



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA – UEPB
CAMPUS VII – GOVERNADOR ANTÔNIO MARIZ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E SOCIAIS APLICADAS – CCEA
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

ALLAN RAFAEL FERREIRA DE OLIVEIRA

**INTERPRETAÇÃO DE LIBRAS PARA PORTUGUÊS BASEADO EM GLOSAS POR
MEIO DE PROCESSAMENTO DE LINGUAGEM NATURAL**

**PATOS – PB
2019**

ALLAN RAFAEL FERREIRA DE OLIVEIRA

**INTERPRETAÇÃO DE LIBRAS PARA PORTUGUÊS BASEADO EM GLOSAS
POR MEIO DE PROCESSAMENTO DE LINGUAGEM NATURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para a obtenção do título de Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Estadual da Paraíba.

Orientador: Fábio Júnior Francisco da Silva (Esp.)

**PATOS – PB
2019**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

O48i Oliveira, Allan Rafael Ferreira de.
Interpretação de LIBRAS para português baseado em glosas por meio de processamento de linguagem natural [manuscrito] / Allan Rafael Ferreira de Oliveira. - 2019.
52 p. : il. colorido.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Computação) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas, 2019.
"Orientação : Prof. Esp. Fábio Júnior Francisco da Silva, Coordenação do Curso de Computação - CCEA."
1. Tradução automática. 2. Glosas. 3. LIBRAS. 4. Inteligência artificial. 5. Aprendizagem de máquina. I. Título
21. ed. CDD 004

Allan Rafael Ferreira de Oliveira

**INTERPRETAÇÃO DE LIBRAS PARA PORTUGUÊS BASEADO EM GLOSAS POR
MEIO DE ALGORITMOS DE PROCESSAMENTO DE LINGUAGEM NATURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Ciências da Computação da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento à exigência para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovado em 28/11/2019

BANCA EXAMINADORA

Fábio Júnior Francisco da Silva
Prof. Esp. Fábio Júnior F. da Silva
(Orientador)

Wellington C. Araújo
Prof. Dr. Wellington Candeia de Araújo
(Examinador)

Rômulo Rodrigues de Morais Bezerra
Prof. Me. Rômulo Rodrigues de Morais Bezerra
(Examinador)

RESUMO

A comunicação humana é importante nas atividades realizadas em sociedade, e permite um contínuo processo de interações e interdependência entre as pessoas. Contudo, as pessoas com deficiência auditiva enfrentam dificuldades em se comunicar, pois os surdos utilizam a LIBRAS como língua materna, enquanto a maioria das pessoas não surdas (ouvintes) não conseguem se comunicar pela língua de sinais. Por isso, na maioria das vezes é necessário a presença do profissional em Tradução e Interpretação de Língua de Sinais (TILS) para transmitir os significados tanto para o surdo como para o ouvinte. Mas nem sempre este profissional em TILS está disponível nas situações do cotidiano, e quando não há quem traduza ou interprete a LIBRAS a comunicação entre o surdo e ouvinte torna-se limitada aos conhecimentos de gestos, mímicas ou escrita em português. Nesse contexto, a proposta desta pesquisa consiste em desenvolver uma solução baseada em tradução automática (TA) neural por meio de algoritmos de processamento de linguagem natural (PLN) para a interpretação de LIBRAS (fonte), recebendo como entrada termos da língua de origem que representam cada sinal (glosas da LIBRAS), e tendo como saída a interpretação desses sinais (textual) em português (alvo), com a finalidade de permitir a interpretação de sinais sem a presença de um intérprete. O que motivou a realização deste trabalho foi a necessidade de comunicação entre pessoas surdas e ouvintes para permitir que o surdo utilize língua natural (LIBRAS), e o ouvinte possa compreendê-lo, contribuindo para a inclusão social e acessibilidade no aspecto comunicativo. A solução adotada neste trabalho consegue realizar a tradução como forma de interpretação da LIBRAS, dado como entrada uma quantidade de sentenças em glosas, é gerada a quantidade equivalente de sentenças em português com eficiência de 69.92%. Embora, algumas sentenças obtiveram falsos positivos (significados diferentes), é possível aprimorar os resultados desta solução processando uma maior quantidade de sentenças.

Palavras-Chave: Tradução automática. PLN. LIBRAS. Glosas.

ABSTRACT

Human communication is important in the activities carried out in society, and allows a continuous process of interactions and interdependence between people. However, people with hearing impairment face difficulties in communicating, as deaf people use LIBRAS as their mother tongue, while most undeaf people (listeners) cannot communicate by sign language. Therefore, most of the time it is necessary the presence of the professional in Translation and Interpretation of Sign Language (TILS) to transmit the meanings to both the deaf and to the listener. But this TILS professional is not always available in everyday situations, and when there are no one who translates or interprets THE COMMUNICATION between the deaf and listener becomes limited to the knowledge of gestures, mimes or writing in Portuguese. In this context, the proposal of this research consists of developing a solution based on neural machine translation (TA) through natural language processing algorithms (PLN) for the interpretation of LIBRAS (source), receiving as input terms of the language of origin representing each sign (glosas of LIBRAS), and having as output the interpretation of these signs (textual) in Portuguese (target), in order to allow the interpretation of signs without the presence of an interpreter. What motivated the performance of this work was the need for communication between deaf people and listeners to allow the deaf to use natural language (LIBRAS), and the listener can understand it, contributing to social inclusion and accessibility in the aspect Communicative. The solution adopted in this work can perform the translation as a form of interpretation of LIBRAS, given as input a quantity of sentences in glosas, the equivalent amount of sentences in Portuguese with efficiency of 69.92% is generated. Although, some sentences have obtained false positives (different meanings), it is possible to improve the results of this solution by processing a greater amount of sentences.

Keywords: Automatic translation. PLN. LIBRAS. Glosses.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Configurações de mãos.....	18
Figura 2 –	Alfabeto em LIBRAS.....	19
Figura 3 –	Modelo de rede neural recorrente (RNN).....	22
Figura 4 –	Exemplo de TA neural utilizando RNN.....	26
Figura 5 –	Arquitetura geral de um sistema de PLN.....	28
Figura 6 –	Previsão de evolução em PLN a partir de curvas.....	29
Figura 7 –	Arquitetura da biblioteca Spacy.....	30
Figura 8 –	Estrutura da rede NMT na biblioteca OpenNMT-py.....	32
Figura 9 –	Esquema do primeiro experimento (A).....	39
Figura 10 –	Esquema do segundo experimento (B) através de NMT.....	40
Figura 11 –	Pseudocódigo do algoritmo de TA neural.....	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Convenções para transcrição de português para glosas em LIBRAS.....	20
Quadro 2 – Mapeamento de um sistema RBMT.....	24
Quadro 3 – Exemplos do formalismo de PATR-II.....	27
Quadro 4 – Bibliotecas utilizadas nos experimentos A e B.....	38
Quadro 5 – Etapas e comandos utilizados no experimento B.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Precisão do experimento A em porcentagem.....	43
Gráfico 2 – Precisão do experimento B em porcentagem.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	Interface de Programação de Aplicativos
BLEU	Estudo de Avaliação Bilíngue
CM	Configuração de mãos
CNN	Rede Neural Convolucional
CPU	Unidade Central de Processamento
IA	Inteligência Artificial
ICP	Infraestrutura de Chaves Públicas
LAVID	Laboratório de Aplicações de Vídeo Digital
LIBRAS	LIBRAS Língua Brasileira de Sinais
MIT	Tradução Automática Neural de Código Aberto
NMT	Neural machine Translation
OSV	Objeto-Sujeito-Verbo
PA	Ponto de Articulação
PLN	Processamento de Linguagem Natural
RBMT	Tradução Automática Baseada em Regras
RGB	Red, Green, Blue
RNA	Redes Neurais Artificiais
RNN	Recurrents Neural Networks
SAL	Sentença Alvo
SDK	Kit de desenvolvimento de software
SFT	Sentença Fonte
STS	Sentença de Teste
STR	Sentença Traduzida
SVO	Sujeito, Verbo, Objeto
TA	Tradução Automática
TILS	Tradutor e Intérprete de Língua de Sinais
WER	Word Error Rate

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivos	12
1.1.1	<i>Objetivos geral</i>	12
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Comunicação entre surdos e ouvintes	14
2.1.1	<i>Aquisição da linguagem de sinais</i>	15
2.1.2	<i>O papel do intérprete</i>	17
2.2	Libras	18
2.2.1	<i>Glosas em Libras</i>	20
2.3	Inteligência artificial	21
2.4	Técnicas de aprendizagem de máquina	21
2.5	Tradução automática	22
2.5.1	<i>Tradução automática baseada em regras</i>	23
2.5.2	<i>Tradução automática estatística</i>	24
2.5.3	<i>Tradução automática neural</i>	25
2.6	Processamento de linguagem natural	26
2.7	Bibliotecas Python	29
2.7.1	<i>Nltk</i>	29
2.7.2	<i>Numpy</i>	30
2.7.3	<i>Spacy</i>	30
2.7.4	<i>Googletrans</i>	31
2.7.5	<i>Vlibras-translate</i>	31
2.7.6	<i>OpenNMT-py</i>	31
2.7.7	<i>Pandas</i>	33
2.7.8	<i>Sklearn</i>	33
2.8	Trabalhos relacionados	33
3	METODOLOGIA	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A comunicação é um ato indispensável para humanidade, pois ela é utilizada nas atividades executadas pelas pessoas no meio social em um contínuo processo de interações, como por exemplo, nas áreas da educação, comércio, saúde, política e entre outras. É a partir da conversação entre pessoas que ocorre a troca de informações necessárias para estimular e movimentar uma sociedade.

Essas interações interligam as pessoas, o que caracteriza uma interdependência em relação ao próximo, isto é, uma vez que uma pessoa esteja isenta desse processo, ela encontra-se excluída do meio da sociedade. Embora existam pessoas que enfrentam dificuldades em se comunicar, elas dispõem de maneiras diferenciadas para se comunicar com as demais pessoas.

As pessoas com deficiência auditiva, por exemplo, enfrentam dificuldades em se comunicar com as pessoas não surdas (ouvintes), pois as linguagens utilizadas no processo comunicativo possuem modalidades distintas neste cenário, em que o surdo se comunica através de sinais (modalidade espaço-visual), enquanto a pessoa ouvinte se comunica por meio da fala (modalidade oral-auditiva). Com isso, a comunidade surda vem sendo alfabetizada em duas linguagens em LIBRAS e em português escrito (bilinguismo) para que seja possível a comunicação entre surdos e ouvintes.

Além disso, na maioria das vezes é necessária a presença do interpretador da Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS) no processo comunicativo, que realize a interpretação dos significados de ambas linguagens e assim transmita-os para cada um dos participantes desse processo.

Inclusive, é necessário que o intérprete aborde da linguagem compreensiva com palavras ou sinais adequados que atendam a realidade de compreensão e de significados de cada um deles. No entanto, nem sempre há a disponibilidade do intérprete de LIBRAS em situações do cotidiano dessas pessoas, o que dificulta a comunicação entre elas (surdas e não surdas).

Tendo em vista a existência de trabalhos, na literatura, de tradução automática e transcrição de linguagens de sinais para uma linguagem alvo, ficou evidente a existência de uma lacuna na pesquisa sobre soluções que consigam interpretar LIBRAS, através de algoritmos de Processamento de Linguagem Natural

(PLN) para tradução automática (TA), com a finalidade de facilitar a comunicação entre pessoas surdas e ouvintes.

Nesse contexto, a proposta deste trabalho é oferecer uma solução que possa realizar a interpretação de LIBRAS (fonte), tendo como entrada termos que representam cada sinal (glosas da LIBRAS), e tendo como saída a interpretação desses sinais em português (alvo), com a finalidade de permitir a interpretação de sinais sem a presença de um intérprete.

Como hipótese para realização deste trabalho, tem-se que após ter sido feito um reconhecimento e classificação de sinais da LIBRAS utilizando um sistema de detecção dos sinais como apresentado nos trabalhos de (JUNIOR, 2016, GOIS, 2014, LIMA, 2015, KOROISHI; SILVA, 2015, MACHADO, 2018, BECKER, 2015, GONÇALVES et al., 2016, LAMAR, 2014), é possível utilizar algoritmos de PLN para interpretação dos sinais da LIBRAS para o português brasileiro por meio de glosas, um sistema de transcrição mais simplificado que usa palavras para representar a linguagem de sinais.

A solução adotada como estratégia para interpretação de LIBRAS é a tradução automática (TA) que recebe as informação em uma língua fonte em glosas, fornecida como entrada para o algoritmo, e é transformada em uma versão equivalente na língua alvo em português. O sistema de glosas é o mais adotado na tradução automática em comparação com outros sistemas de transcrições de linguagens de sinais pela facilidade para processar os dados utilizando PNL, outro sistema como o de *SignWriting* defendido por Becker (2015) e Junior (2016), exige a utilização de reconhecimento dessa escrita por vídeo com maior custo computacional comparado ao PLN.

A TA é a solução mais utilizada em trabalhos acadêmicos que pode ser implementada em três abordagens diferentes, baseadas em regras, estatística e redes neurais. A TA neural ou NMT do inglês *Neural Machine Translation*, é a abordagem que se destaca em relação as demais, por não exigir ter um conhecimento aprofundado sobre a linguagem fonte. A eficiência da TA é medida pela precisão conforme o modelo aprende (aprendizagem de máquina).

