-1141.

Dasgupta, T. & A. Basu (2008), Prototype machine translation system from text-to-indian sign language, em 'Proceedings of the 13th International Conference on Intelligent User Interfaces-IUI'08', Gran Canaria, Canada, pp. 313-316.

De-la-Torre-Ugarte-Guanilo, M. C., R. F. Takahashi & M. R. Bertolozzi (2011), 'Revisão sistemática: noções gerais', em Revista da Escola de Enfermagem da USP, São Paulo-Brasil, PP. 1260-1266.

Elliot, R., J. R. W. Glauert, J. R. Kennaway & I. Marshall (2000), The development of language processing support for the ViSiCAST project, em 'Proceedings of the 4th International ACM conference on Assistive technologies, Assets'00', Arlington, EUA, pp. 101-108.

Elliot, R., J. R. W. Glauert, J. R. Kennaway, I. Marshall & E. Safar (2008), 'Linguistic modeling and language-processing technologies for Avatar-based sign language presentation', Universal Access in the Information Society 6(4), 375-391.

Felipe, T. (2001) Libras em contexto: Curso básico. Manual do professor/instrutor. Brasília: Programa Nacional de Apoio à Educação dos Surdos, MEC, SEESP.

Felipe, T., (2007) 'Descrição da língua de sinais: desafios teóricos e práticos.' Anais do Congresso Internacional do INES.

Ferreira-Brito, Lucinda. Por uma gramática de Línguas de Sinais. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1995.

Fiorin, J. L. Introdução à Linguística II: princípios de análise. 5ª ed. São Paulo: Contexto, 2010.

Fotinea, S. E., E. Efthimiou, G. Caridakis & K. Karpouzi (2008), 'A knowledge-based sign synthesis architecture', Universal Access in the Information Society 6, 415-418.

Freitas, C., P. Rocha & E. Bick (2008), Floresta sintá(c)tica: bigger, thicker and easier, em 'Proceedings of the 8th international conference on Computational Processing of the Portuguese Language, PROPOR'08', Aveiro, Portugal, pp. 216-219.

Gallo, B., R. San-Segundo, J. M. Lucas, R. Barra, L. F. D'Haro & F. Fernández (2009), 'Telecomi+ d04: Speech into sign language statistical translation system for deaf people', IEEE Latin America Transactions 7(3), 400-404.

Grif, M. G., O. O. Korolkova, Y. A. Demyanenko & Y. B. Tsoy (2011) 'Development of Computer Sign Language Translation Technology for Deaf People', em International Forum on Strategic Technology 6, 674-677.

Grif, M. G., O. O. Korolkova, Y. A. Demyanenko & Y. B. Tsoy (2012), 'Computer Sign Language Translation System for Hearing Impaired Users', em International Forum on Strategic Technology 7 (IFOST), Tomsk-Rússia, pp. 1-4.

Guimarães, A. P. N.; (2014), 'Recomendações para avaliação da experiência de usuário em aplicativos móveis para surdos', Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil.

Holden, E. J. & G. G. Roy (1992), Learning tool for signed English, em 'Proceedings of the ACM/SIGAPP Symposium on Applied computing: technological challenges of the 1990's', Kansas City, EUA, pp. 444-449.

Hou, J. & Y. Aoki (2004a), 'A real-time interactive nonverbal communication system through semantic feature extraction as an interlingua', *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans* 34(1), 148-154.

Hou, J. & Y. Aoki (2004b), A visual intercultural nonverbal communication system for the hearing impaired, em 'Proceedings of the 6th International Conference on Signal Processing', Beijing, China, pp. 985-989.

Hrúz, M., P. Campr, E. Dikici, A. A. Kindiroglu, Z. Krnoul, A. Ronzhin, H. Sak, D. Schorno, H. Yalçın, L. Akarun, O. Aran, A. Karpov, M. Saraçlar, M. Železný. (2011), 'Automatic fingersign-to-speech translation system', *Journal on Multimodal User Interfaces* 4(2), 61-79.

Huenerfauth, M. (2004), A multi-path architecture for machine translation of English text into American Sign Language animation, em 'Proceedings of the Student Research Workshop at HLTNAACL, HLT-SRWS'04', Boston, EUA, pp. 25-30.

Huenerfauth, M. (2005a), American sign language generation: multimodal NLG with multiple linguistic channels, em 'Proceedings of the ACL Student Research Workshop', Ann Arbor, EUA, pp. 37-42.

Huenerfauth, M. (2005b), Representing coordination and non-coordination in an american sign language animation, em 'Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility, Assets'05', Baltimore, EUA, pp. 44-51.

Huenerfauth, M. (2008), 'Generating american sign language animation: overcoming misconceptions and technical challenges', *Universal Access in the Information Society* 6(4), 419-434.

Huenerfauth, M., L. Zhao, E. Gu & J. Allbeck (2007), Evaluating american sign language generation through the participation of native ASL signers, em 'Proceedings of the 9th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility', Tempe, EUA, pp. 211-218.

Kamata, K., T. Yoshida, W. Watanabe & Y. Usui (1989), An approach to Japanese-sign language translation system, em 'Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics', Cambridge, EUA, pp. 1089-1090.

Karpouzis, K., G. Caridakis, S. E. Fotinea & E. Efthimiou (2007), 'Educational resources and implementation of a Greek sign language synthesis architecture', *Computers & Education* 49(1), 54-74.

Kato, N., H. Kaneko, S. Inou, T. Shimizu, & N. Hiruma (2011), 'Machine translation to sign language with CG-animation technologies to improve accessibility to broadcasting services', *ABU Technical Review* 245, 3-6.

Kennaway, J., R., J. R.W. Glauert & I. Zwitterlood (2007), 'Providing signed content on the Internet by synthesized animation', *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 14(3), 1-29.

Kim, S.W., Z. H. Li & Y. Aoki (2004), On intelligent avatar communication using korean, Chinese and japanese sign-languages: an overview, em 'Proceeding of 8th International

Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, ICARCV 2004', Kunming, China, pp. 747-752.

Lee, J. & T. L. Kunii (1993), 'Computer Animated Visual Translation From Natural Language to Sign Language', em *Journal of Visualization and Computer Animation* 4, pp. 63-78.

Lee, J. & T. L. Kunii (1992), Visual translation: from native language to sign language, em 'Proceeding of the IEEE Workshop on Visual Languages', Seattle, EUA, pp. 103-109.

Lesmo, L., A. Mazzei & D. P. Radicioni (2011), An ontology based architecture for translation, em 'Proceeding of 9th International Conference on Computational Semantics, IWCS'11', Oxford, Reino Unido, pp. 345-349.

Li, J. & Y. Aoki & S. W. Kim (1998), Development of a sign language communication system between Japanese and Korean, em 'Proceeding of the 4th International Conference on Signal Processing Proceedings, ICSP '98', Beijing, China, pp. 916-919.

