



Relatório do Trabalho Prático
Redes Neurais (Tema 1)

Conhecimento e Raciocínio

2020/2021



Autores:
Guilherme Garrucho, 2013013516
Leonel Pereira da Silva, 2013011258

Índice

| | |
|--|-------------------------------------|
| Sumário do projeto e seus objetivos | 3 |
| Alinea a) | 4 |
| Variação da função de treino | 4 |
| Variação do número de neurónios em cada função treino..... | 7 |
| Variação do número de camadas e de neurónios em várias funções de ativação (<i>trainlm</i>) .. | 10 |
| Variação do número de épocas (mantendo os dados de configuração padrão referidos inicialmente) | 11 |
| Alínea b) | 12 |
| Variação de camadas e de nº de neurónios | 13 |
| Variação de funções de treino..... | 14 |
| Variação das funções de ativação (<i>trainlm</i>) | 15 |
| Alínea c)..... | 17 |
| Conclusões..... | 18 |
| Alínea a)..... | Erro! Marcador não definido. |
| Alinea b) | Erro! Marcador não definido. |
| Alinea c)..... | Erro! Marcador não definido. |

Sumário do projeto e seus objetivos

No âmbito da unidade curricular de Conhecimento e Raciocínio, do 2º Ano da Licenciatura em Engenharia Informática, do ISEC, em 2020/2021, foi proposto pelos docentes, a realização de um trabalho prático, onde os elementos deste grupo escolheram o tema “Redes Neurais” (Tema 1).

No tema escolhido para este trabalho prático, pretende-se que os estudantes aprofundem os seus conhecimentos sobre redes neurais.

O objetivo da realização deste projeto consiste na implementação e teste de diferentes arquiteturas de redes neurais “feedforward” para classificar corretamente 10 caracteres gregos:

$\alpha \beta \gamma \varepsilon \eta \theta \pi \rho \psi \omega$

O trabalho prático foi desenvolvido na ferramenta *MatLab*. As reuniões para o seu desenvolvimento foram feitas no *Discord*, e foi utilizado o “GitHub” para a gestão repositório do projeto.

Alinea a)

Configuração padrão

Tipo de rede: feedforwardnet

Número de camadas: 1

Número de neurónios: 10

Função de treino: trainlm

Função de ativação: purelin

net.divideFcn: dividerand

TrainRatio: 1.0

ValRatio: 0

TestRatio: 0

Épocas: 100

Variação da função de treino

Função de treino: trainlm

| Nº de execuções | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Média |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Precisão Global | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Precisão de treino | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |

| Confusion Matrix | | | | | | | | | | | |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Output Class | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| | 1 10.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| | 0 0.0% | 1 10.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| | 0 0.0% | 0 0.0% | 1 10.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 1 10.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 1 10.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 1 10.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 1 10.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 1 10.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 1 10.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 1 10.0% | 100% 0.0% |
| | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% |
| Target Class | | | | | | | | | | | |

Fig.

Função treino: *traingd*

| Nº de execuções | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Média |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------------|
| Precisão Global | 60% | 80% | 80% | 80% | 80% | 100% | 90% | 80% | 50% | 90% | 79% |
| Precisão de treino | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |

Confusion Matrix

| Output Class | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 1 10.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| 2 | 0 0.0% | 1 10.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| 3 | 0 0.0% | 0 0.0% | 1 10.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| 4 | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 1 10.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| 5 | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 1 10.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| 6 | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 1 10.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| 7 | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 1 10.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| 8 | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 1 10.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| 9 | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 1 10.0% | 0 0.0% | 100% 0.0% |
| 10 | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 1 10.0% | 100% 0.0% |
| | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% | 100% 0.0% |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| | Target Class | | | | | | | | | | |

Função treino: *trainbr*

| Nº de execuções | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Média |
|--------------------|-----|------|------|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------------|
| Precisão Global | 80% | 100% | 100% | 90% | 80% | 80% | 100% | 90% | 100% | 80% | 90% |
| Precisão de treino | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |

Nota: demorava cerca de 15min cada teste

Variação do número de neurónios em cada função treino

Função de treino: trainml

Nº de neurónios: 5

[illegible]

Função de treino: trainml

Nº de neurónios: 20

[illegible]

Função de treino: trainml

Nº de neurónios: 50

[illegible]

Nota: puxou demasiado pelo computador

Função de treino: `traingd`

Nº de neurónios: 5

[illegible]

Função de treino: `traingd`

Nº de neurónios: 20

[illegible]

[illegible]

Função de treino: `traingd`

Nº de neurónios: 50

[illegible]

Função de treino: trainbr

Nº de neurónios: 5

[illegible]

Função de treino: trainbr

Nº de neurónios: 20 e 50

Sem capacidade computacional para realizar os testes com estes neurónios.