O que motivou a realização deste trabalho foi a necessidade de comunicação entre pessoas surdas e ouvintes em que o surdo se utilize de sua própria língua (LIBRAS), contribuindo para uma maior inclusão social e acessibilidade no aspecto comunicativo. Além disso, a comunicação seria de forma mais direta (interpessoal),

não havendo a necessidade de interceptação da mensagem sinalizada pelo intérprete.

Portanto, através dessa solução de interpretação dos sinais em LIBRAS que este trabalho propõe, juntamente com um sistema de reconhecimento e classificação de sinais, a pessoa surda poderá se comunicar com uma pessoa ouvinte, utilizando a sua linguagem e assim diminuir as barreiras da comunicação, garantir direitos de inclusão, acessibilidade, autonomia, e ainda facilitar a educação, saúde e bem-estar. Além disso, o ouvinte poderá compreender melhor a pessoa surda.

Esta intervenção na comunicação, embora aplicada sem captura e sem o reconhecimento de sinais da LIBRAS por imagens, deixa uma contribuição no âmbito da interpretação de sinais representados por palavras; tais sinais poderiam ser gerados por um sistema de vídeo, mas por limitações de recursos de tecnologias e configurações de hardware não foi possível a realização desse processo de reconhecimento gráfico dos sinais neste trabalho.

1.1 Objetivos

Esta seção aborda os objetivos geral e específicos que norteiam este trabalho.

1.1.1 Objetivo geral

Criar algoritmo de interpretação de LIBRAS utilizando processamento de linguagem natural por meio de glosas.

1.1.2 Objetivos específicos

Seguem os objetivos específicos do projeto:

- Fazer um levantamento do estado da arte.
- Desenvolver um algoritmo para interpretação da LIBRAS.
- Testar o algoritmo de interpretação da LIBRAS.

A solução adotada neste trabalho consegue efetuar uma tradução automática como forma de interpretação da LIBRAS, passando como entrada para o algoritmo as sentenças na forma de um conjunto de palavras que representam os sinais

(glosas da LIBRAS) como linguagem de origem, tendo como resultado do algoritmo, a geração das sentenças traduzidas em português como linguagem destino.

A taxa de eficiência do algoritmo passando a quantidade de 5763 sentenças foi de 69.92% de precisão, medida pelo próprio algoritmo de tradução automática utilizado. No entanto, o atual algoritmo pode ser melhorado processando uma base de dados maior que contenha uma maior quantidade de sentenças.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Comunicação entre surdos e ouvintes

A comunicação é um ato essencial e natural ao Ser Humano desde os seus primórdios, concedendo-lhe experiências e sentimentos com demais e são compartilhados por meio de códigos e significados em comuns. Isso faz do Ser Humano um ser comunicativo (OLIVEIRA, 2014, FÍGARO, 2008).

O conceito de comunicação está diretamente relacionado ao de processo, pois existe o intercâmbio entre seus elementos (o emissor, mensagem, meio, receptor e efeito) em uma sucessão de acontecimentos dinâmicos e inter-relacionados que interagem entre si (OLIVEIRA, 2011).

A partir da combinação de um conjunto de letras ou símbolos (códigos) é possível produzir uma mensagem, ideia ou sinal, criando uma linguagem para construir diferentes significados e pensamentos, e possibilitar a decodificação das informações (DUARTE, 2013, FERREIRA e OLIVEIRA, 2015).

O processo comunicativo pode ser afetado por empecilhos na construção da mensagem e no entendimento das informações, o que é chamado de barreiras na comunicação. As barreiras na comunicação acontecem quando a mensagem não é compreendida por quem recebe a mensagem (receptor) da forma como fora codificada por quem emite a mensagem (emissor). Ramos (2003) enumera seis barreiras comunicacionais: as barreiras pessoais, sociais, fisiológicas, da personalidade, da linguagem e psicológicas.

No que se refere a barreira da linguagem, equívocos de significados são empregados no entendimento do receptor, pois a mensagem emitida por uma determinada linguagem possui significados diferentes da qual o receptor está familiarizado. Isso ocorre no processo comunicativo entre pessoas surdas e ouvintes (não surdas), pois as linguagens são distintas. Assim, a barreira da linguagem desempenha o papel inicial que aponta para as demais barreiras da comunicação (SCHLÜNZEN; DI BENEDETTO; SANTOS, 2013).

Durante séculos, as pessoas que portavam alguma deficiência fonológica e/ou auditiva viviam praticamente excluídas, sofriam preconceitos e ficavam isoladas da sociedade, pois as pessoas ouvintes consideravam o deficiente um ser incapaz. Dessa forma, Schlünzen, Di Benedetto e Santos (2013) relataram que os deficientes

auditivos que não conseguiam falar eram tidos como pessoas não pensantes e comparados a animais, pois acreditavam que a capacidade de raciocínio estava ligada à fala.

De acordo com os mesmos autores, através de investigações e pesquisas sobre a surdez, as pessoas com deficiência auditiva começaram a conquistar acessibilidade na sociedade e o reconhecimento das suas capacidades como ser social. E, a partir do momento em que surgiu o interesse de incluir e compreender as pessoas surdas na sociedade, criou-se o interesse para que elas fossem estudadas em suas limitações não como objetos de pesquisa, mas como seres sociais pensantes. Desse modo, percebeu-se que através de sinais de mãos combinados com expressões faciais, os surdos poderiam se comunicar com as outras pessoas.

Nessa perspectiva, Gondim (2015, p.5) traz uma explicação acerca da capacidade criativa do ser humano:

Não há conhecimento sem criatividade. A imaginação criativa é o fundamento para que o homem possa questionar a realidade, traçar novas técnicas e evoluir em sociedade. A saída da inércia estabelecida por pensamentos dogmáticos só é possibilitada através da capacidade criadora da imaginação humana. A busca pela verdade surge da incerteza, que por sua vez nasce do questionamento, que provém da imaginação criativa.

As habilidades das pessoas surdas, possuem um diferencial em comparação com pessoas ouvintes, por causa da capacidade cognitiva de percepção visual, pois é dessa forma que se desenvolvem intelectualmente na sociedade. Conforme Alves e Frassetto (2007, p.218) esclarece:

Os surdos têm memória, atenção, percepção que são construídas também e, sobretudo, visualmente. Na ausência de língua estruturada, o cérebro (dinâmico) se organiza por meio de processos de significação eminentemente visuais, conferindo uma qualidade particular, à cognição, um processo “simultâneo e espacial”. Entretanto, a extensão da ação simbólica da cognição é uma conquista da linguagem

Além disso, para se comunicar e raciocinar eles utilizam a modalidade espaço-visual através de sinais corporais, diferente da modalidade oral-auditiva dos ouvintes que ocorre por meio da fala e escrita. Logo, o ato da comunicação não provém das formas de se comunicar, mas do ser humano (GONDIM, 2015).

2.1.1 Aquisição da linguagem de sinais

Para que a comunicação com ouvintes seja possível, é necessário a aquisição de uma linguagem. Este processo ocorre durante a infância e é nela que

a criança se desenvolve. A criança inicia sua participação no meio social recebendo estímulos das pessoas ao redor e tendo um contínuo contato com a linguagem. E ao tentar reproduzi-la, acaba adquirindo-a de forma natural. Enquanto que o processo de aprendizado de uma nova língua que se caracteriza segunda língua, possui um processo que exige mais esforço.

Segundo Duarte (2013) a aquisição da linguagem se dá no cruzamento entre conhecimentos da linguagem que a partir das experiências anteriores e a atribuição de significados que são dados aos objetos que rodeiam o sujeito é possível dominá-la. Na mesma linha de pensamento, Martino e Marques (2016, p.110) complementam:

O “mundo da vida” é o mundo edificado nos/sobre dados na forma de signos e significados apreendidos pela consciência intersubjetiva, que neles encontra a matéria-prima das interpretações que efetivamente vão constituir a experiência de vida, o “mundo vivido”. Não há “mundo da vida” sem significados; não há “mundo da vida” sem relação

Ademais, essas mesmas experiências chamadas de o “mundo da vida”, podem formar combinações para expressar os mesmos significados de maneiras diferentes quando se adquirem novas experiências. Por isso, existe uma variedade de linguagens de sinais em países diferentes e as variações regionais de linguagem.

Além disso, como o surdo e ouvinte geralmente não aprendem ambas as línguas (bilinguismo), cada um se comunica por meio de sua linguagem de estruturas gramaticais distintas, isso permite uma certa confusão na produção dos significados linguísticos no momento da interpretação, tanto para os surdos como para ouvintes (DUARTE, 2013). No entanto, isso requer a presença do intérprete para intervir no processo da comunicação.

Corroborando com esta afirmação, Miranda, Shubert e Machado (2014) relata que “os surdos valorizam a presença do intérprete, mas com algumas ressalvas: desconfiança, constrangimento de se expor frente ao ele, sentimento de piedade e dificuldade de encontrar intérpretes disponíveis”. Isso caracteriza uma comunicação indireta, que pode ser questionável tanto para o surdo como para o ouvinte.

Partindo da análise na comunicação entre surdo e ouvinte obtém-se que os requisitos para ocorrer a real comunicação entre eles é a tradução ou interpretação entre as duas linguagens que os envolvem.

2.1.2 O papel do intérprete

Este profissional é nomeado Tradutor e Intérprete de Língua de Sinais (TILS). Atualmente, os TILS exercem a profissão que é regulamentada legalmente no Brasil pela Lei nº 12.319 (CHAIBUE; AGUIAR, 2016). Para Quadros (2004, p. 7) o TILS é uma: “Pessoa que interpreta de uma língua (língua fonte) para outra (língua alvo) o que foi dito”.

De acordo com Nascimento (2012) esse profissional atua em três diferentes tarefas podendo ser: a) intermediando a comunicação entre as pessoas surdas que usam LIBRAS e as pessoas ouvintes que usam a língua portuguesa; b) traduzindo textos escritos da LIBRAS para a língua portuguesa como também os textos da língua portuguesa para a LIBRAS; c) auxiliando na escrita dos surdos .

No que se refere aos conceitos de tradução e interpretação muitos autores definem a execução da interpretação como sendo o exercício que faz uso da língua na modalidade de fala, enquanto a tradução, corresponde à modalidade escrita (ALBRES, 2009, GUERINI, 2008, QUADROS, 2004, ROSA, 2006).

A interpretação é importante na comunicação entre surdos e ouvintes seja em ambientes escolares, locais de trabalho ou hospitais, dentre outros. Porém nem sempre há profissionais disponíveis para todos os espaços sociais (NASCIMENTO, 2012). Além disso, o processo de interpretação de LIBRAS pode ser árduo, pois segundo Quadros (2004, p. 78) “a atividade é exercida em tempo real envolvendo processos mentais de curto e longo prazos”.

Apoiado nessa ideia, Chaibue e Aguiar (2016, p.5) afirma que: “Na interpretação, geralmente o grau de dificuldade é maior que na tradução, pois o profissional tem pouco tempo para executar sua função e fazer suas escolhas lexicais e nem sempre conta com algum apoio no momento de exercer seu papel”.

Com relação a responsabilidade do intérprete não cabe a esse profissional apenas decodificar a mensagem do surdo, mas compreender e dar um significado ao contexto de forma contínua, como descreve Batista e Borgmann (2018, p.3):

O processo de transmissão de língua fonte para língua alvo, não se trata de uma simples codificação de sinais, ela possui uma estrutura na qual possibilita um grande eixo paradigmático, possibilitando eficácia a essa transmissão de saberes, sendo que nesse processo estará fazendo escolhas e substituições lexicais constantemente, para que consiga transmitir a mensagem do emissor de forma contextualizada, trazendo significado a cada palavra que compõe a mensagem.

2.2 LIBRAS

No Brasil, a LIBRAS foi oficializada como segunda língua, somente em 24 de abril de 2002, conforme a lei nº 10.436 (MACHADO e WEININGER, 2018). LIBRAS segundo, Figueiredo (2015), possui uma estrutura composta de parâmetros que pode ser disposta de forma sequencial ou simultânea, expondo que “os sinais são formados a partir da combinação da forma e do movimento das mãos e do ponto no corpo ou no espaço onde esses sinais são realizados”. Logo, as linguagens de sinais são mais do que simples gestos ou mímicas como a forma de comunicação dos surdos.

Assim como qualquer outra língua, LIBRAS possui estrutura gramatical própria, na linguística, essa estrutura se divide por classes, a saber: fonológica, morfológica, sintática, semântica e pragmática (MIRANDA; SHUBERT; MACHADO, 2014). Dentre os parâmetros fonológicos a configuração de mãos (CM), ponto de articulação (PA) e movimento (M), o enfoque nas pesquisas de tradução ou interpretação de LIBRAS é o reconhecimento das configurações de mãos, que pode ser observada na Figura 1.