Li, J.; Yin, B.; Wang, L.; Kong, D. (2013), Chinese Sign Language animation generation considering context, em *Multimedia Tools and Applications*, Nova Iorque, EUA.

Lin, X. & Y. Bao-zong, G. Wen, T. Xiao-fang & X. Yan (2002), Research on machine translation oriented transformation from Chinese into Chinese sign language, em 'Proceeding of the 6th International Conference on Signal Processing', Beijing, China, pp. 1023-1026.

Lincoln, M. & S. Cox (2003), A comparison of language processing techniques for a constrained speech translation system, em 'Proceeding of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP'03', Hong Kong, China, pp. 612-615.

Lira, G. A. (2009), O impacto da tecnologia na educação e inclusão social da pessoa portadora de deficiência auditiva: Tradutor digital português x Língua brasileira de sinais – Tlibras, Disponível em: <<http://www.senac.br/BTS/293/boltec293d.htm>> Acesso em: jan. 2014.

López-Ludeña, V., R. San-Segundo, C. G. Morcillo, J. C. López & J. M. Pardo Muñoz (2013), 'Increasing adaptability of a speech into sign language translation system', em *Expert Systems with Applications* 40, 1312–1322.

López-Ludeña, V., C. González-Morcillo, J.C. López, E. Ferreiro, J. Ferreiros & R. San-Segundo (2014a) 'Methodology for developing an advanced communications system for the Deaf in a new domain', *Knowledge-Based Systems* 56, pp. 240–252.

López-Ludeña, V., C. González-Morcillo, J.C. López, R. Barra-Chicote, R. Córdoba & R. San-Segundo (2014b) 'Translating bus information into sign language for deaf people', *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 32, pp. 258–269

López-Ludeña, V., R. San-Segundo, J. M. Montero, R. Córdoba, J. Ferreiros & J. M. Pardo (2012), Automatic categorization for improving Spanish into Spanish Sign Language machine translation, em 'Computer Speech and Language' 26', 149–167.

López-Ludeña, V., R. San-Segundo, R. Martín, D. Sánchez & A. Garcia (2011), 'Evaluating a speech communication system for deaf people', *IEEE Latin America Transactions* 9(4), 565-570.

Losson, O. & B. Cantegrit (2002), Generation of signed sentences by an avatar from their textual description, em 'Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics', Hammamet, Tunisia, pp. 1-6.

Marshall, I. & E. Sáfár (2003), A prototype text to British Sign Language (BSL) translation system, em 'Proceedings of the 41st Annual Meeting on Association for Computational Linguistics', Sapporo, Japan, pp. 113-116.

Melo, Matos e Dias (2014) Aplicação da Métrica BLEU para Avaliação Comparativa dos Tradutores Automáticos Bing Tradutor e Google Tradutor, E-escrita, v. 5, n. 3, Nilópolis, PP. 33-45.

Moreira, J. R. et al. (2011) Rumo a um sistema de tradução Português-LIBRAS. In: XXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. – SBIE 2011.

Morrissey, S.; Way, A. (2013), Manual labour: tackling machine translation for sign languages, em Machine Translation, v. 27, Dordrecht, Holanda, pp. 25-64.

Morrissey, S. (2008), Data-driven machine translation for sign languages, Tese de doutorado, Dublin City University, Dublin, Irlanda.

Murakami, M., T. Kuroda, Y. Manabe & K. Chihara (2002), Generation of modifier representation in sign animation, em 'Proceedings of the 4th International Conference Series on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies', Veszprém, Hungria, pp. 27-32.

Othero, G. A. de; (2006) Teoria X-barra: descrição do português e aplicação computacional. São Paulo: Contexto.

Othero, G. A. de; (2009) A gramática da Frase em Português: algumas reflexões para a formalização da estrutura frasal em português. Porto Alegre: EdiPUCRS.

Patel, I. & Y. S. Rao (2010), Technologies automated speech recognition approach to finger spelling, em 'Proceedings of the International Conference on Computing Communication and Networking Technologies, ICCCNT'10', Zurique, Suíça, pp. 1-6.

Pezeshkpour, F., I. Marshall, R. Elliot & J. A. Bangham (1999), Development of a legible deafsigning virtual human, em 'Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems', Florença, Itália, pp. 333-338.

Porta, J., F. López-Colino, J. Tejedor & J. Colás (2014) 'A rule-based translation from written Spanish to Spanish Sign Language glosses' em Computer Speech and Language 28, pp. 788–811

Prinetto, P., G. Tiotto & A. Del Principe (2009), 'Designing Health Care Applications for the Deaf', em International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare 3, Londres – Inglaterra, pp. 1-2.

QUADROS, R. M; KARNOPP, L. B. Língua de sinais brasileira: estudos linguísticos. Porto Alegre: Artmed, 2004.

Rodrigues, C. S. & Valente, F. Aspectos Linguísticos da Libras, Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2012.

Rosas, J. L. G.; Fundamentos da Inteligência Artificial, Rio de Janeiro: LTC, 2011.

Russel, S. J.; P. Norvig (2004) Inteligência Artificial, 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier.

Sagawa, H., M. Ohki, E. Oohira, H. Ikeda & H. Fujisawa (1996), 'Pattern recognition and synthesis for a sign language translation system', Journal of Visual Languages & Computing 7(1), 109-127.

San-Segundo, R., A. Pérez, D. Ortiz, L.F. D'Haro, M.I. Torres & F. Casacuberta (2007), Evaluation of alternatives on speech to sign language translation, em 'Proceedings of the Interspeech 2007', Antwerp, Bélgica, pp. 2529-2532.

San-Segundo, R., J.M. Montero, J. Macías-Guarasa, R. Córdoba, J. Ferreiros & J.M. Pardo (2008a), 'Proposing a speech to gesture translation architecture for Spanish deaf people', Journal of Visual Languages and Computing 19(5), 523-538.

San-Segundo, R., J.M. Montero, J. Macías-Guarasa, R. Córdoba, J. Ferreiros & J.M. Pardo (2008b), 'Speech to sign language translation system for spanish', Speech Communication 50(11), 1009-1020.

San-Segundo, R., R. Barra, L.F. D'Haro, J. M. Montero, R. Córdoba & J. Ferreiros (2006), A spanish speech to sign language translation system for assisting deaf-mute people, em 'Proceedings of the Interspeech 2006', Pittsburgh, EUA, pp. 1399-1402.

Sarkar, B., K. Datta, C. D. Datta, D. Sarkar, S. J. Dutta, A. Paul & J. U. Molla (2009), A translator for bangla text to sign language, em 'Proceedings of the IEEE Annual India Conference, INDICON', Ahmedabad, Índia, pp. 1-4.

Saussure, Ferdinand de. In: BALLY, C; SECHEHAYE, A. (org.). *Curso de Linguística Geral*. 27ª ed. São Paulo: Cultrix, 2006.