Função de treino: `trainscg`

Nº de neurónios: 5

[illegible]

Função de treino: `trainscg`

Nº de neurónios: 20

[illegible]

Função de treino: `trainscg`

Nº de neurónios: 50

[illegible]

Variação do número de camadas e de neurónios em várias funções de ativação
(*trainlm*)

| Nº de execuções | Nº de camadas | Nº de neurónios | Funções ativação | Precisão de treino | Média |
|-----------------|---------------|-----------------|---------------------------------|--------------------|-------|
| 1 | 1 | 5 | <i>tansig</i> | 80% | |
| 2 | 1 | 5 | <i>tansig</i> | 90% | |
| 3 | 1 | 5 | <i>tansig</i> | 100% | 92% |
| 4 | 1 | 5 | <i>tansig</i> | 100% | |
| 5 | 1 | 5 | <i>tansig</i> | 90% | |
| | | | | | |
| 1 | 1 | 5 | <i>purelin</i> | 100% | |
| 2 | 1 | 5 | <i>purelin</i> | 100% | |
| 3 | 1 | 5 | <i>purelin</i> | 90% | 98% |
| 4 | 1 | 5 | <i>purelin</i> | 100% | |
| 5 | 1 | 5 | <i>purelin</i> | 100% | |
| | | | | | |
| 1 | 2 | 5,5 | <i>tansig, purelin</i> | 80% | |
| 2 | 2 | 5,5 | <i>tansig, purelin</i> | 100% | |
| 3 | 2 | 5,5 | <i>tansig, purelin</i> | 90% | 90% |
| 4 | 2 | 5,5 | <i>tansig, purelin</i> | 90% | |
| 5 | 2 | 5,5 | <i>tansig, purelin</i> | 90% | |
| | | | | | |
| 1 | 2 | 5,5 | <i>purelin, tansig</i> | 90% | |
| 2 | 2 | 5,5 | <i>purelin, tansig</i> | 90% | |
| 3 | 2 | 5,5 | <i>purelin, tansig</i> | 70% | 84% |
| 4 | 2 | 5,5 | <i>purelin, tansig</i> | 80% | |
| 5 | 2 | 5,5 | <i>purelin, tansig</i> | 90% | |
| | | | | | |
| 1 | 3 | 5,5,5 | <i>tansig, purelin, tansig</i> | 90% | |
| 2 | 3 | 5,5,5 | <i>tansig, purelin, tansig</i> | 100% | |
| 3 | 3 | 5,5,5 | <i>tansig, purelin, tansig</i> | 90% | 82% |
| 4 | 3 | 5,5,5 | <i>tansig, purelin, tansig</i> | 70% | |
| 5 | 3 | 5,5,5 | <i>tansig, purelin, tansig</i> | 60% | |
| | | | | | |
| 1 | 3 | 5,5,5 | <i>purelin, tansig, purelin</i> | 80% | |
| 2 | 3 | 5,5,5 | <i>purelin, tansig, purelin</i> | 70% | |
| 3 | 3 | 5,5,5 | <i>purelin, tansig, purelin</i> | 90% | 86% |
| 4 | 3 | 5,5,5 | <i>purelin, tansig, purelin</i> | 90% | |
| 5 | 3 | 5,5,5 | <i>purelin, tansig, purelin</i> | 100% | |

Função de treino: trainlm

| Nº de execuções | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Média |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Precisão Global | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Épocas realizadas | 7 | 8 | 8 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7.6 |

| Nº de execuções | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Média |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Precisão Global | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Épocas realizadas | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7.8 |

[illegible][illegible]

Alínea b)

Variação de rede

Tipo de rede: feedforwardnet

Camadas: 1

Nº de neurónios: 10

Funções de ativação: tansig (1), purelin (out)

