# UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA - CCN DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO - DC BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DISCIPLINA: REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PROFESSOR: RICARDO DE ANDRADE



**Lista de Exercícios 06 – Rede Adaline**

## Parte I - Exercícios de Fixação

1. – Explique por que a rede Adaline é considerada uma RNA cuja arquitetura é do tipo *feedforward*

de camada única.

1. - Considere uma rede Adaline para classificação de padrões. Explique por que as classes do problema a ser mapeado devem ser linearmente separáveis para que haja o completo reconhecimento (classificação).
2. - Considere um problema de classificação de padrões cujo conjunto de treinamento é composto pelas seguintes amostras:

Tabela 1- Amostras do conjunto de treinamento

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Amostra *(k)* | *x1* | *x2* | *d(k)* |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 1 | 1 |
| 3 | 1 | 0 | 1 |
| 4 | 1 | 1 | 1 |

Execute o algoritmo de treinamento para a rede Adaline, considerando (para cada execução do algoritmo de treinamento, especifique os valores atualizados dos parâmetros livres, o valor atualizado da variável *época*, dos erros quadráticos médios anterior e atual para cada época):

- W = [0,0 0,0 0,0]T.

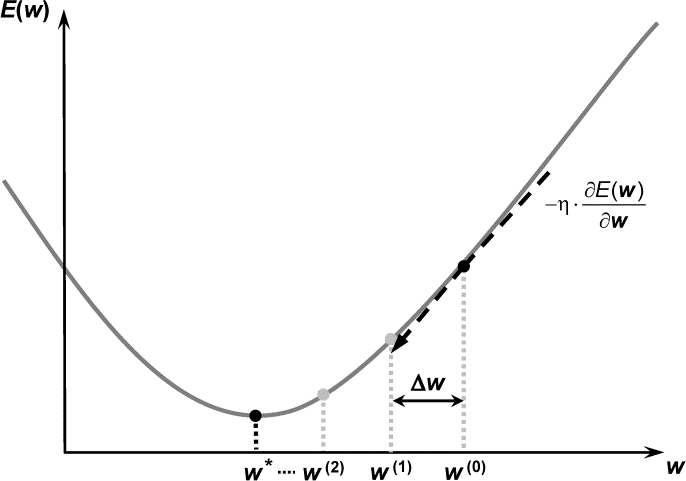
-Taxa de aprendizado (ɳ) vale 0.5;

* Precisão requerida (ɛ): 0.0001;
* Número máximo de épocas: 10.

1. - Especifique as expressões analíticas para a obtenção da saída *y* (processamento) do Adaline e do Perceptron, considerando *n* sinais de entrada, advindos externamente de determinada aplicação.
2. - Explique por que o Perceptron e o Adaline são normalmente empregados em problemas de classificação de padrões envolvendo apenas duas classes distintas.

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA - CCN DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO - DC BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DISCIPLINA: REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PROFESSOR: RICARDO DE ANDRADE

1. - O ajuste dos pesos sinápticos e do limiar de ativação do Perceptron e do Adaline é efetuado utilizando processo de treinamento supervisionado. Considerando uma amostra de treinamento *k* (*x*(*k)*, *d*(*k*)), obtenha as expressões analíticas do erro (defasagem) utilizadas no processo de treinamento do Perceptron e do Adaline.
2. - O valor da taxa de aprendizado (η) deve ser cuidadosamente atribuído. Especifique os principais problemas associados à atribuição de valores muito altos e muito baixos para a taxa de aprendizado. Ilustre graficamente essas consequências, com o auxílio da Figura a seguir.



1. - Discorra se a seguinte afirmação é verdadeira ou falsa e justifique: “Mesmo se as classes envolvidas com o problema a ser mapeado pela rede Adaline forem não-linearmente separáveis, o algoritmo de aprendizado (o qual é baseado na regra Delta) é passível de convergência".
2. - Explique por que o processo de treinamento do Adaline se processa normalmente de forma mais rápida que o processo de treinamento do Perceptron. Considere que ambas as redes foram aplicadas no mesmo tipo de problema (e mesmo conjunto de treinamento), tendo-se ainda seus vetores de pesos inicializados com os mesmos valores.
3. - Considerando-se os procedimentos de derivação do processo de treinamento do Adaline,

explique se seria possível utilizar na função erro quadrático *E*(*w*) = (1 ∑𝑝 (𝑑(𝑘) − 𝑢)2) a saída do

neurônio *y*, ao invés do potencial de ativação *u*.