Shoaib, U., N. Ahmad, P. Prinetto & G. Tiotto (2014), 'Integrating MultiWordNet with Italian Sign Language lexical resources', Expert Systems with Applications 41, pp. 2300-2308.

SILVA, M. da P. M. A Semântica como Negociação dos Significados em Libras, Unicamp, 2006.

Silva, D. A. N. dos S. (2012), Uma Linguagem Expansível para Descrição da Língua Brasileira de Sinais. Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa-PB.

Stein, D.; Schmidt, C.; Ney, H. (2012), Analysis, preparation, and optimization of statistical sign language machine translation, Machine Translation, v. 26, pp. 325-357.

Su, H. Y. & C. H.Wu (2009), 'Improving structural statistical machine translation for sign language with small corpus using thematic role templates as translation memory', IEEE Transactions on Machine Translation, Audio, Speech, and Language Processing 17(7), 1305-1315.

Tavares, O. De L., Coradine, L. C.; Breda, W. L. (2005) Falibras-MT – Autoria de tradutores automáticos de textos do português para LIBRAS, na forma gestual animada: Uma abordagem com memória de tradução. Anais do XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação: A universalidade da computação: um agente de inovação e conhecimento, São Leopoldo, p. 2099-2107.

Tmar, Z., A. Othman & M. Jemni (2013), 'A Rule-Based Approach for Building an Artificial English-ASL Corpus', em International Conference on Electrical Engineering and Software Applications (ICEESA), Hammamet-Tunísia, pp. 1-4.

va Zijl, L. & A. Combrink (2006), The South African Sign Language Machine Translation Project: issues on non-manual sign generation, em 'Proceedings of the 2006 annual research conference of the South African institute of computer scientists and information technologists on IT research in developing countries, SAICSIT '06', Gordon's Bay, África do Sul, pp. 127-134.

va Zijl, L. & D. Barker (2003), South African Sign Language Machine Translation System, em 'Proceedings of the 2nd international conference on Computer graphics, virtual Reality, visualisation and interaction in Africa, AFRIGRAPH'03', Cape Town, África do Sul, pp. 49-52.

va Zijl, L. & G. Olivrin (2008), South African Sign Language Assistive Translation, em 'Proceedings of the IASTED International Conference on Telehealth/Assistive Technologies', Baltimore, EUA, pp. 3-7.

Veale, T. & A. Conway (1994), Cross Modal Comprehension in ZARDOZ an English to Sign Language Translation System, em 'Proceedings of the 7th International Workshop on Natural Language Generation, INLG'94', Kennebunkport, EUA, pp. 249-252.

Veale, T., A. Conway & B. Collins (1998), 'The Challenges of Cross-modal Translation: English to sign language translation in the zardoz system', Machine Translation 13(1), 81-106.

Vieira, M. C., Y. Corrêa, L. Santarosa & M. C. V. Biazus (2014), Para além da interação: o papel de aplicativos como ProDeaf e HandTalk na constituição do sujeito surdo, '3º Seminário Nacional de Inclusão Digital', Passo Fundo-RS.

Wu, C. H., H. Y. Su, Y. H. Chiu & C. H. Lin (2007), Transfer-based Statistical Translation of Taiwanese Sign Language Using PCFG, 'ACM Transactions on Asian Language Information Processing 16(1)', 1-18.

Xu, L. & W. Gao (2000), Study on Translating Chinese into Chinese Sign Language, 'Journal of Computer Science and Technology 15(5)', 485-490.

Zhao, L., K. Kipper, W. Schuler, C. Vogler, N. Badler & M. Palmer (2000), A Machine Translation System from English to American Sign Language, em 'Proceedings of the 4th Conference of the Association for Machine Translation in the Americas', Cuernavaca, Mexico, pp. 54-67.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Protocolo de Revisão Sistemática e Identificação dos Processos de Busca, Seleção e Classificação das Publicações

A.1 Protocolo de Revisão Sistemática

A construção da revisão sistemática seguiu um protocolo que especifica as questões de pesquisa, métodos e estratégias de busca utilizada, assim como, os critérios de seleção das publicações que constituíram a amostra, de categorização qualitativa dos dados obtidos e de apresentação dos resultados da pesquisa (DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO, TAKAHASHI, BERTOLOZZI, 2011).

A questão de pesquisa que norteia este estudo é:

- QP1) Qual a caracterização dos estudos encontrados em periódicos *online* que abordam a tradução automática da língua oral para a língua de sinais?

A coleta dos artigos científicos foi realizada em cinco bibliotecas digitais através do processo de busca automático. As bibliotecas utilizadas na pesquisa foram: IEEEExplore, ACM Digital Library, ScienceDirect, Scopus, ISI Web of Knowledge. As palavras chaves e suas variantes necessárias à pesquisa são visualizadas na Tabela 1, sendo estas palavras combinadas para formar a seguinte *string* de busca, utilizada na coleta dos dados:

- String de busca: (“*sign language*” OR “*visual language*” OR LIBRAS OR ASL) AND (translat* OR pars* OR “*language processing*”).

Tabela 1: Identificação das palavras chaves e termos relacionados à busca

Palavras-chaves	Sinônimos e termos relacionados
sign language	LIBRAS, ASL, visual language
Machine translator	translation, parsing, language processing

Para a seleção das publicações desejadas, utilizou-se um protocolo de revisão que estabeleciam critérios de inclusão e exclusão das publicações. Incluem-se todos os artigos completos que abordem a temática proposta e que estivessem disponíveis para acesso gratuito

(inclusive os controlados por IP, permitido em universidades), que contemplassem em seus títulos, *abstracts* ou descritores a combinação da *string* de busca definida acima.

Os documentos excluídos são aqueles que não são artigos científicos, que são repetidos, que não são disponibilizados de forma gratuita (inclusive os controlados por IP, permitido em universidades) a versão completa do artigo e que não fazem parte do escopo da pesquisa, lembrando que esta tem como objetivo exclusivo verificar a tradução automática da língua oral para a língua de sinais.

Após o processo de inclusão e exclusão de artigos de acordo com os critérios estabelecidos realiza-se o processo de classificação considerando as regras adotadas e descritas a seguir.

