Relatório - Daniel da Silva Costa

# Introdução

Relatório do Trabalho 2 - POS e Transfer Learning, da disciplina de Processamento de Linguagem Natural (2022.1) da UFF.

Tendo em vista a tarefa de *Part-of-Speech Tagging (POS Tagging)*, foram avaliadas 4 técnicas em um corpus de língua portuguesa.

A atividade envolveu construir um *POS tagger* para a língua portuguesa, usando *fine-tuning* a partir de um modelo de *Transformers* pré-treinado em português.

O modelo de Transformers escolhido foi o BERTimbau1 na sua versão *Base*2 e foi acessado através do Hugging Face3, que é um repositório de modelos pré-treinados de Aprendizado Profundo.

O modelo BERTimbau pré-treinado passou um por fine-tuning e os resultados obtidos foram comparados com outros três modelos, a saber:

1 - Um modelo LSTM com e sem um vetor pré-treinado;

2 - Um modelo GRU com e sem um vetor pré-treinado; e

3 - Uma ferramenta *off-the-shelf*: spaCy4. O spaCy é uma ferramenta voltada para a utilização produtiva no mercado industrial e, sendo assim, basta utilizar as ferramentas presentes em seu ecossistema.

1 BERTimbau: <https://huggingface.co/neuralmind>

2 BERTimbau Base: <https://huggingface.co/neuralmind/bert-base-portuguese-cased>

3 Hugging Face: <https://huggingface.co/>

4 spaCy: <https://spacy.io/>

## Dataset

Em todas as técnicas foi utilizado o dataset Universal Dependencies (UD) Portuguese Bosque1 nas suas versões de treinamento e de desenvolvimento. Este dataset é um *treebank* (floresta sintática) em português e traz, além de sentenças, a categoria (POS) de cada *token* (palavra) em cada sentença. Este dataset é composto de três *sub-datasets*: treinamento, desenvolvimento e teste. Neste estudo, foram utilizados os datasets de treinamento e de desenvolvimento. Os modelos LSTM, GRU e BERTimbau foram treinados no dataset de treinamento e avaliados no dataset de desenvolvimento.

Um exemplo extraído do dataset UD pode ser visto abaixo. Foram destacados em negrito: a sentença, os tokens e o POS de cada token.

Exemplo de sentença extraída do dataset UD

*# newdoc\_id = CF1*

***# text = PT no governo***

*# sent\_id = CF1-1*

*# source = CETENFolha n=1 cad=Opinião sec=opi sem=94a*

*1* ***PT*** *PT* ***PROPN*** *\_ Gender=Masc|Number=Sing 0 root \_ \_*

*2-3 no \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_*

*2* ***em*** *em* ***ADP*** *\_ \_ 4 case \_ \_*

*3* ***o*** *o* ***DET*** *\_ Definite=Def|Gender=Masc|Number=Sing|PronType=Art 4 det \_ \_*

*4* ***governo*** *governo* ***NOUN*** *\_ Gender=Masc|Number=Sing 1 nmod \_ \_*

Neste exemplo, observa-se a sentença: (i) “PT no governo”; (ii) seus tokens: *PT*, *em*, *o*, *governo* e; (iii) as categorias (POS) de cada token: *PROPN*, *ADP*, *DET* e *NOUN*.

O spaCy dispensa treinamento, mas precisamos indicar para ele o idioma a ser utilizado na ferramenta. Isso é feito mediante o carregamento de um *pipeline,* do idioma desejado, construído previamente por terceiros. Neste caso, foi utilizado o pt\_core\_news\_lg2.

Após o carregamento do pipeline em português, o spaCy foi aplicado no dataset UD de desenvolvimento. Os resultados estão disponíveis na seção Resultados.

1 Universal Dependencies (UD) Portuguese Bosque: <https://universaldependencies.org/treebanks/pt_bosque/index.html>

2 spaCy pt\_core\_news\_lg: <https://spacy.io/models/pt#pt_core_news_lg>

# Resultados

Os modelos GRU e LSTM foram treinados durante as seguintes quantidades de *epochs*: 1, 50 e 100, e o modelo BERTimbau por: 1, 5 e 10.

Os modelos GRU, LSTM e BERTimbau, foram treinados usando-se um *batch size* de tamanho 16, e para os três modelos os resultados foram extraídos apenas na última epoch.

A seguir, são apresentados os resultados obtidos por cada modelo. As acurácias (*Accuracy*) foram destacadas em negrito.