2 𝑘=1



1. - Discorra se a afirmação seguinte é verdadeira ou falsa: "Independentemente dos valores iniciais assumidos para o vetor de parâmetros livres do Adaline, uma mesma configuração final para o vetor de parâmetros livres será sempre obtida após a sua convergência".

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA - CCN DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO - DC BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DISCIPLINA: REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PROFESSOR: RICARDO DE ANDRADE

1. - Discorra se a afirmação seguinte é verdadeira ou falsa: "Assim como ocorre no Perceptron, a quantidade de épocas necessárias para a convergência do Adaline varia em função dos valores iniciais atribuídos ao seu vetor de parâmetros livres.
2. - Explique por que a disposição final do hiperplano de separabilidade, obtido após a convergência do processo de treinamento, confere à rede Adaline uma maior tendência de robustez frente a eventuais ruídos que podem afetar as amostras a serem classificadas (fase de operação).
3. - Considere uma rede Adaline composta por duas entradas *x*1 e *x*2. Supondo que o processo de treinamento da rede Adaline seja feito por meio de aprendizado por lote (offline, por ciclo), determine as expressões analíticas do vetor gradiente e da matriz Hessiana (da função erro quadrático em relação ao vetor *w* - parâmetros livres). Considere que o conjunto de treinamento é composto por *p* amostras.