(1) Estratégia de tradução: Identifica qual o método de tradução automática descrito no trabalho. Considerando esse critério, os artigos podem ser classificados da seguinte forma:

- Baseada em Regras: utiliza apenas estratégias baseadas em Tradução Automática Baseada em Regras;
- Estatística: utiliza apenas Tradução Automática Estatística;
- Baseada em Exemplos: utiliza apenas Tradução Automática Baseada em Exemplos;
- Híbridos: utiliza mais de um destes paradigmas;
- Sem classificação (SC): a estratégia de tradução não é identificada ou definida no artigo;

(2) Tipo de Entrada: Identifica o tipo de entrada utilizado pelo sistema de tradução. Nesse caso, os tipos de entradas mais comumente utilizadas são:

- Voz: aborda a tradução a partir de voz ou fala;
- Texto: aborda tradução a partir de mídias textuais;
- Sem classificação (SC): o tipo de entrada não é identificado ou definida no artigo;

(3) Tipo de Saída: Identifica o tipo de saída gerado pelo sistema de tradução. Os tipos de saída mais comumente utilizados são:

- Animação: gera uma saída baseada em agente animado virtual (avatar);
- Vídeos: gera uma saída a partir vídeos pré-gravados por intérpretes de línguas de sinais;
- Glosa: gera uma saída em glosa (representação textual em língua de sinais);

- Representação em Escrita em Língua de Sinais: gera uma saída baseada nas representações escritas de Stokoe, HamNoSys ou *SignWriting*;

- Sem classificação (SC): quando o tipo de saída não é identificado ou definida no artigo;

(4) Domínio da Tradução: Identifica se o sistema de tradução foi projetado para traduzir qualquer tipo de texto (notícias, esportes, política, clima, filmes, educação, etc.) ou se ele foi desenvolvido para traduzir textos em um domínio de aplicação específico. Com base nesse critério, o artigo pode ser classificado da seguinte forma:

- Domínio geral: envolve traduções para qualquer tipo de notícia;
- Específico: envolve traduções de conteúdos para um domínio específico;
- Sem classificação (SC): o domínio da tradução não é identificado ou definido no artigo;

(5) Método de avaliação: Identifica a estratégia de avaliação utilizada para verificar o desempenho, viabilidade e qualidade das traduções/conteúdos gerados pelos trabalhos. Nesse caso, a avaliação pode ser:

- Automática: utiliza apenas medidas objetivas obtidas a partir de testes computacionais;
- Com usuários: realiza apenas avaliação subjetiva através de testes com usuários;
- Híbrida: envolve tanto avaliação automática quanto avaliação com usuários;
- Sem classificação (SC): o tipo de avaliação não é definida no artigo;

(6) Presença de corpus: Identifica se os trabalhos utilizam um corpus textual e qual a característica desse corpus. Nesse caso, os artigos podem ser classificados da seguinte forma:

- Sem corpus (SC): não utiliza nenhum corpus textual;
- Unilíngue (língua oral): utiliza um corpus textual apenas na língua oral (isto é, não utiliza um corpus na língua de sinais);
- Unilíngue (língua de sinais): utiliza um corpus textual apenas na língua de sinais (isto é, não utiliza um corpus em língua oral);
- Bilíngue (língua oral): utiliza um corpus textual bilíngue (isto é, nas duas línguas);

(7) Tipo de artigo: Identifica o objetivo do artigo. Nesse caso, o artigo pode ser classificado da seguinte forma:

- Pesquisa ou *Survey*: artigos apresentados como *surveys*;

- Overview: artigos apresentados como *overview*;
- Experimental: artigos que reportam experimentos científicos com experimentos, objetivos, metodologia e resultados;
- Sistema, descrição, modelo, etc: artigos que descrevem estratégias de tradução automática para línguas de sinais;

A.2 Processo de Busca, Seleção e Classificação das Publicações

Realizando-se o processo de procura nas bibliotecas definidas, no dia 01 de julho de 2014, por meio da utilização da *string* de busca, encontrou-se o resultado visualizado no Gráfico 1. Sendo assim, a interação com os portais de busca retornou um total de 813 artigos. Observa-se que a Scopus e a IEEEExplore forma as que retornaram a maioria dos resultados, concentrado respectivamente 58% e 24% das publicações.

Após o refinamento da busca e aplicação do protocolo de revisão adotado, foram eliminados 319 artigos, dentre os quais 235 não conseguiram ser acessados ou apenas possuíam *abstract* disponível sendo a maioria destes provenientes da Scopus, 2 não possuíam o seu texto escrito em língua inglesa, 7 não eram artigos científicos e 75 eram artigos duplicados. Após esta primeira etapa, seguiu-se com as leituras preliminares que, de acordo com o protocolo estabelecido, constavam da leitura do *abstract* dos artigos. Esta etapa tinha como objetivo identificar aqueles relacionados como a temática abordada.

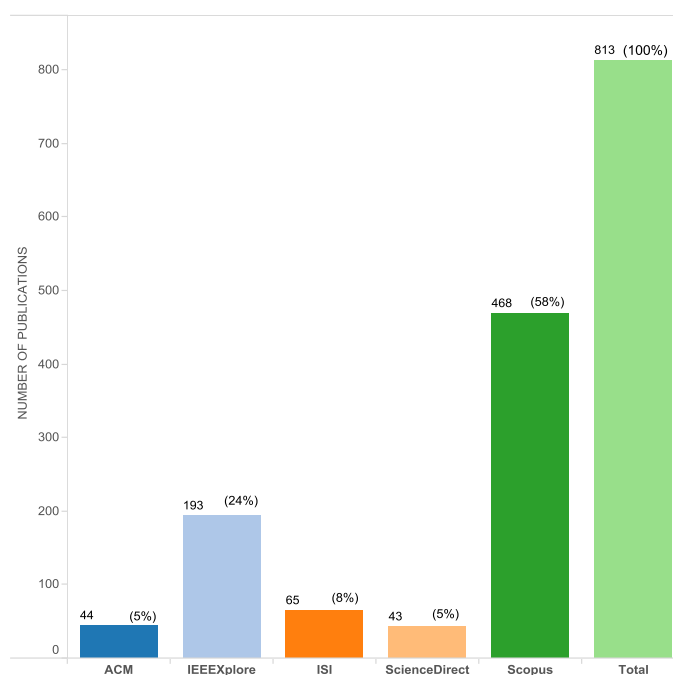


Gráfico 1: Quantitativa absoluto do processo de busca

O resultado desta etapa de exclusão foi a eliminação de 392 artigos. Este alto índice de exclusão deve-se principalmente diante do grande número de artigos retornados pelo processo de busca que aborda a tradução automática da língua de sinais para a língua oral, ou seja, o processo inverso da abordagem deste estudo.

Assim restaram 102 artigos o quais foram lidos na íntegra com o objetivo de verificar se realmente o seu conteúdo fazia parte da temática desejada. Neste momento ainda foram eliminados 27 artigos que não abordavam a tradução no sentido língua oral – língua de sinais. Os saldos da aplicação dos critérios de inclusão e exclusão podem ser visualizados nos Gráfico 2.

Conforme demonstrado no Gráfico 2, a biblioteca Scopus possui uma grande quantidade de artigos inacessíveis, sendo permitida apenas a visualização do título, *abstract* e descritores. Além disso, observa-se que houve uma grande eliminação de artigos da IEEEExplore e da Scopus na fase identificada como 1ª interação. Esta alta incidência está relacionada a estas duas bibliotecas terem devolvido um maior número de artigos no processo de busca, bem como a existência de muitos artigos relacionados a tradução da LS para a LO.