Figura 1 – Configurações de mãos



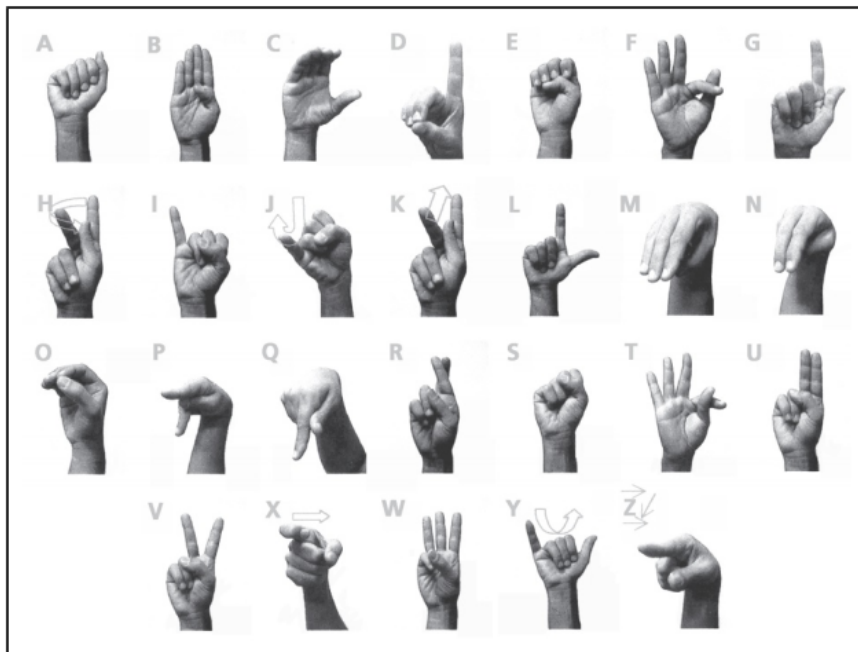
Fonte: Kumada (2016, com adaptações).

Na Figura 1 é possível identificar as representações de 91 (noventa e uma) configurações de mãos possíveis na LIBRAS que foram identificadas pela autora. Em muitos trabalhos científicos essas configurações são utilizadas para o reconhecimento de sinais usando o sensor de movimento Kinect da empresa

Microsoft (JUNIOR, 2016; GOIS, 2014; KOROISHI; SILVA, 2015, GONÇALVES, 2016, LAMAR, 2014).

A partir do alfabeto de LIBRAS (Figura 2), também chamado de alfabeto datilológico, diferentemente do português, permite apenas uma forma de representar a linguagem, pois além do alfabeto existem sinais que são expressos com base no corpus de sinais, um conjunto de sinais que serve para o estudo da linguagem de LIBRAS.

Figura 2 - Alfabeto em LIBRAS



Fonte: Felipe e Monteiro (2006).

Os sinais em LIBRAS são reproduzidos pelas mãos e braços (membros superiores) e expressões faciais, regiões dos olhos, sobrancelha e boca. Na reprodução os sinais podem seguir a ordem básica dos elementos que são sujeito, verbo e objeto (SVO), mas tanto no português quanto em LIBRAS, é possível encontrar esses componentes em disposições diferentes.

Segundo Nunes (2015), a topicalização na LIBRAS é quando a ordem da sentença resulta em objeto, sujeito e verbo (OSV). Essa ordem é preferivelmente utilizada em LIBRAS, enquanto a ordem SVO só é utilizada quando não existe a possibilidade de se usar a topicalização. Além disso, a composição de sinais permite expressar diferentes significados simplesmente alterando um dos parâmetros da LIBRAS (configuração de mãos, ponto de articulação ou movimento), o que simplifica a execução dos sinais na comunicação.

2.2.1 Glosas em LIBRAS

O sistema de glosas começou ser trabalhado no Brasil, em pesquisas acadêmicas publicadas a partir de 1984 (PAIVA et al., 2016). Nesse sistema as palavras são representadas graficamente com letras maiúsculas que possam corresponder a uma tradução para o português. Por meio desse sistema de glosas iniciou-se em trabalhos científicos de LIBRAS para realizar transcrições do português para glosas para o desenvolvimento deste repositório de palavras (*corpus*) para o estudo da linguagem de sinais, por exemplo, a criança estuda muito (que em glosas fica, CRIANÇA ESTUDAR MUITO).

A LIBRAS diferentemente do Português brasileiro não expressa alguns morfemas, tais como: artigos, preposições, dentre outros. Sendo assim, é necessário realizar adequação textual para a gramática de LIBRAS. Para isso, faz-se uso de um conjunto de regras de tradução definida por especialistas de LIBRAS. Essas regras são aplicadas após o processo de classificação e realizam, por exemplo, o tratamento do tempo verbal, de substantivos comuns de dois gêneros, de eliminação dos artigos, de adequação semântica do uso dos advérbios de intensidade e negação e o tratamento dos verbos de ligação, dentre outros.

Nesse sistema de glosas que transcreve português para LIBRAS as principais convenções para padronizar a forma de representar os sinais em palavras podem ser observadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Convenções para transcrição de português para glosas em LIBRAS

Regras	Convenção	Exemplo (português/glosas)
1	Todas as palavras são representadas com letras maiúsculas, exceto em casos especiais	A criança estuda muito: <i>CRIANÇA ESTUDAR MUITO</i>
2	Verbos não possuem flexões para modo ou tempo, por isso é escrito no infinitivo	João comprou uma bicicleta?: <i>JOÃO COMPRAR BICICLETA?</i>
3	Os artigos e preposições do português são excluídos quando feito a transcrição para glosas	A água está fria: <i>ÁGUA FRI@</i>
4	Separam-se duas palavras por hífen quando elas são simultaneamente necessárias para representar um sinal	Não quero comer maçã ao meio dia: <i>NÃO-QUERER, COMER-MAÇÃ, MEIO-DIA</i>

Continua...

Continuação...

5	O sinal composto é comumente usado para criar um novo sinal	Zebra: CAVALO^LISTRA
6	Datilologia é a representação em forma de soletração a partir do alfabeto da LIBRAS	João: J-O-Ã-O
7	Indicação da flexão do verbo, por meio de números e/ou letras em minúsculas, tanto no sujeito como no objeto	Eles me telefonaram ontem: 3pTELEFONAR1 ONTEM
8	O (@) que indica a ausência de gênero	Amigo ou Amiga: AMIG@

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O sistema de glosas da LIBRAS aliado ao processamento de linguagem natural (PLN) fornece os fundamentos necessários para criar um algoritmo de interpretação de sinais, pela formalidade e padrões que o sistema possui.

2.3 Inteligência artificial

A Inteligência Artificial (IA) surgiu em meados de 1956, após a Segunda Guerra Mundial e atualmente envolve áreas da ciência e engenharia. Os principais subcampos do estado da arte da Inteligência Artificial são o processamento de linguagem natural, aprendizado de máquina, visão computacional e robótica.

A partir da IA é possível realizar extração de dados que através de análises, realizar a compreensão do mesmos, exercendo determinadas atividades (NORVIG; RUSSELL, 2014). Neste trabalho o enfoque será o processamento de linguagem natural especificamente na tradução automática, que ainda apresenta desafios no que se refere a construção de sentido, ambiguidade e contexto (CASELI, 2017).

2.4 Técnicas de aprendizagem de máquina

Em aplicações de PLN o aprendizado da máquina mais utilizado é o modelo de Redes Neurais Artificiais (RNA), que são as Redes Neurais Artificiais Recorrentes, do inglês *Recurrents Neural Networks* (RNN). Tal modelo de rede tem uma grande vantagem em relação aos modelos mais básicos principalmente pela persistência da informação, pois nesses modelos os dados são repassados para as camadas de aprendizado posteriores e em seguida são armazenados (ARAÚJO; VITTORAZZI, 2018).

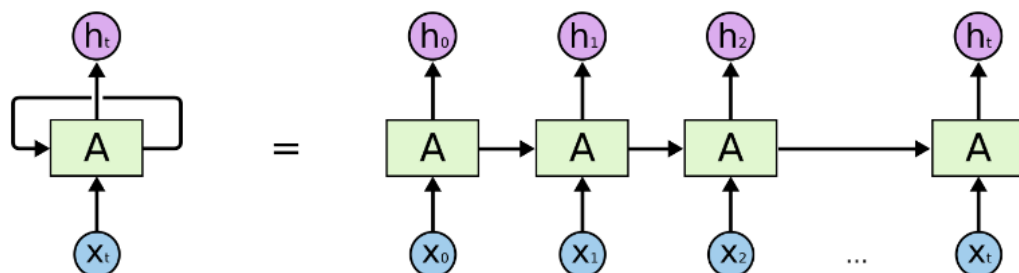
De acordo com Caseli (2017, p.4):

Redes neurais artificiais são técnicas computacionais, usadas na área de Aprendizado de Máquina, as quais estão baseadas no modelo neural de organismos inteligentes, ou seja, em uma rede neural artificial uma unidade de processamento (um neurônio) recebe entradas, as processa e propaga a saída para outras unidades de processamento (outros neurônios) organizadas em camadas. Após os processamentos nas diversas camadas, um resultado é produzido na camada final e dado como resposta.

No entanto, nas redes neurais tradicionais a informação se propaga pela rede de forma com que ela não seja armazenada, isso acaba dificultando o desenvolvimento de certas aplicações. Em redes RNN a estrutura possui um *loop* que executa o algoritmo até que todas as camadas sejam treinadas e as informações sejam passadas de uma camada para outra, permitindo assim, que se propague através dessa rede.

Na rede RNN os dados de entrada são repassados para as camadas posteriores para que cada valor correspondentes das entradas anteriores sejam utilizados no treinamento do modelo em sua totalidade. A Figura 3 mostra o funcionamento do modelo da rede RNN.

Figura 3 - Modelo de rede neural recorrente (RNN)



Fonte: Olah (2015).

Além do reconhecimento de padrões em textos, a RNN tem um histórico com resultados positivos quando aplicadas a outros problemas como: traduções automáticas, criação de legendas para imagens e reconhecimento de falas (ARAÚJO; VITTORAZZI, 2018).

2.5 Tradução automática

A Tradução Automática (TA) é uma das principais subáreas e aplicações do Processamento Automático de Línguas Naturais (PLN). Em um sistema de tradução automática, a informação em uma língua fonte ou origem, fornecida como entrada, é transformada em uma versão equivalente na língua alvo ou destino (LIMA, 2015). No momento, as três principais estratégias de TA são a TA baseada em Regras, TA

Estatística e TA Neural. Conforme Caseli (2017), essas estratégias ainda possuem limitações, como o a ambiguidade, tratamento de gírias e coloquialismo.

Dessa forma, assim como um profissional TILS em LIBRAS precisa compreender o contexto das frases da língua fonte e alvo, um tradutor (máquina), muitas vezes precisa aprender o contexto real descrito a partir da linguagem de origem, e não apenas as palavras individuais (NORVIG; RUSSELL, 2014). Entretanto, a TA ainda não consegue aplicar com eficiência a análise de contexto das sentenças (pragmática), um dos temas de estudos da PLN.

No comparativo as estratégias da TA, a TA baseada em regras têm altos custos em termos de tempo e pessoal especializado para gerar as bases de conhecimento; a TA estatística e a TA neural baseiam-se no conhecimento codificado em corpora (plural de corpus) paralelos para aprenderem como traduzir. A TA estatística por frases era o mais utilizado até o surgimento da TA neural. Essa nova abordagem supera problemas inerentes da TA estatística, como a incapacidade de generalização e da modelagem de estrutura (hierarquia) da língua (CASELI, 2017).

2.5.1 Tradução automática baseada em regras

Na TA baseada em regras (RBMT) o conhecimento linguístico é mapeado na forma de regras, como as ilustradas no Quadro 2. Essas regras geralmente são criadas manualmente por linguistas especialistas nas línguas fonte e alvo. Embora essa abordagem manual de criação de regras ofereça liberdade para o projetista, uma vez que permite declarar o tratamento para casos específicos da tradução (sintático e semântico), é do mesmo modo a principal desvantagem de um sistema RBMT, por demandar um grande esforço para a criação das regras.

Segundo Lima (2015, p.29): “As estratégias baseadas em regras mantém 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”. Portanto, no momento em que as regras atingem somente o nível léxico, a tradução na língua destino representa apenas a substituição das palavras da língua de origem para a língua destino, e é classificada como tradução direta.

Enquanto no nível sintático e semântico na TA baseada em regras, as sentenças de origem sofrem um processamento que gera uma representação

sintática ou semântica. Em seguida através desse processamento, são utilizadas regras de tradução que originam uma representação textual da linguagem de destino.

Quadro 2 - Mapeamento de um sistema RBMT

Regras monolíngues (português)	Regras bilíngues (espanhol-português)
alunas:aluno<n><f><pl>	alumno<n>:aluno<n>
aluna:aluno<n><f><sg>	exterior<n>:exterior<n>
alunos:aluno<n><m><pl>	exterior<adj>:exterior<adj>
aluno:aluno<n><m><sg>	mandar<vblex>:mandar<vblex>

Fonte: Caseli (2017, com adaptações).

A partir da definição das regras, um sistema RBMT pode processar as sentenças (fonte) de entrada e gerar uma sentença (alvo) equivalente. Regras para flexão das palavras específicas em cada língua alvo são aplicadas para garantir a concordância correta da sentença completa gerada como saída pelo tradutor.

Assim, a TA baseada em regras tem como vantagens o fato dos recursos linguísticos serem de fácil manipulação por humanos e processamento na tradução de novas sentenças. Como limitações principais desta estratégia de TA estão o alto custo no desenvolvimento dos recursos linguísticos e na sua extensão para outro idioma, e a cobertura das sentenças limitada, uma vez que não é possível traduzir uma palavra (ou construção gramatical) que não esteja presente no conjunto de regras.