Função erro quadrático = 1 ∑𝑝

(𝑑(𝐾) − 𝑢)2

2 𝐾=1

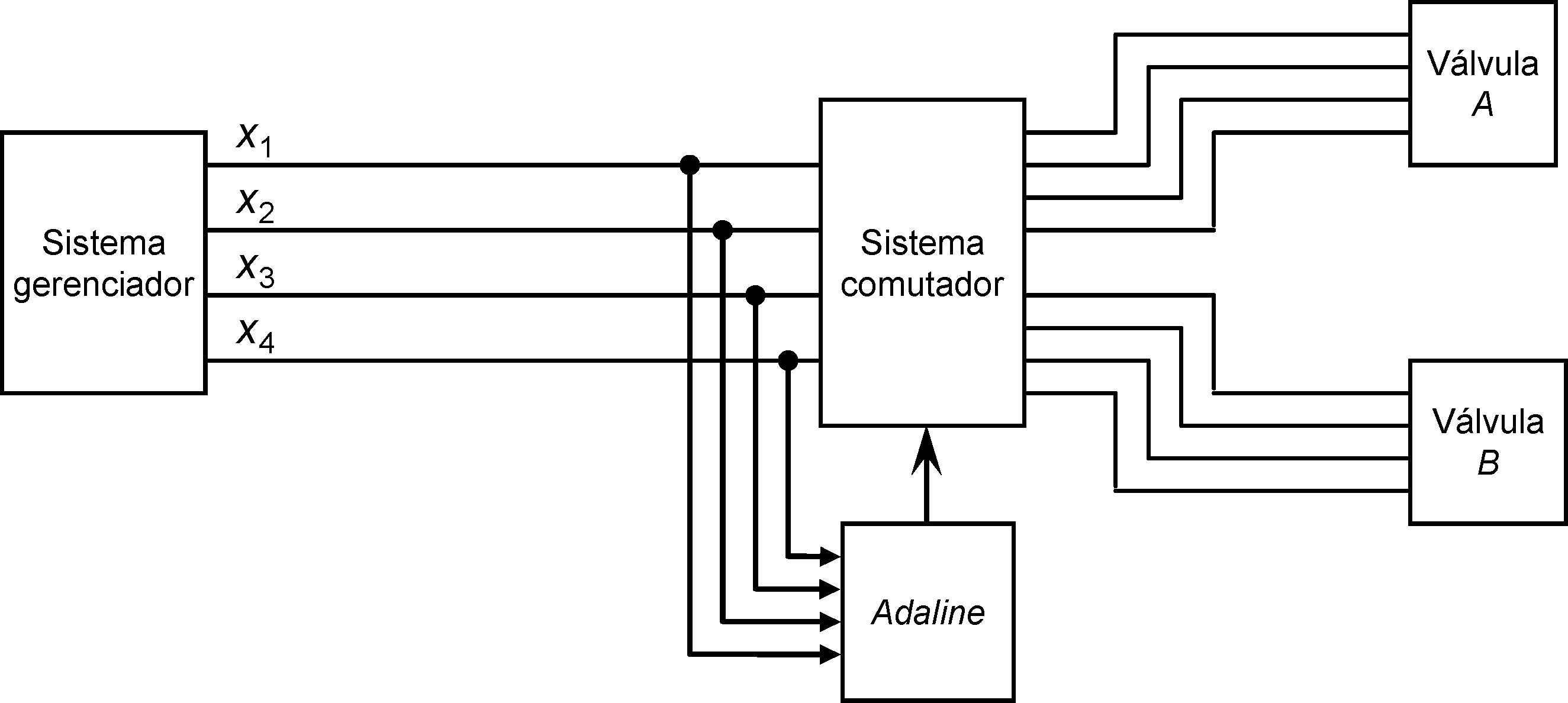


# UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA - CCN DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO - DC BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DISCIPLINA: REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PROFESSOR: RICARDO DE ANDRADE



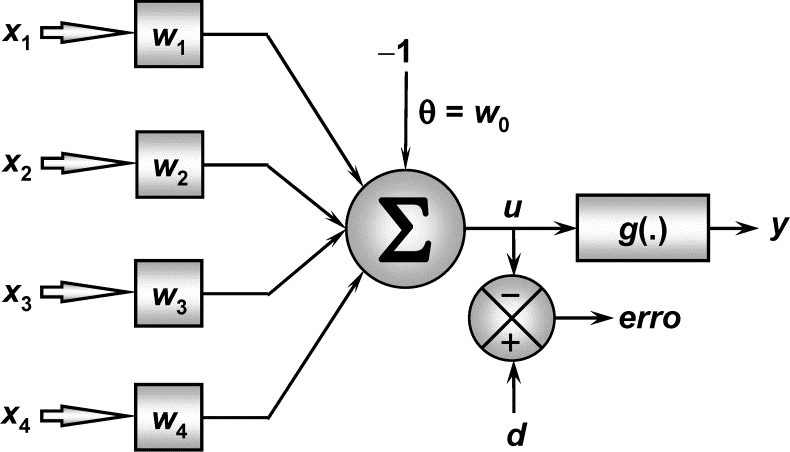
## Parte II - Projeto Prático A

Um sistema de gerenciamento automático de ajuste de duas válvulas situado a 500 metros de um processo industrial envia um sinal codificado constituído de quatro grandezas {x1, x2, x3 e x4}, as quais são necessárias para o acionamento de cada uma das válvulas. Conforme mostra a figura a seguir, uma mesma via de comunicação é utilizada para acionamento de ambas as válvulas, sendo que o comutador localizado próximo das válvulas deve decidir se o sinal é para a válvula A ou B.



Entretanto, durante a comunicação, os sinais sofrem interferências que alteram o conteúdo das informações originalmente transmitidas. Para resolver este problema a equipe de engenheiros e cientistas pretende treinar uma rede ADALINE para classificar os sinais ruidosos, cujo objetivo é então garantir ao sistema comutador se os dados devem ser encaminhados para o comando de ajuste da válvula A ou B.

Assim, baseado nas medições de alguns sinais já com ruídos, compilou-se o conjunto de treinamento (Arquivo *Treinamento\_Adaline\_PPA.xls*), tomando por convenção o valor –1 para os sinais que devem ser encaminhados para o ajuste da válvula A e o valor +1 se os sinais devem ser enviados para a válvula B. Assim, a estrutura do ADALINE é mostrada na figura a seguir.



Utilizando o algoritmo de treinamento da Regra Delta para classificação de padrões no ADALINE, realize as seguintes atividades:

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA - CCN DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO - DC BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DISCIPLINA: REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PROFESSOR: RICARDO DE ANDRADE



* 1. Execute 5 treinamentos (**Treinamento I**) para a rede ADALINE, inicializando o vetor de pesos em cada treinamento com valores aleatórios entre zero e um. Se for o caso, reinicie o gerador de números aleatórios em cada treinamento de tal forma que os elementos do vetor de pesos iniciais não sejam os mesmos. Utilize taxa de aprendizado  = 0.0025 e precisão  = 10-6.