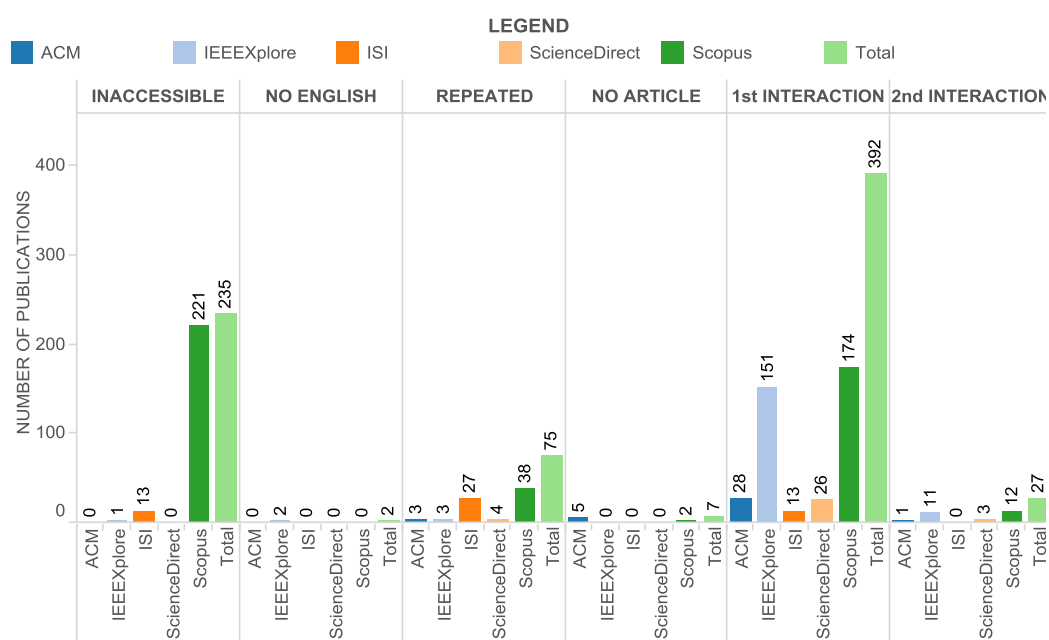


Gráfico 2: Total de artigos excluídos por etapa e por biblioteca

Observa-se ainda que, como demonstrado no Gráfico 3, na fase da 1ª interação foram eliminados o maior número de artigos e 90%, 79% e 76% do total de artigos eliminados das bibliotecas IEEEExplore, ScienceDirect e ACM Digital Library, respectivamente.

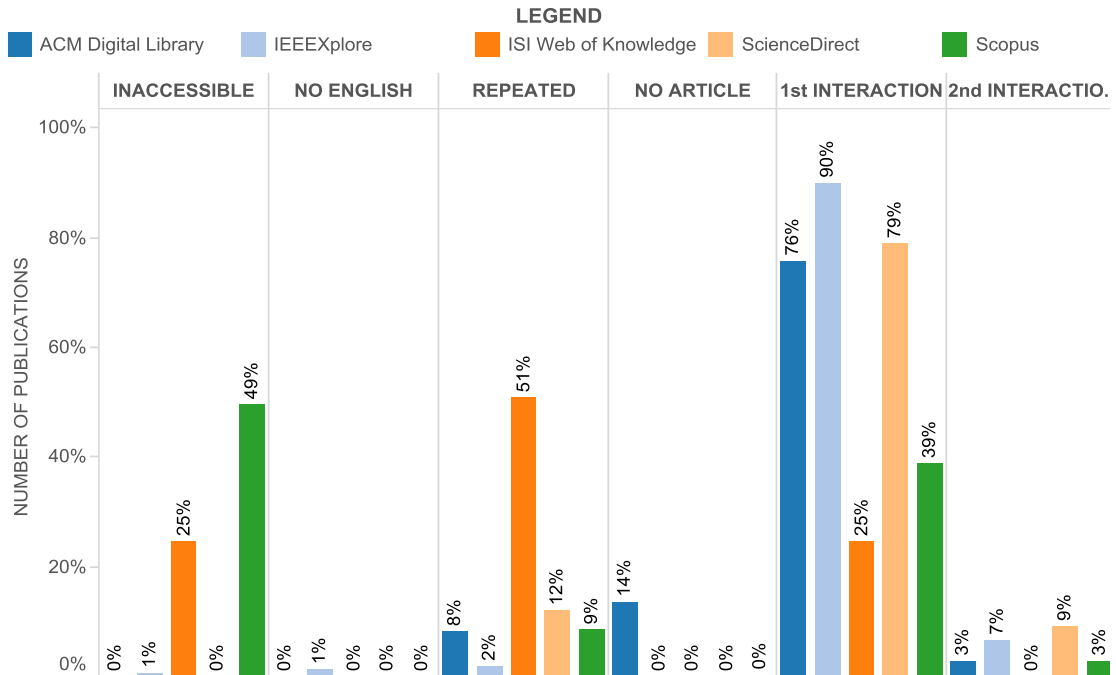


Gráfico 3: Percentual do total de artigos excluídos por etapa e por biblioteca

Após a aplicação integral do protocolo de revisão sistemática, foram selecionados 75 estudos para a serem relidos na íntegra, sendo estes o corpus da pesquisa e podendo sua distribuição ser visualizada, de acordo com a biblioteca encontrada, no Gráfico 4. O corpus da pesquisa é formado em sua maioria por publicações da *IEEEXplore* e *Scopus*, sendo representado por 66,66%, conforme verificado no Gráfico 4.

Na releitura dos estudos selecionados utilizou-se um sistema de classificação baseado nas categorias definidas na Seção 3.1 para organizar os dados. Além disso, os artigos também foram analisados com relação ao ano de publicação.