## GRU

### Epochs: 1

precision recall f1-score support

<pad> 0.00 0.00 0.00 33153

ADJ 0.36 0.12 0.18 1157

ADP 0.89 0.93 0.91 3549

ADV 0.01 0.52 0.03 844

AUX 0.87 0.54 0.67 581

CCONJ 0.46 0.92 0.61 542

DET 0.90 0.92 0.91 3702

INTJ 0.00 0.00 0.00 3

NOUN 0.55 0.83 0.66 4415

NUM 0.96 0.12 0.21 461

PRON 0.79 0.65 0.71 835

PROPN 0.41 0.23 0.29 2143

PUNCT 0.95 0.99 0.97 3267

SCONJ 0.73 0.33 0.45 542

SYM 1.00 0.81 0.89 36

VERB 0.51 0.44 0.47 2166

X 0.00 0.00 0.00 19

\_ 0.97 0.92 0.94 1753

accuracy 0.32 59168

macro avg 0.58 0.52 0.50 59168

weighted avg 0.31 0.32 0.30 59168

F1: 0.3

**Accuracy: 0.32**

**======================================================================**

**Finished**

**Running Time: 0.76 minutes**

### Epochs: 50

precision recall f1-score support

<pad> 0.00 0.00 0.00 33153

ADJ 0.53 0.82 0.64 1157

ADP 0.96 0.97 0.96 3549

ADV 0.54 0.89 0.67 844

AUX 0.95 0.91 0.93 581

CCONJ 0.99 0.99 0.99 542

DET 0.96 0.98 0.97 3702

INTJ 0.00 0.00 0.00 3

NOUN 0.81 0.91 0.86 4415

NUM 0.94 0.74 0.83 461

PRON 0.92 0.88 0.90 835

PROPN 0.03 0.45 0.05 2143

PUNCT 1.00 1.00 1.00 3267

SCONJ 0.76 0.74 0.75 542

SYM 1.00 1.00 1.00 36

VERB 0.86 0.66 0.75 2166

X 0.00 0.00 0.00 19

\_ 0.99 0.97 0.98 1753

accuracy 0.38 59168

macro avg 0.68 0.72 0.68 59168

weighted avg 0.36 0.38 0.36 59168

F1: 0.36

**Accuracy: 0.38**

**======================================================================**

**Finished**

**Running Time: 33.0 minutes**

### Epochs: 100

precision recall f1-score support

<pad> 0.00 0.00 0.00 33153

ADJ 0.86 0.54 0.66 1157

ADP 0.96 0.95 0.96 3549

ADV 0.91 0.87 0.89 844

AUX 0.91 0.92 0.92 581

CCONJ 0.99 0.99 0.99 542

DET 0.96 0.96 0.96 3702

INTJ 0.00 0.00 0.00 3

NOUN 0.92 0.74 0.82 4415

NUM 0.90 0.74 0.81 461

PRON 0.90 0.86 0.88 835

PROPN 0.05 0.87 0.10 2143

PUNCT 1.00 1.00 1.00 3267

SCONJ 0.67 0.73 0.70 542

SYM 1.00 1.00 1.00 36

VERB 0.71 0.84 0.77 2166

X 0.00 0.00 0.00 19

\_ 0.99 0.97 0.98 1753

accuracy 0.38 59168

macro avg 0.71 0.72 0.69 59168

weighted avg 0.37 0.38 0.36 59168

F1: 0.36

**Accuracy: 0.38**

**======================================================================**

**Finished**

**Running Time: 67.0 minutes**

## LSTM

### Epochs: 1

precision recall f1-score support

<pad> 0.00 0.00 0.00 33153

ADJ 0.36 0.13 0.19 1157

ADP 0.92 0.94 0.93 3549

ADV 0.74 0.47 0.58 844

AUX 0.85 0.62 0.72 581

CCONJ 0.99 0.92 0.95 542

DET 0.88 0.93 0.90 3702

INTJ 0.00 0.00 0.00 3

NOUN 0.57 0.83 0.68 4415

NUM 0.91 0.02 0.04 461

PRON 0.58 0.61 0.59 835

PROPN 0.47 0.22 0.30 2143

PUNCT 0.98 0.99 0.98 3267

SCONJ 0.65 0.27 0.38 542

SYM 1.00 0.50 0.67 36

VERB 0.04 0.67 0.08 2166

X 0.00 0.00 0.00 19

\_ 0.95 0.93 0.94 1753

accuracy 0.33 59168

macro avg 0.60 0.50 0.50 59168