2.5.2 Tradução automática estatística

A TA estatística é definida como um processo de geração de uma sentença na língua alvo que maximiza a equivalência de uma sentença alvo em relação à sentença fonte de entrada alvo esperada. Dessa forma, a adequação é modelada por um modelo de tradução gerado com base nas frequências de palavras fonte e suas correspondentes palavras alvo.

Para Lima (2015, p.29):

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 geração do modelo de tradução segue uma estratégia semelhante ao de cálculo de probabilidades, mas com base em corpus paralelo bilíngue e não apenas em um *corpus* monolíngue. Assim, para o *corpus* paralelo das linguagens fonte-alvo (bilíngue). Quanto maior a frase (n-grama) considerada no modelo, menor será sua probabilidade, pois menos frequente ela é no corpus de treinamento.

A tradução destino, por sua vez, é modelada por um modelo de língua gerado com base nas frequências das ocorrências semelhantes de palavras alvo no corpus de treinamento. Assim, os modelos de língua e de tradução podem ser gerados com base apenas em palavras ou em sequências de palavras.

A TA estatística tem como vantagens: o baixo custo de geração do sistema, que pode ser treinado em poucas horas; possibilidade de traduzir qualquer par de línguas e tipo de corpus; independência de código em relação à língua, uma vez que os mesmos podem ser aplicados para quaisquer línguas; e sua simplicidade de processamento (tradução de novas sentenças).

Como limitações principais, existem: a dificuldade de interpretar ou editar o conhecimento de tradução representado nos modelos estatísticos; a dependência em relação ao corpus de treinamento e à língua fonte; e a incapacidade de generalização e de modelagem de aspectos estruturais e sintáticos da língua (CASELI, 2017).

2.5.3 Tradução automática neural

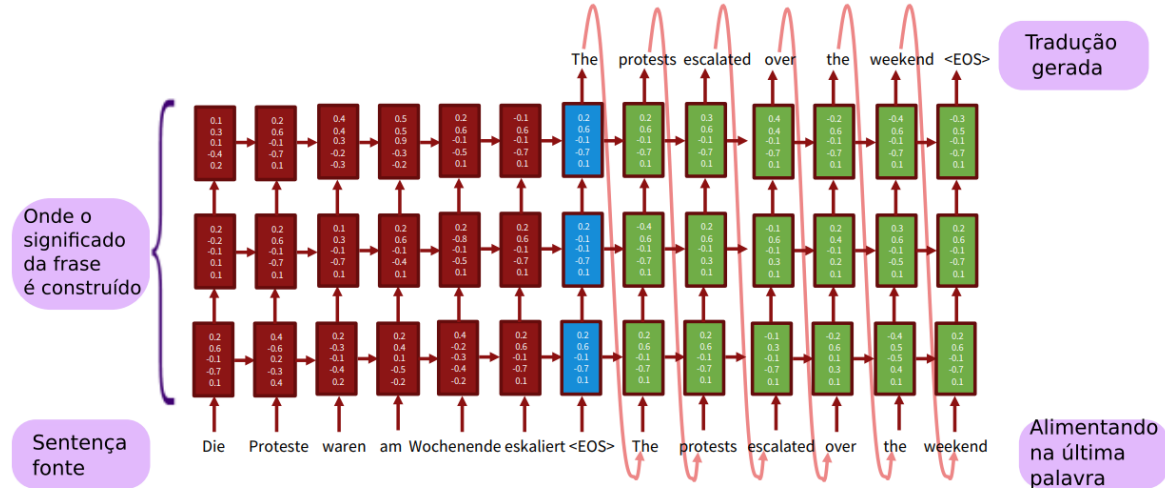
Na Tradução automática neural (NMT), as redes neurais artificiais são construídas com base nas características importantes nos dados de treinamento (como a morfologia das palavras, suas frequências e contextos de ocorrência), essas características são o que norteiam o mapeamento para gerar a saída apropriada na língua alvo.

As traduções na rede neural são processadas através de camadas que recebem os *tokens* (cada elemento que constitui uma sentença) da sentença fonte. Para cada *token* são gerados valores a serem repassados para as próximas camadas da rede até que finalize sua alimentação através da última palavra (*token*) da sentença.

Ao final desse último *token* tem-se a rede treinada. Dessa forma, a partir dessa rede treinada é possível derivar uma tradução, bastando apenas passar para ela um valor de entrada semelhante ao da sentença fonte como no início do

treinamento. A Figura 4 mostra como ocorrem as traduções em uma rede neural de tradução automática.

Figura 4 - Exemplo de TA neural utilizando RNN



Fonte: Luong et al. (2016, com adaptações).

Entretanto, uma TA neural possui limitações, dentre elas as principais são: a alta complexidade computacional para treinamento das redes neurais; incapacidade de lidar com grandes vocabulários, ou seja, para um conjunto muito grande de palavras (*tokens*). Além disso, A TA neural não utiliza explicitamente as informações sintáticas e semânticas (ou pragmáticas), o que pode gerar erros nas traduções (CASELI, 2017).

Como vantagens da TA neural: exige pouco conhecimento linguístico para gerar o tradutor, a otimização de toda a rede (e não de modelos separados, como ocorre na TA estatística) e o fato de gerar um conhecimento mais compacto do que o conjunto de regras usado na TA baseada em regras.

2.6 Processamento de linguagem natural

O processamento de linguagem natural (PLN) é subárea da inteligência artificial empregada em assuntos relacionados aos estudos da linguística. Segundo Conteratto (2006, p.354), “É importante mencionar que a interpretação da linguagem natural baseia-se em mecanismos que tentam compreender frases, buscando traduzi-las para uma representação que possa ser compreendida e utilizada pelo computador”.

Existem variados formalismos para representação dos léxicos. O formalismo mais usado na exemplificação em sistemas para PLN é o PATR-II (SHIEBER, 1984). Com esse formalismo é possível representar as entradas de um léxico ou as regras de uma gramática, permitindo a verificação de concordância gênero e número. Um exemplo desse formalismo pode ser observado do Quadro 3.

Quadro 3 - Exemplos do formalismo de PATR-II

cadeira	<categoria> = substantivo
	<gênero> = feminino
	<número> = singular
	<contável> = sim
sentou	<categoria> = verbo
	<tempo> = pretérito-perfeito
	<número> = singular
	<peessoa> = 3
	<voz passiva> = sim
	<arg1> = SN
<arg2> = SN	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Enquanto isso, a semântica está ganhando especial atenção no âmbito da PLN, pois algumas questões problemáticas ainda precisam ser resolvidas. Na linguística, a semântica se caracteriza como um dos componentes do conhecimento que tem a função de representar o significado. Vale ressaltar que a representação do léxico deve estar de acordo com a da gramática do sistema.

Os diferentes níveis de processamento (morfológico, sintático, semântico, discursivo e pragmático) são executados em módulos distintos. Esses módulos se comunicam pela passagem de representações intermediárias do texto sob análise. Apenas o fluxo de dados muda, de acordo com a tarefa do sistema: interpretação ou geração. Nos sistemas para interpretação da linguagem natural, tem-se o texto como entrada; e uma representação formal como saída.

A gramática faz a verificação, através de regras, de quais são as cadeias de palavras válidas em uma língua. Allen (1995), chama a atenção para o fato de que essa verificação é feita em termos de categorias sintáticas, e não de uma lista exaustiva de frases, pois isso seria inviável, uma vez que qualquer língua possui um número infinito de frases gramaticalmente aceitáveis.

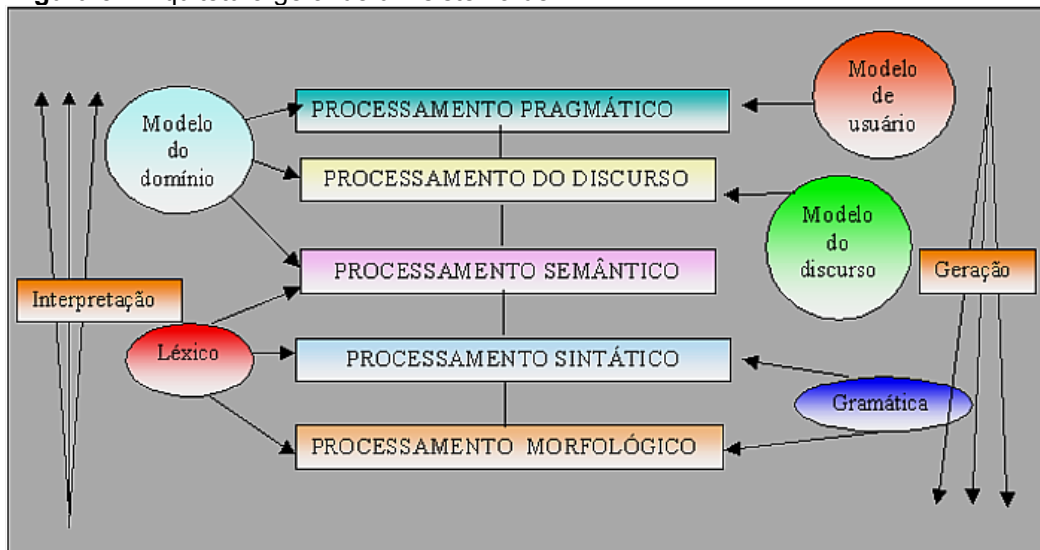
No léxico, cada palavra pode estar associada às suas características morfológicas, sintáticas e semânticas. Vale lembrar que a representação do léxico

deve ser escolhida de acordo com a representação da gramática, pois essas duas bases de conhecimento interagem durante o processamento do texto.

Para se compreender o processamento automático da linguagem, precisa-se conhecer a arquitetura de sistemas que interpretam e geram a linguagem natural; dessa forma, a interpretação da linguagem natural se baseia em mecanismos que tentam compreender frases, buscando traduzi-las para uma representação que possa ser compreendida e utilizada pelo computador.

A Figura 5, mostra cinco Bases de conhecimento: o léxico, a gramática, o modelo do domínio, o modelo do usuário e o modelo do discurso.

Figura 5 - Arquitetura geral de um sistema de PLN

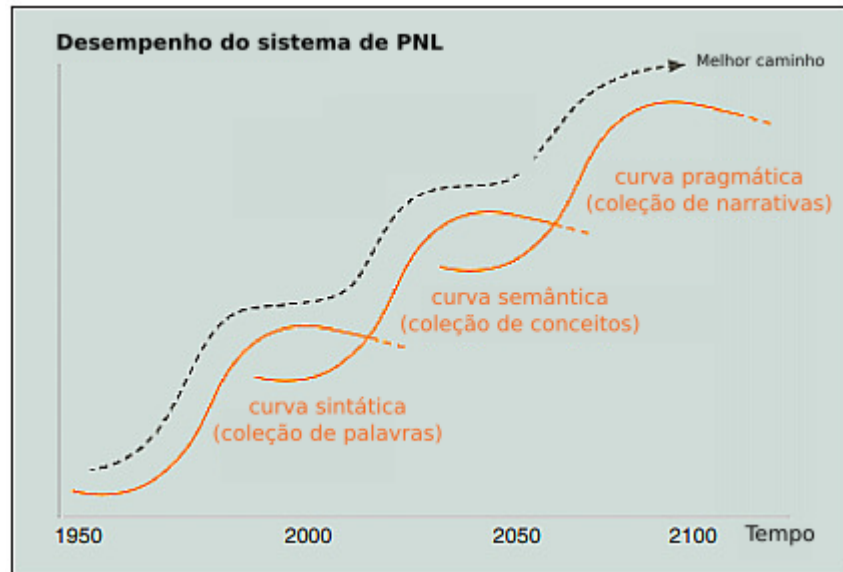


Fonte: Cambria e White (2014).

Para a geração de linguagem, o computador traduz uma representação para sua expressão em alguma língua. Ou seja, na geração, o computador produz textos o mais próximo possível de textos produzidos por pessoas. Uma aplicação que necessita tanto da interpretação quanto da geração da linguagem é a tradução automática.

De acordo com Feng-Yang et al. (2004), em muitas pesquisas as medidas de precisão e cobertura na área de PLN não crescem na mesma proporção do esforço empregado para que isso aconteça. Isso significa que, no geral, os avanços em PLN estão ocorrendo em etapas curtas. A Figura 6 representa a curva de crescimento previsto para o domínio das três áreas de PLN, sintática, semântica e pragmática.

Figura 6 - Previsão de evolução em PLN a partir de curvas



Fonte: Cambria e White (2014, com adaptações).

De acordo com Nunes (2015), a sintaxe pode ser definida como uma estrutura interna das sentenças que são formadas pela combinação de palavras por uma relação lógica (ordem) entre elas. A semântica por sua vez, consiste na compreensão do significado do conjunto de palavras que constitui a sentença, de forma que é possível comparar se duas sentenças são iguais ou diferentes. Por fim, a pragmática pode ser compreendida pela capacidade de entender o contexto de uma sentença, mesmo que a sentença tenha um significado explícito, a pragmática vai além do significado das palavras, pois seu significado encontra-se no contexto.