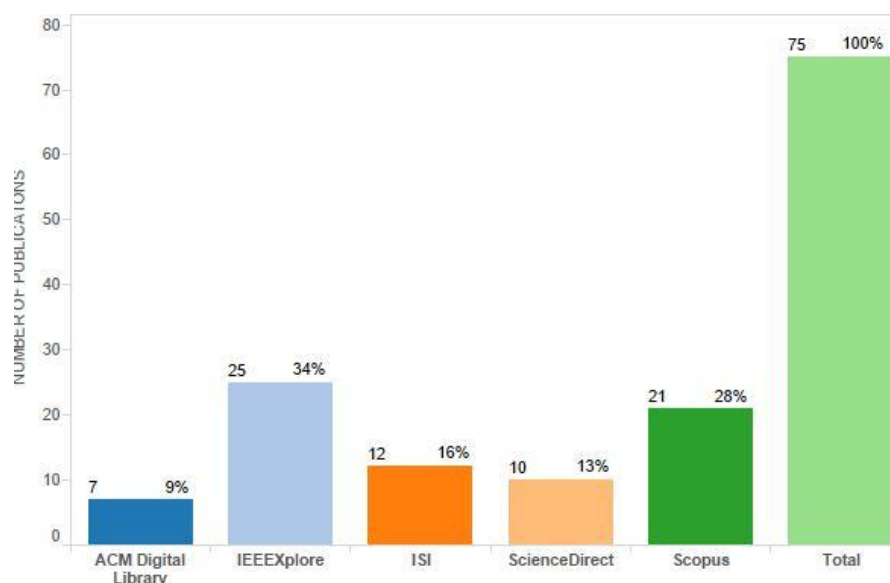


Gráfico 4: Distribuição dos artigos corpus da pesquisa

Após a classificação, procedeu-se uma categorização dos trabalhos selecionados com relação à língua de sinais utilizada. Nela, foram identificados trabalhos envolvendo 18 línguas de sinais diferentes. São elas:

- Língua Brasileira de Sinais
- Língua de Sinais Alemã.
- Língua de Sinais Americana
- Língua de Sinais Árabe
- Língua de Sinais Australiana
- Língua de Sinais Bangla
- Língua de Sinais Chinesa/Taianesa
- Língua de Sinais Coreana
- Língua de Sinais Espanhola
- Língua de Sinais Grega
- Língua de Sinais Indiana
- Língua de Sinais Inglesa
- Língua de Sinais Italiana
- Língua de Sinais Japonesa
- Língua de Sinais Paquistanesa
- Língua de Sinais Russa
- Língua de Sinais Sul Africana
- Língua de Sinais Tailandesa

Tais categorias foram analisadas e discutidas por meio da análise qualitativa, a qual foi desenvolvida de acordo com as seguintes etapas: pré-análise, exploração do material e interpretação dos dados (De-la-Torre-Ugarte-Guanilo, Takahashi e Bertolozzi, 2011).

APÊNDICE B

Descrição e Exemplificação das Regras elaboradas

(1) Regras de aplicação no módulo de Adequação morfológica

- (1) $PP (P_x DP) \rightarrow PP (DP) \{em, de, por, para\}$
- (2) $PP (P_x AdvP) \rightarrow PP (AdvP)$

As regras (3) e (4) descrevem a ação de exclusão das preposições já previstas no componente de tradução, descrito no capítulo anterior. No entanto, a exclusão realizada pela versão anterior do componente de tradução era geral, ou seja, todas as preposições eram excluídas. Contudo, em Libras, nem sempre as preposições são excluídas. Assim, estas regras propõem que tendo identificado o sintagma preposicional (PP) seja realizada a exclusão das preposições qualificadas (P_x) “em”, “de”, “por”, “para” e suas variações de gênero e número. Observa-se nas regras descritas a identificação dos sintagmas adverbiais (AdvP) e dos sintagmas determinantes (DP) estes são aqui descritos posto que são gerados pela gramática identificada no Quadro 3.

Exemplo: PB: de menino	PB: por aqui
Libras: menino	Libras: aqui

- (3) $DP (D_{A(f)} N_cP) \rightarrow NP(N_c) <mulher>$
- (4) $DP (D_{A(m)} N_cP) \rightarrow NP(N_c) <homem>$

Sintaticamente as sentenças em Libras não são formadas por sinais que identificam os artigos femininos ($D_{A(f)}$) e masculinos ($D_{A(m)}$). Consequentemente, estes que sempre aparecem dentro dos sintagmas determinantes (DP), devem ser eliminados no processo de tradução do PB para a Libras. No entanto, a eliminação dos artigos sem o tratamento apropriado pode levar a perdas semânticas, tais como ocorrem com os substantivos comuns de gêneros (N_c).

Neste sentido, as regras (5) e (6) foram propostas para garantir a completa transmissão semântica do gênero quando a sentença possuir sintagmas nominais (NP) formados por substantivos comuns de dois gêneros.

Exemplo: PB: a presidente PB: o artista
 Libras: presidente mulher Libras: artista homem

- (5) $DP (D_A NP) \rightarrow NP$
- (6) $DP (D_A PossP) \rightarrow PossP$
- (7) $DP (D_A NumP) \rightarrow NumP$

Outra regra que já está implementada no componente de tradução é a de eliminação dos artigos (D_A). Assim, as regras (7), (8) e (9) são descritas apenas para formalizar o que já está funcionando. Cabe apenas descrever que os artigos são identificados, pelo analisador sintático, através do sintagma determinante (DP). No entanto, como o sintagma determinante não é formado apenas pelo artigo, cabe, a formalização de regras que reflitam os sintagmas determinantes que além do artigo possuam os sintagmas numerias (NumP), os sintagmas possessivos (PossP) e os sintagmas nominais (NP).

Exemplo: PB: a mulher PB: os meus filhos PB: os dois porcos
 Libras: mulher Libras: meus filhos Libras: dois porcos

- (8) $VP (VB-P Adv_{(t)}P) \rightarrow SV (VB Adv_{(t)}P)$
- (9) $VP (VB-R Adv_{(t)}P) \rightarrow SV (VB Adv_{(t)}P)$
- (10) $VP (VB-D Adv_{(t)}P) \rightarrow SV (VB Adv_{(t)}P)$
- (11) $VP (Adv_{(t)}P VB-P) \rightarrow SV (Adv_{(t)}P VB)$
- (12) $VP (Adv_{(t)}P VB-R) \rightarrow SV (Adv_{(t)}P VB)$
- (13) $VP (Adv_{(t)}P VB-D) \rightarrow SV (Adv_{(t)}P VB)$

Em Libras não existe conjugação verbal que designe tempo incorporado ao sinal, sendo portanto, o tempo verbal marcado pelo advérbio de tempo ou pela inserção da palavra <futuro> ou <passado>. Assim, as regras de (10) até (15) descrevem a adequação sintática referente ao tempo verbal quando o sintagma verbal (VP) possui sintagma adverbial de tempo ($Adv_{(t)}P$). Nestas regras observa-se que a partir da identificação do advérbio de tempo na sentença o núcleo do sintagma verbal (Verbo) é levado para o infinitivo (VB) sem a necessidade de identificação do tempo da conjugação verbal, que pode ser presente (VB-P), passado (VB-D) e futuro (VB-R).