Observação 1: considere os sinais de entrada em sua forma original (ou seja, os sinais não devem ser normalizados).

Observação 2: utilize o modo de aprendizagem sequencial (online, por padrão).

𝑤𝑎𝑡𝑢𝑎𝑙 = 𝑤𝑎𝑛𝑡𝑒𝑟𝑖𝑜𝑟 +  ∗ (𝑑(𝐾) − 𝑢) ∗ 𝑥𝐾

* 1. Registre os resultados dos 5 treinamentos executados na tabela a seguir:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Treinamento | Vetor de Pesos Inicial | | | | | Vetor de Pesos Final | | | | | Número  de Épocas |
| w0 | w1 | w2 | w3 | w4 | w0 | w1 | w2 | w3 | w4 |  |
| 1o (T1) | 0.946385 | 0.900408 | 0.924620 | 0.953918 | 0.925783 | -1,74871 | 1,30255 | 1,60987 | -0,381912 | -1,15459 | 711 |
| 2o (T2) | 0.817006 | 0.997573 | 0.561481 | 0.033009 | 0.563614 | -1,75544 | 1,30298 | 1,61254 | -0,387739 | -1,15661 | 691 |
| 3o (T3) | 0.754027 | 0.836719 | 0.077765 | 0.664435 | 0.088024 | -1,75952 | 1,30406 | 1,61513 | -0,389948 | -1,15837 | 724 |
| 4o (T4) | 0.023522 | 0.029501 | 0.961619 | 0.180015 | 0.207854 | -1,76547 | 1,30453 | 1,61746 | -0,395305 | -1,16013 | 667 |
| 5o (T5) | 0.206815 | 0.432762 | 0.634812 | 0.014996 | 0.027712 | -1,74756 | 1,30122 | 1,60787 | -0,383437 | -1,15338 | 631 |

* 1. Para os dois primeiros treinamentos realizados no item a), trace os respectivos gráficos dos valores do erro quadrático médio (EQM) em função de cada época de treinamento. Imprima os dois gráficos numa mesma folha.
  2. Execute 5 treinamentos (**Treinamento II**) para a rede ADALINE. Utilize taxa de aprendizado  = 0.0025 e precisão  = 10-6.

Observação 1: considere os sinais de entrada em sua forma original (ou seja, os sinais não devem ser normalizados).

Observação 2: utilize o modo de aprendizagem por lote (offline, por ciclo).

𝑝

𝑤𝑎𝑡𝑢𝑎𝑙 = 𝑤𝑎𝑛𝑡𝑒𝑟𝑖𝑜𝑟 +  ∗ ∑(𝑑(𝐾) − 𝑢) ∗ 𝑥𝐾

𝐾=1

Observação 3: inicialize o vetor de pesos (parâmetros livres) em cada treinamento com os valores aleatórios entre zero e um, especificados no item a.

* 1. Registre os resultados dos 5 treinamentos executados na tabela a seguir:

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA - CCN DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO - DC BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DISCIPLINA: REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PROFESSOR: RICARDO DE ANDRADE



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Treinamento | Vetor de Pesos Inicial | | | | | Vetor de Pesos Final | | | | | Número  de Épocas |
| w0 | w1 | w2 | w3 | w4 | w0 | w1 | w2 | w3 | w4 |  |
| 1o (T1) | 0.238145 | 0.190343 | 0.253654 | 0.107690 | 0.526241 | -1,14758 | 5,18621 | -1,51388 | 5,47214 | 1,94427 | 20.000 |
| 2o (T2) | 0.965817 | 0.343316 | 0.817598 | 0.817158 | 0.320014 | -6,11762 | 2,76481 | -8,07038 | 2,91720 | 1,03650 | 20.000 |
| 3o (T3) | 0.437060 | 0.495509 | 0.396507 | 0.262397 | 0.919558 | -2,11135 | 9,54180 | -2,78530 | 1,00679 | 3,57719 | 20.000 |
| 4o (T4) | 0.979966 | 0.581411 | 0.317442 | 0.083330 | 0.232874 | 4,32576 | -1,95489 | 5,70636 | -2,06267 | 7,32882 | 20.000 |
| 5o (T5) | 0.867061 | 0.002523 | 0.893910 | 0.622810 | 0.526725 | -3,41886 | 1,54513 | -4,51026 | 1,63030 | 5,79254 | 20.000 |