weighted avg 0.31 0.33 0.30 59168

F1: 0.3

**Accuracy: 0.33**

**======================================================================**

**Finished**

**Running Time: 0.77 minutes**

### Epochs: 50

precision recall f1-score support

<pad> 0.00 0.00 0.00 33153

ADJ 0.61 0.73 0.66 1157

ADP 0.95 0.97 0.96 3549

ADV 0.90 0.87 0.88 844

AUX 0.84 0.92 0.88 581

CCONJ 0.99 0.98 0.99 542

DET 0.96 0.97 0.97 3702

INTJ 0.00 0.00 0.00 3

NOUN 0.90 0.84 0.87 4415

NUM 0.58 0.84 0.68 461

PRON 0.92 0.84 0.88 835

PROPN 0.04 0.60 0.07 2143

PUNCT 1.00 1.00 1.00 3267

SCONJ 0.67 0.70 0.69 542

SYM 0.97 1.00 0.99 36

VERB 0.73 0.84 0.78 2166

X 0.00 0.00 0.00 19

\_ 1.00 0.97 0.98 1753

accuracy 0.39 59168

macro avg 0.67 0.73 0.68 59168

weighted avg 0.36 0.39 0.37 59168

F1: 0.37

**Accuracy: 0.39**

**======================================================================**

**Finished**

**Running Time: 34.0 minutes**

### Epochs: 100

precision recall f1-score support

<pad> 0.00 0.00 0.00 33153

ADJ 0.73 0.71 0.72 1157

ADP 0.96 0.97 0.97 3549

ADV 0.73 0.89 0.80 844

AUX 0.92 0.94 0.93 581

CCONJ 0.99 0.99 0.99 542

DET 0.96 0.98 0.97 3702

INTJ 0.00 0.00 0.00 3

NOUN 0.89 0.86 0.87 4415

NUM 0.96 0.78 0.86 461

PRON 0.88 0.88 0.88 835

PROPN 0.66 0.81 0.73 2143

PUNCT 1.00 1.00 1.00 3267

SCONJ 0.79 0.70 0.74 542

SYM 1.00 1.00 1.00 36

VERB 0.87 0.72 0.79 2166

X 0.00 0.00 0.00 19

\_ 0.99 0.96 0.98 1753

accuracy 0.39 59168

macro avg 0.74 0.73 0.73 59168

weighted avg 0.40 0.39 0.39 59168

F1: 0.39

**Accuracy: 0.39**

**======================================================================**

**Finished**

**Running Time: 68.0 minutes**

## BERTimbau

### Epochs: 1 (Fine-Tuning)

precision recall f1-score support

0 0.94 0.90 0.92 3122

1 0.91 0.92 0.91 838

3 0.00 0.00 0.00 11

4 0.92 0.96 0.94 503

5 0.87 0.88 0.87 515

6 0.93 0.96 0.95 4637

7 0.98 0.98 0.98 2889

8 0.93 0.89 0.91 348

9 0.00 0.00 0.00 46

10 0.96 0.97 0.97 2700

11 0.94 0.93 0.93 760

12 0.98 0.99 0.98 470

13 0.00 0.00 0.00 4

14 1.00 1.00 1.00 2671

15 0.89 0.90 0.89 1352

16 0.98 0.99 0.99 3082

17 0.00 0.00 0.00 0

accuracy 0.95 23948

macro avg 0.72 0.72 0.72 23948

weighted avg 0.95 0.95 0.95 23948

F1: 0.95

**Accuracy: 0.95**

**======================================================================**

**Finished**

**Running Time: 0.75 minutes**

### Epochs: 5 (Fine-Tuning)

precision recall f1-score support

0 0.99 0.99 0.99 470

1 0.99 0.99 0.99 2889

2 0.98 0.94 0.96 348

3 0.96 0.98 0.97 503

4 0.92 0.91 0.92 1352

5 0.00 0.00 0.00 4

7 0.99 0.99 0.99 3082

8 1.00 1.00 1.00 2671

9 0.95 0.96 0.96 838

10 1.00 1.00 1.00 11

11 0.96 0.99 0.97 760

12 0.96 0.96 0.96 4637

13 0.87 0.57 0.68 46

14 0.96 0.94 0.95 515

15 0.94 0.94 0.94 3122

16 0.97 0.99 0.98 2700

17 0.00 0.00 0.00 0