Além disso, as linguagens naturais são ambíguas, por exemplo, na frase “Ele viu o banco” pode significar que alguém viu um assento para sentar, ou que viu uma instituição financeira. Dessa forma, na PLN não se pode falar de um único significado para uma sentença, mas de uma distribuição de probabilidade sobre significados possíveis (NORVIG; RUSSELL, 2014).

2.7 Bibliotecas Python

2.7.1 Nltk

A biblioteca *Natural Language Toolkit* (NLTK) é uma biblioteca Python de código aberto para processamento de linguagem natural, por meio dela é possível realizar a classificação, tokenização, *stemming* (derivação de palavras), marcação, análise e raciocínio semântico de sentenças (NLTK, 2019).

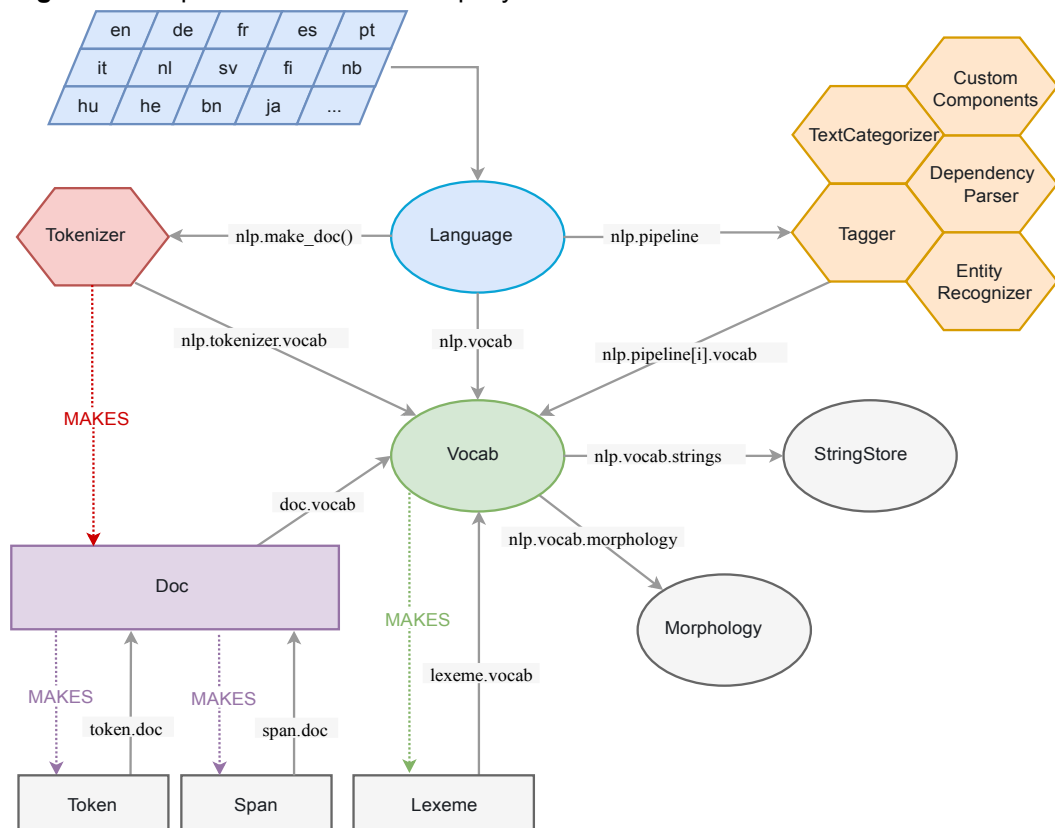
2.7.2 Numpy

O *NumPy* é o pacote fundamental para a computação científica com *Python*. Além de seus usos científicos, o *NumPy* também pode ser usado como um eficiente recipiente multidimensional de dados genéricos, principalmente para realizar cálculos em *Arrays* Multidimensionais que são úteis para aplicações em modelos de *Machine Learning* (NUMPY, 2019).

2.7.3 Spacy

A arquitetura da biblioteca spaCy é formada pelos objetos *Doc* (contêiner para acessar anotações linguísticas) e *Vocab* (tabela de pesquisa para o vocabulário que permite acessar elementos *Lexeme*, que são tipos de palavras de entradas no vocabulário). O objeto *Doc* possui a sequência de *tokens* (palavras, símbolos de pontuação, espaço em branco, etc) e todas as suas anotações (HONNIBAL; MONTANI, 2017). A Figura 7 mostra a arquitetura da biblioteca.

Figura 7 - Arquitetura da biblioteca Spacy



Fonte: Honnibal e Montani (2017).

Segundo Honnibal e Montani (2017) estas anotações de texto também são projetadas para permitir uma única fonte de dados de forma que o objeto *Doc*

possua os dados *Span* (segmento de um objeto *Doc*) e os *Tokens*. O *Doc* é construído pelo *Tokenizer*, que segmenta o texto e cria objetos *Doc* e, em seguida, o *Doc* gerado é modificado no local pelos componentes do *pipeline*, uma técnica *hardware* que permite que o processador (CPU) realize a busca de uma ou mais instruções além da próxima a ser executada (SILVA, 2009). O *Language* coordena esses componentes, fazendo a captura do texto bruto e o envia pelo *pipeline*, retornando um documento anotado e pronto para ser utilizado.

2.7.4 Googletrans

Googletrans é uma biblioteca Python gratuita que implementa a API do Google Translate. Tal biblioteca usa a API Ajax do Google Tradutor para fazer chamadas para métodos como detectar ou realizar traduções dentre os 106 idiomas possíveis (HAN, 2018).

Para utilizar a biblioteca é necessário criar uma instância do classe *Translator*. Através da instância é possível detectar o idioma por meio do método *detect* passando um texto de entrada. Da mesma forma é possível traduzir textos por meio do método *translate* que traduz um texto do idioma de origem para o idioma de destino, passando os idiomas de entrada correspondentes de origem e destino.

2.7.5 Vlibras-translate

O VLibras é um projeto desenvolvido no Laboratório de Aplicações de Vídeo Digital (LAVID) para a tradução de Português Brasileiro (PT-BR) para LIBRAS. A biblioteca VLibras Translate é parte da suíte VLibras e disponibiliza um conjunto de ferramentas de pré-processamento de texto para tradução por *deep learning* (aprendizado de máquina profundo) e um módulo de tradução PT-BR/LIBRAS (LAVID, 2019).

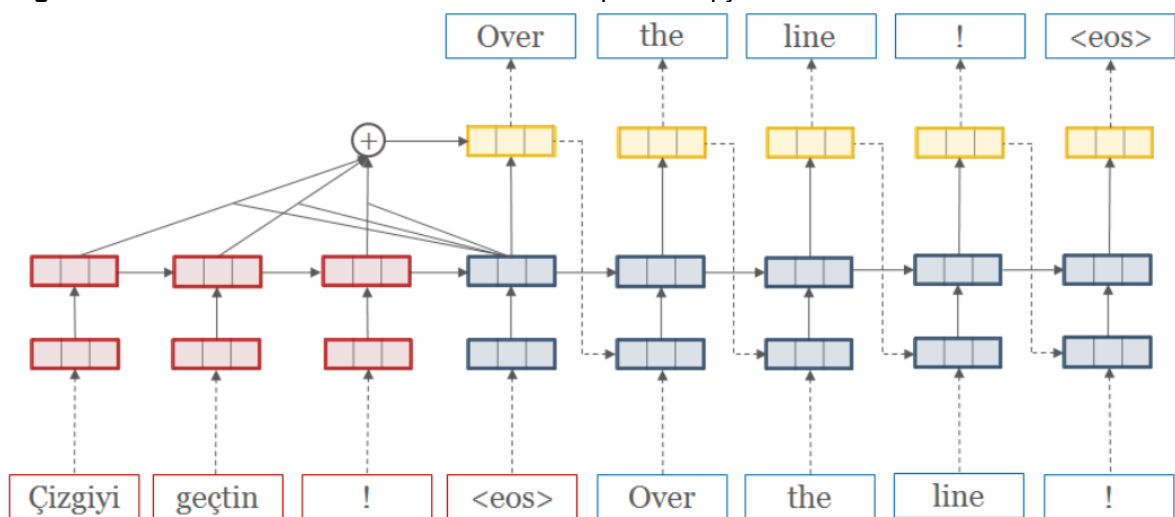
2.7.6 OpenNMT-py

A biblioteca *OpenNMT* oferece um sistema de tradução automática neural de código aberto (*MIT*). Ele foi desenvolvido para facilitar a pesquisa e experimentar novas ideias em tradução, resumo, imagem para texto, morfologia e muitos outros domínios. (KLEIN et al., 2017).

Segundo Klein et al. (2017) a biblioteca fornece um kit de ferramentas de código-fonte aberto para tradução de máquina neural (NMT). O kit de ferramentas prioriza eficiência, modularidade e extensibilidade com o objetivo de apoiar a pesquisa NMT em arquiteturas de modelos, representações de recursos e modalidades de fonte, mantendo desempenho competitivo e requisitos razoáveis de treinamento. O kit de ferramentas consiste em suporte de modelagem e tradução, além de documentação detalhada sobre as técnicas disponíveis.

Tal biblioteca modela a probabilidade de uma sentença-alvo dada uma sentença de origem. Essa distribuição é estimada usando uma arquitetura de codificador-decodificador. A Figura 8 mostra a estrutura da rede NMT.

Figura 8 - Estrutura da rede NMT na biblioteca OpenNMT-py



Fonte: Klein et al. (2017).

Na Figura 8 as palavras-fonte vermelhas são primeiro mapeadas para vetores de palavras e depois alimentadas em uma rede neural recorrente (RNN). Ao ver o símbolo heosi, o passo final inicializa um RNN azul de destino. Em cada etapa do tempo alvo, a atenção é aplicada sobre a fonte RNN e combinada com o estado oculto atual para produzir uma previsão p da próxima palavra. Essa previsão é então retornada ao RNN de destino.

Na RNN, o codificador de origem mapeia cada palavra de origem para um vetor de palavras e as processa para uma sequência de vetores ocultos $h(N)$, onde N é a quantidade de palavras das sentenças. O decodificador alvo, combina uma representação oculta RNN de palavras geradas anteriormente $w(N)$, onde N é a quantidade de palavras das sentenças, com vetores ocultos de origem para prever

pontuações para cada próxima palavra possível. O modelo completo é treinado de ponta a ponta para maximizar a probabilidade dos dados de treinamento.

2.7.7 Pandas

O pandas é uma biblioteca de código aberto que fornece estruturas de dados de alto desempenho e fáceis de usar e ferramentas de análise de dados para a linguagem de programação Python. O pandas fornece estruturas de dados rápidas, flexíveis e expressivas, projetadas para facilitar o trabalho com dados estruturados (tabulares, multidimensionais, potencialmente heterogêneos) e de séries temporais. O objetivo é ser o bloco de construção de alto nível fundamental para a análise prática e prática dos dados do mundo real em Python (PANDAS, 2019).

2.7.8 Sklearn

Sklearn é um módulo Python para aprendizado de máquina que faz parte da biblioteca Scikit-learn, uma biblioteca de código aberto que suporta aprendizado supervisionado e não supervisionado. Ele também fornece várias ferramentas para ajuste de modelo, pré-processamento de dados, seleção e avaliação de modelo e muitos outros utilitários (PEDREGOSA et al., 2011).

Segundo Pedregosa et al., (2011) as principais da biblioteca são Classificação (identificando a qual categoria um objeto pertence); Regressão (prever um atributo de valor contínuo associado a um objeto) Agrupamento (agrupamento automático de objetos semelhantes em conjuntos); Redução de dimensionalidade (reduzindo o número de variáveis aleatórias a serem consideradas); Seleção de modelo (comparando, validando e escolhendo parâmetros e modelos); Pré-processando (extração e normalização de recursos).

2.8 Trabalhos relacionados

Dentre as pesquisas relacionadas a esta, a maioria segue a estratégia de capturar os sinais de LIBRAS ou transcrições de linguagens de sinais, mas são poucos os trabalhos que realizam a estratégia de tradução de LIBRAS para interpretação após a classificação dos sinais em símbolos ou palavras.

Assim, o trabalho que mais se aproximou do tema discutido neste trabalho foi o de Lima (2015). A autora pretendeu desenvolver uma solução para tradução

automática para LIBRAS com adequação sintático-semântica. Essa solução envolveu um componente de tradução automática para LIBRAS; uma linguagem formal de descrição de regras, modelada para criar regras de tradução sintático-semânticas; que define primeiramente uma gramática, explorando esses aspectos; realiza uma integração de elementos com o serviço VLibras. Dessa forma, para avaliar a solução, são feitos testes computacionais utilizando as métricas WER do inglês *Word Error Rate* e BLEU que é o subestudo de avaliação bilíngue para realizar a comparação de sentenças e avaliar se a solução de tradução é eficiente. Essa solução também é avaliada por usuários surdos e ouvintes da LIBRAS para aferir a qualidade da saída gerada pela solução. Os resultados mostram que a abordagem conseguiu melhorar os resultados da versão atual do Vlibra; no entanto o trabalho da autora não realizou a tradução dos sinais da LIBRAS para Português; além disso essa solução é manual e tem alto custo para a construção das regras.