Exemplo: PB: Ontem trabalhei PB: Vi ontem
 Libras: Ontem trabalhar Libras: Ver ontem

- (14) VP (VB-P DP) → VP (VB DP)
- (15) VP (VB-P PP) → VP (VB PP)
- (16) VP (VB-P AP) → VP (VB AP)
- (17) VP (VB-SP DP) → VP (VB DP)
- (18) VP (VB-SP PP) → VP (VB PP)
- (19) VP (VB-SP AP) → VP (VB AP)

As regras de (16) até (21) refletem os sintagmas verbais que não possuem advérbios de tempo incorporados à sentença e que possuem o verbo no presente (VB-P). Estas regras realizam a adequação sintática através da substituição do verbo conjugado (VB-P) pelo verbo no infinitivo.

Exemplo: PB: Bebo água
 Libras: Beber água

- (20) VP (VB-R DP) → VP (VB DP <futuro>)
- (21) VP (VB-R PP) → SV (VB PP <futuro>)
- (22) VP (VB-R AP) → SV (VB AP <futuro>)

No tocante as regras de (22) até (24) refletem os sintagmas verbais que não possuem advérbios de tempo incorporados à sentença e que possuem o verbo no futuro (VB-R). Estas regras realizam a adequação sintática através da substituição do verbo conjugado (VB-R) pelo verbo no infinitivo associado ao token <futuro>.

Exemplo: PB: Estudarei Libras
 Libras: Estudar libras futuro

- (23) VP (VB-D DP) → VP (VB DP <passado>)
- (24) VP (VB-D PP) → VP (VB PP <passado>)
- (25) VP (VB-D AP) → VP (VB AP <passado>)

Por fim, as regras de (25) até (27) refletem os sintagmas verbais que não possuem advérbios de tempo incorporados à sentença, mas possuem o verbo no passado (VB-D). Estas

regras realizam a adequação sintática através da substituição do verbo conjugado (VB-D) pelo verbo no infinitivo associado ao token <passado>.

Exemplo: PB: Aprenderam português
Libras: Aprenderam português passado

(2) Regras de aplicação no módulo de Adequação Sintática

As regras morfossintáticas que recebem como entrada o texto em PB e geram a formação de glosa em Libras, refletindo a estrutura da sentença e modificações no morfema.

- (26) $VP(VB Adv_{(i)}) \rightarrow VP(V_{Mi})$
- (27) $VP(Adv_{(n)} VB_{(n)}) \rightarrow VP(V_N)$
- (28) $VP(Adv_{(n)} VB) \rightarrow VP(V_{Mn})$
- (29) $V_{Mn} \rightarrow VB(<expressão-facial= não>$
- (30) $V_{Mi} \rightarrow VB(<movimento (se verbos-modifica) flag-repetição><ponto-articulacao estado = “inicial” local = ? subdivisão = ?> <ponto-articulacao estado = “final” local = ? subdivisão = ?><expressão-facial=?><velocidade=?>$

A regra (28) demonstra que se o sintagma verbal em PB for formado por Verbo e Advérbio de intensidade ($Adv_{(i)}$), o sintagma verbal em Libras será formado por um verbo modificado (V_{Mi}), onde este V_{Mi} é o sinal de VB com modificações de velocidade, frequência, amplitude e/ou expressão facial conforme descrito na regra (31). Veja o exemplo a seguir.

Exemplo: PB: Trabalhar muito
Libras: trabalhar_muito

A regra (29) aborda a adequação morfossintática dos verbos em Libras que sofrem modificação do radical do sinal diante da associação do advérbio de negação ($Adv_{(n)}$), conforme demonstrado no exemplo a seguir e figura 22.

Exemplo: PB: Não ter
Libras: não_ter

Complementando o tratamento imposto pela regra (29), as regras (30) e (31) tratam da adequação morfosintática dos verbos que não modificam o radical diante da incorporação do advérbio de negação. Nestas regras percebe-se que diante desta associação do advérbio de negação o verbo é modificado (V_{Mn}). O V_{Mn} nada mais é do que o VB com modificações de expressão facial conforme descrito na regra (6) .

Exemplo: PB: Não Conhecer
Libras: não_conhecer

- (31) $AP(Adv_{(i)} Adj) \rightarrow AP(Adj_{Mi})$
 (32) $AP(Adj Adv_{(i)}) \rightarrow AP(Adj_{Mi})$
 (33) $Adj_{Mi} \rightarrow Adj(<movimento (se circular tamanho-raio=?) flag-repetição><ponto-articulacao estado = “inicial” local = ? subdivisão = ?> <ponto-articulacao estado = “final” local = ? subdivisão = ?><expressão-facial=?><velocidade=?>$
 (34) $AP(Adv_{(n)} Adj) \rightarrow AP(Adj_{Mn})$
 (35) $Adj_{Mn} \rightarrow Adj(<expressão-facial=não>$

A regra (33) demonstra que se o sintagma adjetival em PB for formado por Advérbio de intensidade e Adjetivo, o sintagma adjetival em Libras será formado por um adjetivo modificado (Adj_{Mi}). Já a regra (34) é semelhante a regra (33) apenas com as posições entre o adjetivo e advérbio invertidas. Onde este Adj_{Mi} é o sinal de Adj com modificações de velocidade, frequência, amplitude e/ou expressão facial conforme descrito na regra (35). Veja o exemplo a seguir.

Exemplo: PB: muito bonito	PB: lindo demais
Libras: muito_bonito	Libras: muito_lindo

A regra (36) trata da adequação morfosintática dos adjetivos que não modificam o radical diante da incorporação do advérbio de negação. Nesta regra, percebe-se que diante desta associação do advérbio de negação, o adjetivo é modificado (Adj_{Mn}). O Adj_{Mn} nada mais é do que o Adj com modificações de expressão facial conforme descrito na regra (37) .

Exemplo: PB: Não bonito
Libras: não_bonito

- (36) $SAdv(Adv Adv_{(i)}) \rightarrow SAdv(Adv_{Mi})$

(37) $S_{Adv} (Adv_{(i)} Adv) \rightarrow S_{Adv} (Adv_{Mi})$

(38) $Adv_{Mi} \rightarrow Adv(<movimento \text{ (se circula tamanho-raio=?)} \text{ flag-repetição}><ponto-articulacao \text{ estado} = \text{“inicial” local} = ? \text{ subdivisão} = ?> <ponto-articulacao \text{ estado} = \text{“final” local} = ? \text{ subdivisão} = ?><expressão-facial=?><velocidade=?>)$

A regra (38) demonstra que se o sintagma adverbial em PB for formado por advérbio e um advérbio de intensidade, o sintagma adverbial em Libras será formado por um advérbio modificado (Adv_{Mi}). Já a regra (39) é semelhante à regra (38) apenas com as posições entre os advérbios invertidas. Onde este Adv_{Mi} é o sinal de Adv com modificações de velocidade, frequência, amplitude e/ou expressão facial conforme descrito na regra (40). Veja o exemplo a seguir.

Exemplo: PB: bem demais
Libras: muito_bem

PB: muito bem
Libras: muito_bem

Nesta seção serão apresentadas as regras sintáticas que recebem como entrada o texto em PB e geram a formação de glosa em Libras. Estas regras dizem respeito essencialmente a estrutura da sentença.