accuracy 0.97 23948

macro avg 0.85 0.83 0.84 23948

weighted avg 0.97 0.97 0.97 23948

F1: 0.97

**Accuracy: 0.97**

**======================================================================**

**Finished**

**Running Time: 3.7 minutes**

### Epochs: 10 (Fine-Tuning)

precision recall f1-score support

0 0.98 0.94 0.96 348

1 0.95 0.93 0.94 3122

2 0.97 0.99 0.98 760

3 1.00 1.00 1.00 11

4 0.00 0.00 0.00 4

5 0.63 0.63 0.63 46

6 0.97 0.98 0.98 2700

7 0.97 0.95 0.96 838

8 0.97 0.97 0.97 503

9 0.99 0.99 0.99 2889

10 0.96 0.97 0.96 4637

11 0.95 0.95 0.95 515

13 0.99 0.99 0.99 3082

14 1.00 1.00 1.00 2671

15 0.92 0.92 0.92 1352

16 1.00 0.99 0.99 470

accuracy 0.97 23948

macro avg 0.89 0.89 0.89 23948

weighted avg 0.97 0.97 0.97 23948

F1: 0.97

**Accuracy: 0.97**

**======================================================================**

**Finished**

**Running Time: 6.8 minutes**

## spaCy

### Dev Dataset

precision recall f1-score support

ADJ 0.95 0.93 0.94 1345

ADP 0.98 0.98 0.98 4185

ADV 0.96 0.96 0.96 1005

AUX 0.97 0.99 0.98 651

CCONJ 0.98 0.98 0.98 650

DET 0.98 0.98 0.98 4354

INTJ 1.00 0.67 0.80 3

NOUN 0.97 0.96 0.97 5193

NUM 0.98 0.96 0.97 569

PRON 0.96 0.90 0.93 972

PROPN 0.92 0.96 0.94 2439

PUNCT 0.99 0.99 0.99 3844

SCONJ 0.84 0.91 0.87 638

SYM 0.97 0.97 0.97 36

VERB 0.98 0.98 0.98 2535

X 0.85 0.61 0.71 28

accuracy 0.97 28447

macro avg 0.96 0.92 0.93 28447

weighted avg 0.97 0.97 0.97 28447

F1: 0.97

**Accuracy: 0.97**

# Análise e Discussão

Treinar os modelos GRU e LSTM é bem mais demorado que o fine-tuning no BERTimbau. Indicar números de tempos.

BERTimbau teve o mesmo resultado que o spaCy fazendo o fine-tuning com apenas 5 épocas: 0,97 de acurácia. Um segundo treinamento foi feito durante 10 épocas, mas o resultado se manteve.

Importante destacar que a versão do BERTimbau utilizada foi a Base e, possivelmente, se fosse utilizada a versão Large, o modelo teria alcançado resultados ainda melhores, porque o modelo Large foi pré-treinado com o dobro de camadas e o triplo de parâmetros, conforme pode ser visto na Figura 1:

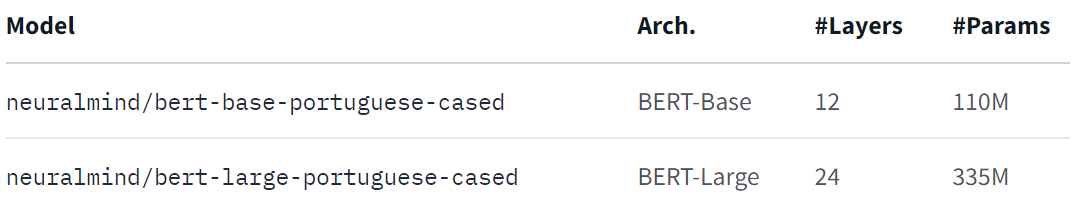


Figura 1: Modelos Disponíveis. Fonte: Extraído de <https://huggingface.co/neuralmind/bert-large-portuguese-cased>

Comparar os resultados da técnica spaCy com os resultados dos modelos.

Na avaliação dos resultados do spaCy, a acurácia permaneceu a mesma do indicado no site oficial do pipeline em português1: 0,97.

1 Accuracy Evaluation: <https://spacy.io/models/pt#pt_core_news_lg-accuracy>

# Repositório do Estudo

Os notebooks foram executados na ferramenta Google Colaboratory1 e se encontram no repositório Git: <https://github.com/danieldasilvacosta/uff--trabalho-2--2022>.

1 Google Colaboratory: <https://colab.research.google.com/>