O aplicativo da empresa ICOM disponível para Android ou IOS e para *desktop* oferece uma central de intérpretes para o atendimento de pessoas físicas ou jurídicas por meio de videoconferência; é feita a intermediação de conversas em LIBRAS entre pessoas surdas e ouvintes (ICOM, 2016).

Junior (2016) realiza a tradução automática de sinais para escrita de sinais (*SignWriting*) utilizando-se de Redes Neurais Artificiais (RNA) do tipo Rede Neural Convolucional (CNN), através de um modelo de aprendizado de máquina que permitiu realizar o reconhecimento dos sinais. Com a captura de imagens utilizou o sensor de movimentos Kinect, além de realizar antes um pré-processamento das imagens. Houve o treinamento da CNN, com 16 configurações de mão diferentes e obtendo uma precisão de 87,5%.

Gois (2014) elaborou um sistema que adquire imagens RGB e imagens de profundidade, através de um sensor Kinect e câmera de alta resolução, processamento juntamente com os sinais e classificação das posturas manuais detectadas em letras do alfabeto manual da LIBRAS. Como subproduto, um banco de dados com as amostras das 26 letras do alfabeto em LIBRAS foi criado. Porém, não conseguiu desenvolver o tratamento de imagens que melhorasse a técnica de reconhecimento dos sinais e geração de modelos para cada um dos sinais correspondentes ao alfabeto de LIBRAS, fazendo o seu reconhecimento com a taxa de acerto superior a 90%.

Koroishi e Silva (2015) propuseram em seu trabalho o reconhecimento das configurações de mão e para solucioná-lo utilizaram-se modelos estruturados em nuvens de pontos e o algoritmo de ICP. Essa abordagem torna viável o reconhecimento automático, pois obteve-se 65% de acerto entre 48 testes envolvendo 12 sinais diferentes, mesmo com as limitações de recursos e tempo existentes. O sensor escolhido para o projeto é o Kinect (XBOX, 2014), um sensor RGBD da Microsoft, cuja taxa de captura obteve 30 frames/s. Porém, como esta taxa é produzida diferenças mínimas entre os frames e o tempo de processamento do sinal é diretamente relacionado à quantidade de frames, este trabalho adota uma taxa de 8 *frames* por segundos. Os *frames* são processados com a utilização do próprio SDK da Microsoft para o Kinect.

Machado (2018) utiliza de técnicas de aprendizado profundo, para classificação automática da LIBRAS. Diante dessas observações, este trabalho utiliza um método baseado em rede neural profunda convolutiva em 3 dimensões (3D), características espaços-temporais extraídas, estratégia de transferência de aprendizado e dados de profundidade associados aos do tipo Red, Green, Blue (RGB), para realizar a classificação dos sinais da LIBRAS mais comuns empregados na alfabetização de surdos. Além disso, outra contribuição importante é a base de dados gerada e rotulada, composta por 510 instâncias, todas representando sinais dinâmicos, dada a inexistência de bases de vídeos da LIBRAS.

Becker (2015) implementa uma ferramenta online para anotar manualmente textos em qualquer língua falada por meio de *SignWriting*, permitindo a criação de corpus paralelos entre a língua falada e a de sinal, e com isso permitir o uso para a criação de ferramentas eficientes para a comunidade surda.

Gonçalves (2016) projetou um sistema de reconhecimento capaz de efetuar o aprendizado e o reconhecimento de gestos estáticos através do uso de um Kinect, processamento de imagens e de redes neurais artificiais. Os resultados foram bem satisfatórios, com 88% de acertos entre os testes realizados; porém existem possibilidades de efetuar melhorias no sistema para obtenção de resultados ainda melhores no reconhecimento dos gestos.

Lamar (2014) apresenta o desenvolvimento de uma solução para o reconhecimento do alfabeto manual da Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS). O autor utiliza a combinação do sensor Kinect para análise de profundidade e segmentação das imagens com uma câmera RGB de alta resolução que, juntamente

a uma luva com marcadores visuais, consegue rastrear as posições dos dedos da mão durante a execução dos sinais. Para o reconhecimento ele criou para cada uma das 26 letras do alfabeto um vetor 12-dimensional representando o seu sinal.

3 METODOLOGIA

O referencial teórico foi baseado no levantamento do estado da arte através dos sites de pesquisa científica: “Google Acadêmico” e “Portal de Periódicos CAPES”, bem como o mecanismo de busca “Google” diretamente com mesmas expressões (descritores) incluindo no final da expressão o termo: “.pdf”. Os termos ou descritores utilizados nas consultas foram extraídos das palavras-chave: “Comunicação”; “LIBRAS”; “Tradução e interpretação”; “Visão computacional” (Apêndice A).

As restrições da pesquisa foram: por data dos trabalhos científicos (últimos cinco anos), idioma e limite de páginas acessadas dentro do site, até que os resultados estivessem de acordo com o sentido da pesquisa, o que totalizou 212 publicações relevantes.

Para os testes dos resultados da pesquisa com relação a interpretação de LIBRAS para o Português brasileiro foram realizados dois experimentos nomeados de Experimento A e Experimento B, utilizando algoritmos de PLN de tradução automática para realizar a interpretação de LIBRAS por meio de sentenças de glosas.

As principais bibliotecas utilizadas no experimento A foram *googletrans* (realiza traduções de idiomas com uma quantidade limitada de até 250 traduções diárias) e *vlibras-translate* (traduz frases de português para glosas em um algoritmo de tradução automático baseado em um conjunto de regras). As demais bibliotecas como a *nltk* realiza classificações das palavras através de aprendizagem de máquina, e por fim a *spacy* que é similar a *nltk*, porém com um modelo em português mais completo.

Enquanto no experimento B a biblioteca *openNMT-py* permite produzir um tradutor automático por meio de um algoritmo interno de tradução automática neural, bastando receber dois arquivos de texto, um contendo as sentenças fonte e outro contendo as sentenças alvo.

Para realizar o treinamento e o teste do modelo, os arquivos originais adquiridos da base de dados Acessibilidade Brasil foram lidos por meio da biblioteca *pandas*. Em seguida foi utilizada a biblioteca *sklearn* que separa as sentenças em dados de treinamento (80%) e teste (20%). Logo após, as sentenças para treinamento e teste foram exportadas para arquivos de texto utilizando a biblioteca

numpy, e finalmente esses arquivos foram utilizados pela biblioteca *openNMT-py*. O Quadro 4 mostra as bibliotecas usadas para os dois experimentos.

Quadro 4 – Bibliotecas utilizadas nos experimentos A e B

Experimento	Biblioteca	Função/Descrição	Versão
(A)	<i>nltk</i>	Extrair a raiz de uma palavra	3.4.5
	<i>numpy</i>	Requisito para a biblioteca nltk	1.17.2
	<i>spacy</i>	Tokenização, Reconhecimento de entidade nomeadas, lematização	2.2.1
	<i>googletrans</i>	Traduzir sentenças tanto do português para inglês, como do inglês para o português	2.4.0
	<i>vlibras-translate</i>	Trazudir palavras do português para glosas da LIBRAS	1.0.10
(B)	<i>OpenNMT-py</i>	Treinar um modelo para aplicar a tradução automática neural em sentenças em glosas da LIBRAS	1.0.0rc2
	<i>pandas</i>	Fazer a leitura dos arquivos	0.25.3
	<i>numpy</i>	Processar sentenças e salvar em arquivos de texto sentenças para o treinamento e teste	1.17.2
	<i>sklearn</i>	Gerar sentenças aleatórias para realizar o teste de validação	0.21.3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A base de dados de sentenças de português e glosas utilizada está disponível no site Acessibilidade Brasil na página de dicionário da LIBRAS, contendo 5763 (cinco mil setecentos e sessenta e três) exemplos acessíveis (BRASIL, 2011). Dessa forma, os exemplos de sentenças em português e em glosas foram obtidos por meio da API do próprio site modificando apenas o “id” do endereço. Para tanto, foi automatizada a captura dos exemplos por meio de um programa na linguagem de programação Python que utiliza importações das bibliotecas da linguagem (requests e json) que retorna como resposta da requisição por um arquivo JSON no formato de dicionário em Python, dessa forma, as sentenças em português e em glosas dessa base foram armazenadas em dois arquivos de textos distintos, úteis para ambos os experimentos produzidos neste trabalho.

Para o primeiro experimento (A) de glosas de LIBRAS foi utilizada a tradução automática de glosas de LIBRAS para o inglês, e em seguida, uma nova tradução foi

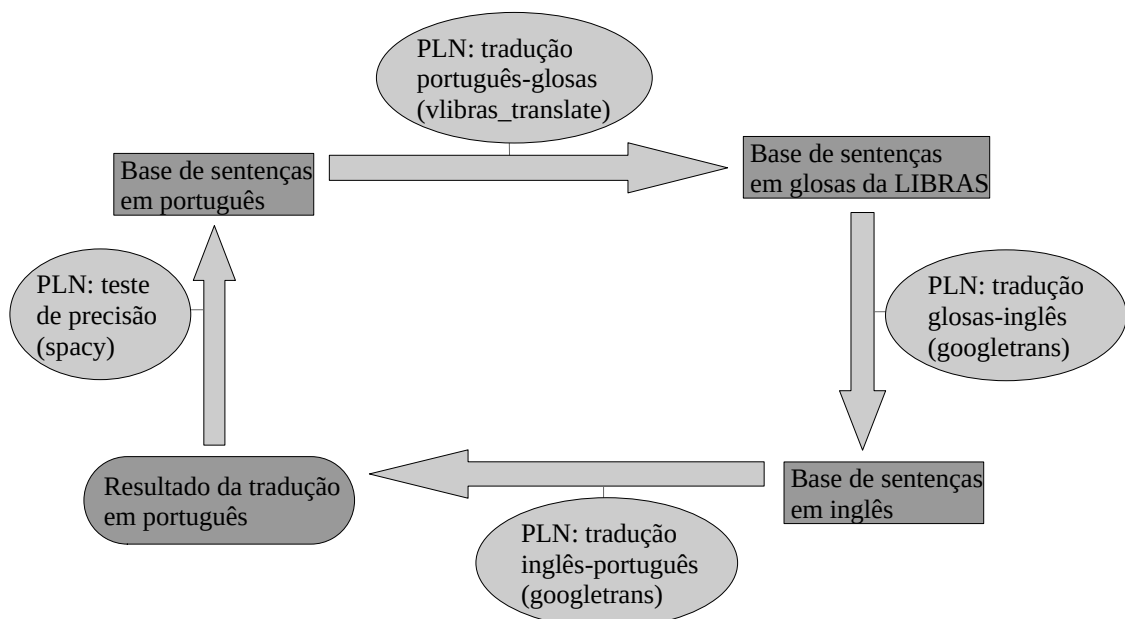
feita do inglês para o português pela biblioteca *googletrans*. Dessa forma, a tradução final para interpretação foi armazenada em um arquivo de texto. As glosas para esse experimento foram geradas pela biblioteca *vlibras_translate* a partir de 500 sentenças em português.

Para o teste de validação, a precisão foi calculada através da biblioteca Spacy que retorna como resultado um valor em decimal e salvo em um arquivo de texto. Um programa implementado em Python realizou o cálculo em porcentagem divididos em duas categorias de precisão: acertos e erros. A precisão de acertos é a porcentagem de 90% acima da quantidade total das frases, enquanto os erros é a porcentagem de 89% abaixo da quantidade total de frases.

A documentação dessa biblioteca recomenda usar vetores de palavras com modelos robustos, pois em modelos menores a função de precisão pode não julgar a similaridade corretamente; por isso, foi preferível utilizar o modelo com vetores de palavras em português mais completo. Basicamente, essa função analisa a semelhança das sentenças através do analisador interno com marcadores e o reconhecimento de entidades nomeadas (HONNIBAL; MONTANI, 2017).

Para realizar um comparativo da precisão desse experimento, foi feita a tradução das sentenças em português para o inglês, e em seguida do inglês para o português, utilizando a mesma quantidade de sentenças da tradução das glosas (500 sentenças). A Figura 9 mostra o fluxo da estratégia de tradução para a interpretação dos sinais via glosas da LIBRAS.

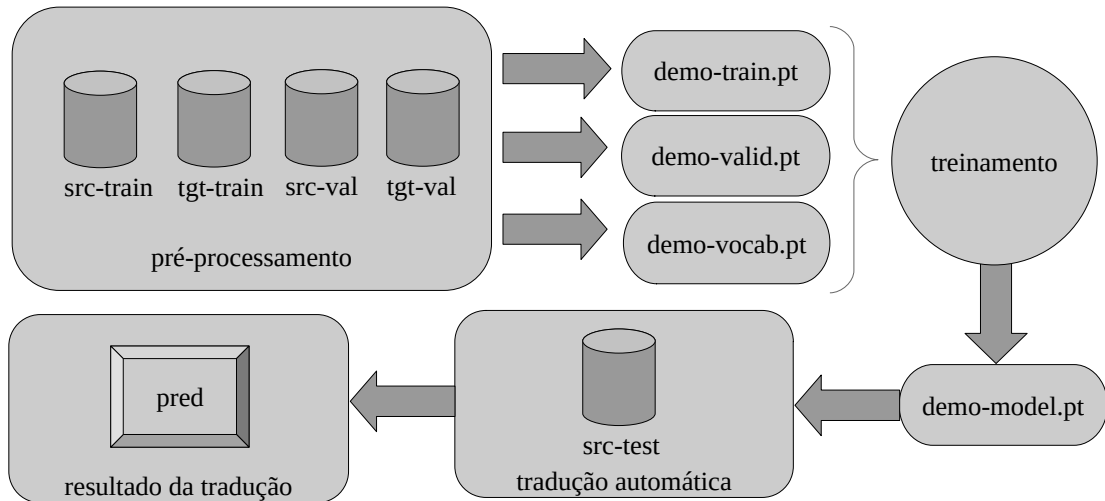
Figura 9: Esquema do primeiro experimento (A)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Para segundo experimento (B) foi utilizada uma tradução automática neural através da biblioteca *openNMT-py* para realizar o treinamento de sentenças em glosas a partir da base de dados tendo como alvo traduzir para as sentenças em português. A Figura 10 mostra a esquematização geral do funcionamento dessa biblioteca.