Função de treino: trainlmn

Dividerand = {0.7, 0.15, 0.15}

Épocas: 100

| <i>Nº de execuções</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Média |
|---------------------------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-------|-------|-----|-----|--------------|
| <i>Precisão Global</i> | 91% | 96% | 96% | 89% | 93% | 92% | 91% | 64% | 89% | 82% | 88.3% |
| <i>Precisão de treino</i> | 73.3% | 86.7% | 86.7% | 60% | 80% | 80% | 86.7% | 33.3% | 60% | 60% | 70.7% |

Tipo de rede: feedforwardnet

Camadas: 1

Nº de neurónios: 10

Funções de ativação: tansig (1), purelin (out)

Função de treino: trainlmn

Dividerand = {0.7, 0.15, 0.15}

Épocas: 100

| <i>Nº de execuções</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Média |
|---------------------------|-------|-----|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-------|--------------|
| <i>Precisão Global</i> | 93% | 93% | 87% | 94% | 90% | 94% | 92% | 86% | 96% | 80% | 90.5% |
| <i>Precisão de treino</i> | 73.3% | 80% | 73.3% | 80% | 73.3% | 93.3% | 80% | 46.7% | 86.7% | 46.7% | 73.3% |

Variação de camadas e de nº de neurónios

Tipo de rede: feedforwardnet

Camadas: 2

Nº de neurónios: 10, 10

Funções de ativação: tansig (1), tansig (2), purelin (out)

Função de treino: trainlmn

Dividerand = {0.7, 0.15, 0.15}

Épocas: 100

| Nº de execuções | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Precisão Global | 92% | 92% | 90% | 96% | 79% | 89.9% |
| Precisão de treino | 66.7% | 66.7% | 73.3% | 80.7% | 53.3% | 68.1% |

Tipo de rede: feedforwardnet

Camadas: 2

Nº de neurónios: 20, 20

Funções de ativação: tansig (1), tansig (2), purelin (out)

Função de treino: trainlmn

Dividerand = {0.7, 0.15, 0.15}

Épocas: 100

| Nº de execuções | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média |
|--------------------|------|------|-----|-----|------|-------|
| Precisão Global | 97% | 94% | 93% | 92% | 95% | 94.2% |
| Precisão de treino | 86.7 | 86.7 | 80% | 74% | 82.3 | 81.9% |

Variação de funções de treino

Tipo de rede: feedforwardnet

Camadas: 1

Nº de neurónios: 10

Funções de ativação: tansig (1), purelin (out)

Função de treino: traingd

Dividerand = {0.7, 0.15, 0.15}

Épocas: 100

| Nº de execuções | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média |
|--------------------|-------|-------|-----|------|------|-------|
| Precisão Global | 32% | 32% | 35% | 35% | 25% | 31.8% |
| Precisão de treino | 13.3% | 13.3% | 40% | 6.7% | 13.3 | 17.3% |

Tipo de rede: feedforwardnet

Camadas: 1

Nº de neurónios: 10

Funções de ativação: tansig (1), purelin (out)

Função de treino: traincgf

Dividerand = {0.7, 0.15, 0.15}

Épocas: 100

| Nº de execuções | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média |
|--------------------|--------|-------|-------|------|------|-------|
| Precisão Global | 77% | 69% | 63% | 33% | 41% | 56.6% |
| Precisão de treino | 46.7%% | 40.0% | 46.7% | 33.3 | 26.7 | 38.7% |

Tipo de rede: feedforwardnet

Camadas: 1

Nº de neurónios: 10

Funções de ativação: tansig (1), purelin (out)

Função de treino: traincgp

Dividerand = {0.7, 0.15, 0.15}

Épocas: 100

| <i>Nº de execuções</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|--------------|
| <i>Precisão Global</i> | 17% | 81% | 51% | 57% | 30% | 47.2% |
| <i>Precisão de treino</i> | 26.7% | 73.3% | 26.7% | 26.7% | 20% | 34.7% |

Variação das funções de ativação (trainlm)

Tipo de rede: feedforwardnet

Camadas: 1

Nº de neurónios: 10

Funções de ativação: purelin (1), purelin (out)