(39) $S (VP NP) \rightarrow S (NP VP)$

(40) $VP (V AP) \rightarrow VP (AP)$

A regra (1) tem como objetivo colocar a sentença (S) na ordem direta, pois com já mencionado anteriormente na Libras, a sentença normalmente obedece a sequência SVO (Sujeito-Verbo-Objeto), salvo quando há objetivo de enfatizar. Vale a ressalva que aqui se pretende apenas ordenar a frase para que o sintagma nominal (NP) anteceda o sintagma verbal (VP). Logo, esta regra não tem pretensão de resolver as questões de passividade do verbo. Um exemplo do que a regra (1) pretende solucionar está descrito no exemplo a seguir.

Exemplo: PB - Descontraídos, os garotos estão.
Libras: Os garotos estão descontraídos.

A regra (2) busca adequar sintaticamente às sentenças em Libras onde o sintagma verbal é composto por verbo de ligação. Neste tipo de sentença, a análise sintática do PB irá produzir um sintagma verbal (VP) que se decompõe em verbo (V) e um sintagma adjetival

(AP). Em Libras, este sintagma verbal não necessita à sinalização do verbo, portanto este verbo deve ser excluído. Vejamos o exemplo a seguir.

Exemplo: PB: Você é bonito
Libras: Você bonito

APÊNDICE C

QUESTIONÁRIO

RESPONDA O QUESTIONÁRIO SOBRE INFORMAÇÕES DOS USUÁRIOS

- | | |
|---|---|
| <p>1) Você é homem ou mulher?</p> <p style="margin-left: 20px;">a. Homem</p> <p style="margin-left: 20px;">b. Mulher</p> <p>2) Qual a sua idade?</p> <p style="margin-left: 20px;">_____</p> <p>3) Você Surdo?</p> <p style="margin-left: 20px;">a. sim</p> <p style="margin-left: 20px;">b. não</p> <p>4) Você usa computador?</p> <p style="margin-left: 20px;">a. Sim</p> <p style="margin-left: 20px;">b. Não</p> <p>5) Você usa smarthphone?</p> <p style="margin-left: 20px;">a. Sim</p> <p style="margin-left: 20px;">b. Não</p> | <p>6) Você usa algum aplicativo de tradução para Libras?</p> <p style="margin-left: 20px;">a. Sim</p> <p style="margin-left: 20px;">b. Não</p> <p>7) Você entende português...</p> <p style="margin-left: 20px;">a. Perfeito</p> <p style="margin-left: 20px;">b. Bem</p> <p style="margin-left: 20px;">c. Mais ou menos</p> <p style="margin-left: 20px;">d. Pouco</p> <p style="margin-left: 20px;">e. Não sei português</p> <p>8) Qual a sua escolaridade?</p> <p style="margin-left: 20px;">a. Fundamental completo</p> <p style="margin-left: 20px;">b. Ensino médio completo</p> <p style="margin-left: 20px;">c. Graduação completa</p> <p style="margin-left: 20px;">d. Especialização</p> <p style="margin-left: 20px;">e. Mestrado</p> <p style="margin-left: 20px;">f. Doutorado</p> |
|---|---|

RESPONDA O QUESTIONÁRIO SOBRE COMPREENSÃO DE CONTEÚDOS

Sentença 1

O projeto original do governo destinava ao TSE R\$ 334,9 milhões.

1) Pergunta

Quantos reais o governo destinava ao projeto?

- a) 34,9 milhões
- b) 334,9 milhões
- c) 3,49 milhões
- d) Não sei

2) Pergunta

Quando isso aconteceu?

- a) Passado
- b) Agora
- c) Futuro
- d) Não sei

3) Pergunta

A tradução está correta?

- a) Perfeito
- b) Bom
- c) Mais ou menos
- d) Ruim
- e) Não sei

Sentença 2

Ele só não jogava porque não estava bem.

4) Pergunta

Ele jogava? Porque?

- a) Sim. Porque estava bem.
- b) Não. Porque não estava bem.
- c) Não. Porque não estava bem.
- d) Sim. Porque não estava bem.
- e) Não sei

5) Pergunta

A tradução está correta?

- a) Perfeito
- b) Bom
- c) Mais ou menos
- d) Ruim
- e) Não sei

Sentença 3

O atacante, que deveria ter se apresentado anteontem à noite, pediu mais um dia de folga ao treinador.

6) Pergunta

Atacante é homem ou mulher?

- a) Homem
- b) Mulher
- c) Não sei

7) Pergunta

Quando aconteceu?

- a) Ontem
- b) Amanhã
- c) Anteontem
- d) Agora
- e) Não sei

8) Pergunta

A tradução está correta?

- a) Perfeito
- b) Bom
- c) Mais ou menos
- d) Ruim
- e) Não sei

Sentença 4

O top de linha custa US\$ 30 mil.

9) Pergunta

Quanto custa o equipamento?

- a) 30 mil reais
- b) 30 mil dólares
- c) 3 mil dólares
- d) 30 mil dinheiro
- e) Não sei

10) Pergunta

A tradução está correta?

- a) Perfeito
- b) Bom
- c) Mais ou menos
- d) Ruim
- e) Não sei

Sentença 5

Os três estão presos desde 30 de julho de 93.

11) Pergunta

Eles estão presos agora?

- a) Sim
- b) Não
- c) Não sei

12) Pergunta

Desde quando eles estão presos?

- a) 30 janeiro de 94
- b) 30 julho de 93
- c) 3 de julho de 93
- d) 3 janeiro de 93
- e) Não sei

13) Pergunta

A frase está...

- a) Passado
- b) Presente
- c) Futuro
- d) Não sei

14) Pergunta

A tradução está correta?

- a) Perfeito
- b) Bom
- c) Mais ou menos
- d) Ruim
- e) Não sei

**RESPONDA O QUESTIONÁRIO SOBRE
AVALIAÇÃO DE CONTEÚDOS**

- | | |
|--|---|
| <p>1) Como você avalia os movimentos do avatar?</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Perfeito b. Bom c. Mais ou menos d. Ruim e. Não sei | <p>4) A tradução respeita a gramática de Libras?</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Perfeito b. Bom c. Mais ou menos d. Ruim e. Não sei |
| <p>2) Como você avalia a naturalidade da sinalização?</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Perfeita b. Bom c. Mais ou menos d. Ruim e. Não sei | <p>5) As expressões faciais dos sinais estão corretas?</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Sim b. Mais ou menos c. Não d. Não sei |
| <p>3) É fácil entender a tradução?</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Sim b. Mais ou menos c. Não d. Não sei | <p>6) O que você acha do avatar?</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Perfeito b. Bom c. Mais ou menos d. Ruim e. Não sei |