Figura 10: Esquema do segundo experimento (B) através de NMT



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O conjunto de sentenças foi dividido em cinco arquivos por categorias necessárias para esse experimento: O conjunto de sentenças para o treinamento (*src-train*) e alvo (*tgt-train*); O conjunto de sentenças para validação do modelo (*src-val*) e alvo (*tgt-val*) e por fim, o conjunto de sentenças para teste (*src-test*). Nesses arquivos de texto contém as sentenças que foram baixadas do site acessibilidade Brasil.

A documentação da biblioteca *openNMT-py* recomenda realizar o treinamento do modelo com uma quantidade elevada de sentenças, para que o treinamento seja mais eficiente. Porém foi utilizado o conjunto de apenas 5763 exemplos tanto em português como em glosas, pois foi a maior quantidade de sentenças encontradas no site no site Acessibilidade Brasil, contendo as sentenças aceitas pela comunidade surda. Nesse cenário, 80% das sentenças foram destinados para o treinamento e criação do modelo e 20% para o de teste. O Quadro 5 mostra os comandos usados para cada etapa desse experimento.

Quadro 5: Etapas e comandos utilizados no experimento B

Etapa	Fase	Comandos
1	Pré-processamento	<code>onmt_preprocess -train_src data/src-train.txt -train_tgt data/tgt-train.txt -valid_src data/src-val.txt -valid_tgt data/tgt-val.txt -save_data</code>
2	Treinamento	<code>onmt_train -data data/demo -save_model demo-model</code>
3	Tradução	<code>onmt_translate -model demo-model.pt -src data/src-test.txt -output pred.txt -replace_unk -verbose</code>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Por meio das sentenças coletadas o modelo passa pela etapa de pré-processamento utilizando o comando 1 do Quadro 5. Logo após executar o pré-processamento, são automaticamente criados três arquivos do tipo PyTorch serializados: *demo.train.pt* (dados de treinamento); *demo.valid.pt* (dados de validação) e *demo.vocab.pt* (dados de vocabulário).

A etapa seguinte é a de treinamento que é realizada executando pelo comando 2 do Quadro 5. Essa é a etapa que leva mais tempo para concluir, devido a grande quantidade de etapas necessárias para o modelo ser construído. Para isso os três arquivos demo criados na etapa de pré-processamento são carregados nessa etapa, tendo como saída um arquivo do modelo já treinado (*demo-model*).

Por fim, a etapa de tradução automática é iniciada, que é executada pelo comando 3 do Quadro 5. Nessa etapa o arquivo modelo treinado é carregado, e é feita a leitura do arquivo de teste (*src-test*). A partir de cálculos são produzidas previsões com base nas sentenças que foram treinadas no modelo carregado, logo, os resultados da tradução são salvos em um novo arquivo (*pred*).

Para realizar o teste para validação desse experimento, um o conjunto de sentenças foi gerado aleatoriamente. Nesse último experimento foi obtida uma taxa aceitável para validação do teste de precisão, porém com limitações semânticas e pragmáticas, pois a quantidade de sentenças para o modelo de tradução automática neural exige uma quantidade grande de sentenças.

Para melhorar o desempenho do algoritmo proposto neste trabalho, é possível gerar mais sentenças da língua fonte (LIBRAS) utilizando a TA para converter sentenças em português para a língua fonte (com base de dados aceita pela comunidade surda) ou gerar novas sentenças por meio de visão computacional

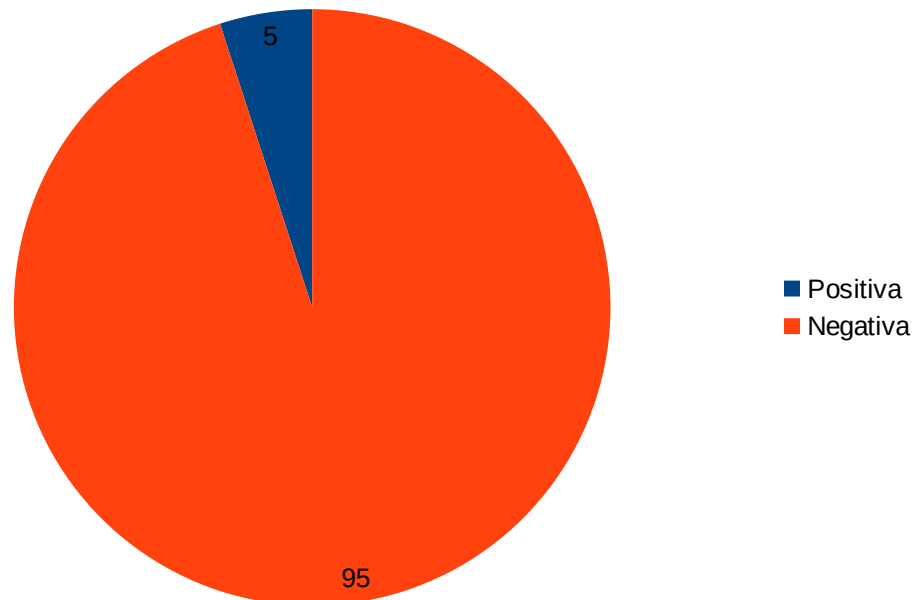
que reconheça os sinais e gere sentenças para língua fonte, essas propostas ficam como novas soluções a serem desenvolvidas em trabalhos futuros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro experimento (A) para interpretação de glosas de LIBRAS se baseou na tradução automática de glosas de LIBRAS para o inglês, e em seguida, uma nova tradução do inglês para o português foi feita, dessa forma, foi gerado um arquivo contendo a tradução final para interpretação.

Os resultados desse teste de precisão, através de 500 sentenças apontaram que apenas 26 sentenças conseguiram a precisão igual ou acima de 90%, enquanto 474 sentenças resultaram em erros com uma precisão igual ou menor que 89%, isto é, a precisão esperada foi baixa o que representou apenas 5% do total, como mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1: Precisão do experimento A em porcentagem



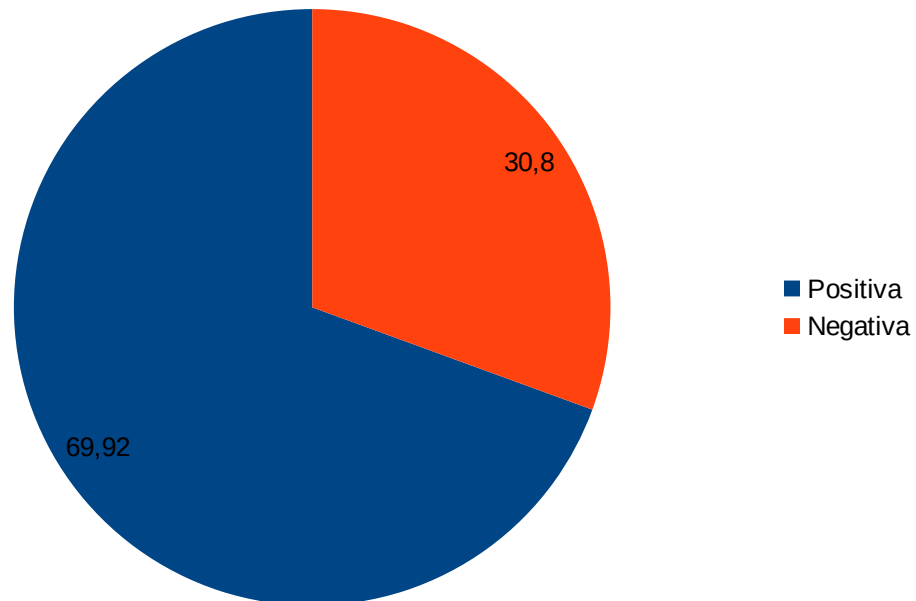
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Além disso as traduções realizadas pela biblioteca *googletrans* tanto do português para inglês, como do inglês para o português é limitada por uma quantidade de traduções diárias de 250 (limitações da biblioteca), consumindo muito tempo para traduzir o total de sentenças de toda a base de dados por pausas diárias, o que levaria aproximadamente 30 dias para concluir a tradução do total das sentenças.

O segundo experimento (B) consistiu em treinar um modelo de tradução automática neural que fosse capaz de gerar frases em português a partir de glosas de LIBRAS. Para isso foi utilizada a biblioteca *openNMT-py*.

Para o treinamento foram destinadas 80% das sentenças (4000) e para o teste e validação foi destinado 20% (1763). O total de etapas para processar o modelo foi de 100000 (cem mil) e obteve uma precisão de 69.92%, considerando a precisão do experimento A de 5% e a do experimento B, é evidente que a estratégia de tradução automática neural teve melhores resultados e que portanto possui precisão aceitável para validação. O Gráfico 2 mostra os resultados de precisão do experimento B.

Gráfico 2: Precisão do experimento B em porcentagem



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Além disso, o tempo usado nesse último experimento na etapa de treinamento foi de 103807 segundos (ou aproximadamente 28.84 horas) sem interrupções. Essa quantidade de horas foi devido as limitações de recursos computacionais e por conta do comprimento máximo da sentença de entrada e saída que são de 50 *tokens* (cada elemento das sentenças) pelo padrão da biblioteca *openNMT-py*.

Baseando-se em Cormen et. al (2012), é possível escrever um pseudocódigo do algoritmo de TA neural, definindo as variáveis como sendo *SFT* (*sentença fonte*), *SAL* (*sentença alvo*), *STS* (*sentença de teste*), *S* (conjunto de sentenças fonte, alvo e teste) e *STR* (*sentença traduzida*), como mostra a Figura 11.

Figura 11 - Pseudocódigo do algoritmo de TA neural

```

TRADUZ-SENTENCAS-POR-TA-NEURAL(S)
1  //Pré-Processamento
2  Para i=0 Faça S comprimento //S é SFT, SAL ou STS
3      token = S[i]
4      converter token i
5      Se token i é ruído Então
6          excluir token i
7      token_f = 0 //variável temporária como token final
8      Se token i é final Então
9          token_f = i
10 -----
11 //Treinamento
12  Enquanto token != token_f
13      salvar valor de entrada i //xt
14      gerar valor para rede i //ht
15      salvar rede i //A
16 -----
17 //Tradução
18  Se rede treinada i == rede teste i Então
19      gerar STR i //STR é a tradução gerada
20      salvar STR i
21 -----

```

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Este Pseudocódigo apresentado na Figura 11 é baseado nas etapas de TA neural e RNN, por onde as três etapas de pré-processamento, treinamento e tradução podem ser entendidas de forma intuitiva.

Através desse algoritmo desenvolvido é possível realizar a interpretação de sinais em LIBRAS por meio de palavras que até em muitas pesquisas não havia um método para traduzir sinais em português utilizando de algoritmos de PLN e tradução automática neural. Baseado nos resultados, a presente solução pode ser utilizada em um sistema de reconhecimento de sinais como já tem sido feito em pesquisas no estado da arte.

As principais limitações desta solução estão na quantidade de sentenças que o algoritmo recebe como entrada. Porém ao ser desenvolvido um sistema de reconhecimento de sinais em glosas da LIBRAS o algoritmo terá maiores quantidades de acertos nas traduções para sua precisão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho deixa como contribuição uma solução para intervenção na comunicação entre surdos e ouvintes que realiza a tradução automática como forma de interpretação, embora aplicada sem captura e sem o reconhecimento de sinais da LIBRAS por imagens, deixa uma contribuição no âmbito da tradução automática de sinais representados por palavras, utilizando o sistema de glosas, para que tais sinais possam ser gerados em português.

O algoritmo de tradução automática neural desenvolvido neste trabalho permite introduzir os problemas de interpretação na comunicação entre pessoas surdas e ouvintes para a pesquisa, de modo que possibilite o desenvolvimento de um sistema de interpretação de LIBRAS utilizando algoritmos de PLN.

O algoritmo obteve 69,92% de precisão utilizando a quantidade de 5763 exemplos de sentenças. Essa precisão pode ser aperfeiçoada aumentando a quantidade de sentenças para que o modelo de rede neural traduza uma maior quantidade de frases corretamente.

Além disso, fica em aberto para pesquisas futuras o desenvolvimento de um sistema que realize um reconhecimento e aquisição de sinais em glosas da LIBRAS pelo uso de visão computacional para identificação da configuração das mãos e expressões faciais em movimento para alimentar o modelo de tradução automática neural com um volume maior de sentenças e assim, permitir a comunicação entre pessoas surdas e ouvintes sem a presença de um intérprete.