Função de treino: trainlm

Dividerand = {0.7, 0.15, 0.15}

Épocas: 100

| <i>Nº de execuções</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média |
|---------------------------|-------|-------|-------|------|-----|--------------|
| <i>Precisão Global</i> | 96% | 99% | 97% | 98% | 97% | 97.4% |
| <i>Precisão de treino</i> | 86.7% | 93.3% | 86.7% | 100% | 93% | 91.9% |

Tipo de rede: feedforwardnet

Camadas: 1

Nº de neurónios: 100

Funções de ativação: tansig (1), tansig (out)

Função de treino: trainlmn

Dividerand = {0.7, 0.15, 0.15}

Épocas: 100

| <i>Nº de execuções</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média |
|---------------------------|-----|-----|-------|-----|-------|--------------|
| <i>Precisão Global</i> | 95% | 93% | 82% | 96% | 96% | 92.4% |
| <i>Precisão de treino</i> | 93% | 80% | 66.7% | 80% | 73.3% | 78.6% |

Tipo de rede: feedforwardnet

Camadas: 1

Nº de neurónios: 10

Funções de ativação: purelin (1), tansig (out)

Função de treino: trainlm

Dividerand = {0.7, 0.15, 0.15}

Épocas: 100

| <i>Nº de execuções</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Média |
|---------------------------|-----|-----|-----|-------|-----|------------|
| <i>Precisão Global</i> | 39% | 19% | 8% | 32% | 27% | 25% |
| <i>Precisão de treino</i> | 40% | 13% | 13% | 33.3% | 20% | 23.9% |

Alínea c)

Melhor rede obtida na alínea b)

| Camadas | Nº de neurónios | Funções de ativação | Funções de treino | Divisão dos exemplos | Precisão global |
|---------|-----------------|------------------------|-------------------|------------------------------|-----------------|
| 2 | 10 | Tansig, Tansig purelin | trainlm | Dividerand = {0.7,0.15,0.15} | 94.2% |

| Nº de execuções | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Média |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Precisão Global | 81% | 75% | 79% | 83% | 82% | 79% | 85% | 86% | 75% | 81% | 80.6% |

Treino: pasta_3

Teste: pasta_1

Precisão de teste: 40%

Treino: Pasta_3

Teste: pasta_2

Precisão de teste: 69%

Treino: Pasta_3

Teste: pasta_3

Precisão de teste: 100%

Conclusões

Sobre a alínea a)

Utilizando a mesma configuração verificou-se que para as diferentes funções de treino testadas (trainlm, trainscg, trainbr e traingd), a precisão manteve-se constante em 100% nas funções 'trainlm' e trainscg', mas com algumas variações nas funções 'trainbr' e traingd'.

Variando o número de neurónios, verificamos que acima dos 20, as funções de treino davam uma precisão de 100%.

Por sua vez, ao variar o número de neurónios e o número de camadas com diferentes combinações de funções de ativação, obtivemos resultados diferentes de precisão de treino máxima: com a combinação "purelin, tansig" a precisão baixou de 100% para uma média de 88.6%.

Verificou-se ainda que a função de treino 'trainlm' mantém as 7/8 iterações no treino, independente das épocas utilizadas (10 ou 500) e que a função 'traingd' utiliza o valor das épocas todas, sendo que quanto maior for o número de épocas, maior é a precisão.

Como só foi utilizada a rede feedforwardnet, não podemos concluir se é ou não a melhor rede a ser utilizada na pasta 1.

Sobre a alínea b)

Concluimos que a função de treino mais adequada à situação é a trainml uma vez que para as restantes – traincgf, traincgp, e traingd – a precisão média rondou os 45.2% e na trainml, usada nos testes iniciais, chegou aos 90%. Comparando os resultados obtidos ao variar o número de neurónios em 10 e 20, notámos que a melhor precisão obtida foi na configuração com duas camadas com o número de neurónios configurado em 20,20. Em relação ao número de camadas, observámos que para um mesmo número de neurónios, numa única camada, a precisão foi ligeiramente superior à registada para duas camadas. A primeira, rondou os 89.9% e, a segunda, os 94.2%. Por fim, a conclusão sobre a função de ativação (ou combinação de funções) mais adequada foi que esta seria a que combina purelin (na primeira camada) e purelin (na camada de saída), atingindo na sua melhor configuração os 97,4%. Em contrapartida, observámos que a combinação mais desadequada foi a que combinou purelin (na primeira camada) com tansig (na camada de saída).

Sobre a alínea c)