REFERÊNCIAS

- BRASIL, Acessibilidade. **Libras**: Dicionário da Língua Brasileira de Sinais V3, 2011. Dicionário Libras. Disponível em: http://www.acessibilidadebrasil.org.br/libras_3. Acesso em: 20 jun. 2019.
- ALLEN, James F. **Natural Language Understanding**. 2. ed. The Benjamin/Cummings, 1995.
- ALVES, Elizabete Gonçalves; FRASSETTO, Silvana Soriano. **Libras e o desenvolvimento de pessoas surdas**. p. 11, 2007.
- ALBRES, N. de A. **Definições**: diferenças entre traduzir e interpretar. São Paulo: 2009. Disponível em: <http://interpretaremlibras.blogspot.com.br/2009/04/definicoes- diferencas-entre- traduzir-e.html>. Acesso em: 07 mai 2019.
- ARAÚJO, Germano Renner de Oliveira; VITTORAZZI, William de Oliveira. **A aplicação de redes neurais artificiais recorrentes no processamento de linguagem natural**. 2018. Disponível em: <http://dspace.uniube.br:8080/jspui/handle/123456789/535>. Acesso em: 3 nov. 2019.
- BATISTA, Carin Scherer Rosário; BORGMANN, Marta Estela. **A atuação do tradutor intérprete de língua de sinais (tils) no espaço educacional e a importância da formação pedagógica**. p.5, 2018.
- BECKER, Alex Malmann. **Uma ferramenta web para construção de cópulas paralela da língua falada e língua de sinais**. 2015. Disponível em: <http://dspace.unipampa.edu.br:8080/jspui/handle/rii/878>. Acesso em: 1 jun. 2019.
- CAMBRIA, E.; WHITE, B. **Jumping NLP Curves**: A Review of Natural Language Processing Research. IEEE Computational Intelligence Magazine, v. 9, n. 2, p. 48–57, 2014.
- CASELI, Helena de Medeiros. **Tradução Automática**. *Domínios de Linguagem*, v.11, p.1782–1796, 2017.
- CHAIBUE, K.; AGUIAR, T. C. **Dificuldades na Interpretação de Libras para Português**. ed 17. 2016. Disponível em: https://editora-arara-azul.com.br/site/revista_edicoes/detalhes/53. Acesso em: 10 abr. 2019.
- CONTERATTO, Gabriela Betania Hinrichs. **Semântica e Computação**: Uma interação necessária o aperfeiçoamento de sistemas PLN, Letras de Hoje. Porto Alegre. v. 41, nº 2, p. 353-367, junho, 2006.
- CORMEN, T. H.; RIVEST, R. L.; LEISERSON, C. E.; STEIN, C.. **Algoritmos**: teoria e prática. Elsevier, 2012.

DUARTE, Yasmine Schuabb. **A comunicação nos processos interativos de ensino aprendizagem**. 2013. Disponível em: <http://bdm.unb.br/handle/10483/4910>. Acesso em: 28 mai. 2019.

FERREIRA, Istéfany Moreira; OLIVEIRA, Itamar Pereira de. **A comunicação entre coordenação do curso de Farmácia e os acadêmicos, uma proposta de integração**. Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos, v. 4, n. 2, 2015. Disponível em: <http://www.revista.fmb.edu.br/index.php/fmb/article/view/40>. Acesso em: 28 mai. 2019.

FELIPE, Tanya A.; MONTEIRO, Myrna S. **Libras em Contexto**. 6 a ed. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Especial, 2006

FENG-YANG, Kuo *et al.* (2004) **An investigation of effort-accuracy trade-off and the impact of self-efficacy on Web searching behaviors**. Decision Support Systems, v.37 n.3, pp.331-342.

FÍGARO, Rosely. **Relações de comunicação no mundo do trabalho**. São Paulo: Annablume, 2008a.

FIGUEIREDO, Alzira Mara da Silva. **Uma análise da interação linguísticas entre pais ouvintes e filhos surdos no Município de Ariquemes-RO**. 2015. Disponível em: <http://ri.unir.br/jspui/handle/123456789/1301>. Acesso em: 31 maio 2019.

GOIS, G, (2014). **Reconhecimento do alfabeto de Libras usando sensor Kinect e marcadores visuais**. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-no 20, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 65p.

GONÇALVES, Luiz Carlos; SAAD, Eduardo Fernandes; ANDRADE, Rogerio Bernardes; *et al.* **Redes neurais artificiais e processamento de imagem no reconhecimento de libras, usando o kinect**. Jornal de engenharia, tecnologia e meio ambiente - jetma, v.1, n.1, p.32–37, 2016.

GONDIM, Caline Galvão. **Pinturas rupestres: a representação da imaginação do homem primitivo**. **Temática**, v. 8, n. 4, 2015. Disponível em: <http://www.periodicos.ufpb.br/index.php/tematica/article/view/23751>. Acesso em: 25 mai. 2019.

GUERINI, A. **Introdução aos Estudos da Tradução**. Florianópolis: UFSC, 2008. Texto base do Curso de Licenciatura e Bacharelado em Letras-Libras na Modalidade a Distância.

HONNIBAL, Matthew; MONTANI, Ines. 2017. **spaCy 2: Natural language understanding with Bloom embeddings, convolutional neural networks and incremental parsing**.

ICOM. A gente se fala, c2016. **Serviço de intermediação entre surdo e ouvinte**. Disponível em: <http://www.icom-libras.com.br>. Acesso em: 14 jul. de 2019.

- JUNIOR, J. D. B. **Tradução automática de línguas de sinais: do sinal para a escrita**. 2016. Disponível em: <http://dspace.unipampa.edu.br:8080/jspui/handle/riiu/1612>. Acesso em: 10 mai. 2019.
- KOROISHI, Giovanna Ono; SILVA, Bruna Vieira Louzada. **Reconhecimento de Sinais da Libras por Visão Computacional**. *Mecatrone*, v. 1, n. 1, 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/mecatrone/article/view/116344>. Acesso em: 1 jun. 2019.
- KLEIN, Guillaume; KIM, Yoon; DENG, Yuntian; *et al.* **OpenNMT: Open-Source Toolkit for Neural Machine Translation**. In: *Proceedings of ACL 2017, System Demonstrations*. Vancouver, Canada: Association for Computational Linguistics, 2017, p. 67–72. Disponível em: <https://www.aclweb.org/anthology/P17-4012>. Acesso em: 5 out. 2019.
- KUMADA, Kate Mamhy Oliveira. **Desafios para a tradução de um livro didático de ciências com uso de avatares expressivos**. 2016. Disponível em: http://www3.fe.usp.br/secoes/inst/novo/agenda_eventos/inscricoes/PDF_SWF/44198.pdf. Acesso em: 20 mai. 2019
- LAMAR, Dr Marcus Vinicius. **Reconhecimento do alfabeto de Libras usando sensor Kinect e marcadores visuais**. p. 75, 2014.
- LAVID, UFPB. **VLibras translation module for translating brazilian portuguese to LIBRAS**, 2019. Disponível em: <https://pypi.org/project/vlibras-translate>. Acesso em: 21 jul. 2019.
- LIMA, Manuella Aschoff Cavalcanti Brandão. **Tradução automática com adequação sintático-semântica para LIBRAS**. 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/7847>. Acesso em: 3 nov. 2019.
- LUONG, T.; CHO, K.; MANNING, C. **Neural Machine Translation**, 2016. Disponível em: http://nlp.stanford.edu/projects/nmt/Luong-Cho-Manning-NMT-ACL2016_v4.pdf. Acesso em: 17 out. 2019.
- MACHADO, Marcelo Chamy. **Classificação automática de sinais visuais da Língua Brasileira de Sinais representados por caracterização espaço-temporal**. 2018. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br//handle/tede/6645>. Acesso em: 1 jun. 2019.
- MACHADO, Vanessa Lima Vidal; WEININGER, Markus Johannes. **As variantes da Língua Brasileira de Sinais – LIBRAS**. *Transversal*, v. 4, n. 7, 2018. Disponível em: <http://periodicos.ufc.br/transversal/article/view/33414>. Acesso em: 18 mar. 2019.
- MARTINO, Luis Mauro Sá; MARQUES, Angela Cristina Salgueiro. **Modalidades e derivações da comunicação no mundo da vida: sentidos, experiência e interação**. *Galáxia*. Revista do Programa de Pós-Graduação em Comunicação e Semiótica. ISSN 1982-2553, n. 31, 2016. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/galaxia/article/view/17217>. Acesso em: 6 jun. 2019.

MIRANDA, Rodrigo Sousa de; SHUBERT, Carla Oliveira; MACHADO, William César Alves. **A comunicação com pessoas com deficiência auditiva**: uma revisão integrativa. *Revista de Pesquisa Cuidado é Fundamental Online*, v. 6, n. 4, p. 1687–1706, 2014.

NASCIMENTO, M. V. B. **Interpretação da Libras para o português na modalidade oral**: considerações dialógicas. *Tradução e comunicação: Revista Brasileira de tradutores*, n. 24, 2012, p. 79-94. Disponível em: <http://pgsskroton.com.br/seer/index.php/traducom/article/viewFile/1756/1675>. Acesso em: 10 abr. 2019.

NLTK, Project. **NLTK 3.4.5 documentation**, 2019. Disponível em: <https://www.nltk.org>. Acesso em: 10 ago. 2019.

NORVIG, Peter; RUSSELL, Stuart. **Inteligência Artificial: Tradução da 3ª Edição**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2014.

NUMPY, Developers. **About Numpy**, 2019. Disponível em: <https://numpy.org>. Acesso em: 11 ago. 2019.

NUNES, Anna Alice de Sousa. **A ordem das frases e o fenômeno da topicalização em libras**. 2015. Disponível em: <http://bdm.unb.br/handle/10483/12865>. Acesso em: 3 nov. 2019.

OLAH, Christopher. **Understanding LSTM Networks**. 2015. Disponível em: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs>. Acesso em: 26 out. 2019.

OLIVEIRA, Rubi Nei Machado. **O processo de comunicação entre usuários e analistas de sistemas no contexto das organizações**. 2011. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/7675>. Acesso em: 29 mai. 2019.

OLIVEIRA, Susana Maria Ribeiro de. **Comunicação não-verbal - Estratégia de ensino da língua estrangeira - espanhol**. 2014. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/72299>. Acesso em: 17 mai. 2019.

PAIVA, Francisco Aulísio dos Santos *et al.* **Um sistema de transcrição para língua de sinais brasileira**: O caso de um avatar. *Revista do GEL*, v. 13, n. 3, p. 12–48, 2016.

PANDAS, Project. **Powerful data structures for data analysis, time series, and statistics**, 2019. Disponível em: <https://pypi.org/project/pandas>. Acesso em: 12 jul. 2019.

PEDREGOSA, Fabian; VAROQUAUX, Gael; GRAMFORT, Alexandre; *et al.* **Scikit-learn: Machine Learning in Python**. *MACHINE LEARNING IN PYTHON*, p. 6, 2011.

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

RAMOS, Camila Lopes. **Barreiras e estímulos a comunicação interpessoal nas organizações**. 2003.

ROSA, A. **Tradutor ou Professor? Reflexão preliminar sobre o papel do intérprete de língua de sinais na inclusão do aluno surdo**. Ponto de vista, Florianópolis, n. 8, p. 75-95, 2006.

SCHLÜNZEN, Elisa Tomoe Moriya; DI BENEDETTO, Laís dos Santos; SANTOS, Danielle Aparecida do Nascimento dos. **História das pessoas surdas: da exclusão à política educacional brasileira atual**. Disciplina Libras - Prograd. 2013. Disponível em: <http://acervodigital.unesp.br/handle/123456789/65523>. Acesso em: 26março 2019.

SHIEBER, S. M., USZKOREIT, H., Pereira, F. C., ROBINSON, J., and Tyson, M., **The formalism and implementation of PATR-II**, in: J. Bresnanted.), Researchon Interactive Acquisition and Use of Knowledge, Artificial Intelligence Center, SRI International, Menlo Park, Calif., 1984.

SILVA, G. P. **Pipeline**: Microarquiteturas de Alto Desempenho. 2009. Disponível em: <https://dcc.ufrj.br/~gabriel/microarq/Pipeline.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2019.

APÊNDICE A – LEVANTAMENTO DO ESTADO DA ARTE

Mês	Base de dados	Expressão ou descritores	Idioma	Total de resultados	Páginas com filtros	Materiais relevantes
Março	Google	Comunicação entre surdos e ouvintes .pdf	pt-br	31.700	3	33
Março	Google Acadêmico	Comunicação entre surdos e ouvintes	pt-br	9.500	8	26
Março	Periódicos CAPES	Comunicação entre surdos e ouvintes	pt-br	104	1	5
Abril	Google	Reconhecimento e detecção de língua de sinais .pdf	pt-br	32.700	3	2
Abril	Google Acadêmico	Reconhecimento e detecção de língua de sinais	pt-br	15.400	8	31
Abril	Periódicos CAPES	Sign Language Recognition and Detection	en	19.691	10	46
Maio	Google	Tradução ou interpretação de LIBRAS para português .pdf	pt-br	33.200	5	15
Maio	Google Acadêmico	Tradução ou interpretação de LIBRAS para português	pt-br	15.800	20	50
Maio	Periódicos CAPES	Tradução ou interpretação de LIBRAS para português	pt-br	45	3	4