* 1. Para os dois primeiros treinamentos realizados no item d), trace os respectivos gráficos dos valores do erro quadrático médio (EQM) em função de cada época de treinamento. Imprima os dois gráficos numa mesma folha.
  2. Execute 5 treinamentos (**Treinamento III**) para a rede ADALINE. Utilize taxa de aprendizado  = 0.0025 e precisão  = 10-6.

Observação 1: considere os sinais de entrada normalizados.

Observação 2: utilize o modo de aprendizagem sequencial (online, por padrão).

𝑤𝑎𝑡𝑢𝑎𝑙 = 𝑤𝑎𝑛𝑡𝑒𝑟𝑖𝑜𝑟 +  ∗ (𝑑(𝐾) − 𝑢) ∗ 𝑥𝐾

Observação 3: inicialize o vetor de pesos (parâmetros livres) em cada treinamento com os valores aleatórios entre zero e um, especificados no item a.

* 1. Registre os resultados dos 5 treinamentos executados na tabela a seguir:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Treinamento | Vetor de Pesos Inicial | | | | | Vetor de Pesos Final | | | | | Número  de Épocas |
| w0 | w1 | w2 | w3 | w4 | w0 | w1 | w2 | w3 | w4 |  |
| 1o (T1) | 0.684054 | 0.541370 | 0.228949 | 0.059863 | 0.089944 | 0,899612 | 2,28344 | 7,29980 | -0,558880 | -8,29951 | 6230 |
| 2o (T2) | 0.335623 | 0.474292 | 0.858850 | 0.406309 | 0.306049 | 0,893080 | 2,27659 | 7,25685 | -0,558452 | -8,25679 | 6071 |
| 3o (T3) | 0.333606 | 0.321963 | 0.745250 | 0.141396 | 0.446686 | 0,898911 | 2,28278 | 7,29560 | -0,558801 | -8,29545 | 6207 |
| 4o (T4) | 0.429524 | 0.504294 | 0.170903 | 0.186094 | 0.256176 | 0,903359 | 2,28772 | 7,32232 | -0,559296 | -8,32146 | 6329 |
| 5o (T5) | 0.599461 | 0.411760 | 0.016441 | 0.295020 | 0.610609 | 0,904293 | 2,28873 | 7,32780 | -0,559415 | -8,32690 | 6431 |

* 1. Para os dois primeiros treinamentos realizados no item g), trace os respectivos gráficos dos valores do erro quadrático médio (EQM) em função de cada época de treinamento. Imprima os dois gráficos numa mesma folha.

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA - CCN DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO - DC BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DISCIPLINA: REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PROFESSOR: RICARDO DE ANDRADE



* 1. Execute 5 treinamentos (**Treinamento IV**) para a rede ADALINE. Utilize taxa de aprendizado  = 0.0025 e precisão  = 10-6.

Observação 1: considere os sinais de entrada normalizados.

Observação 2: utilize o modo de aprendizagem por lote (offline, por ciclo).

𝑝

𝑤𝑎𝑡𝑢𝑎𝑙 = 𝑤𝑎𝑛𝑡𝑒𝑟𝑖𝑜𝑟 +  ∗ ∑(𝑑(𝐾) − 𝑢) ∗ 𝑥𝐾

𝐾=1

Observação 3: inicialize o vetor de pesos (parâmetros livres) em cada treinamento com os valores aleatórios entre zero e um, especificados no item a.

1. Registre os resultados dos 5 treinamentos executados na tabela a seguir:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Treinamento | Vetor de Pesos Inicial | | | | | Vetor de Pesos Final | | | | | Número  de Épocas |
| w0 | w1 | w2 | w3 | w4 | w0 | w1 | w2 | w3 | w4 |  |
| 1o (T1) | 0.489821 | 0.833612 | 0.255776 | 0.754084 | 0.317185 | -1,60348 | 8,01500 | 9,24120 | 8,82923 | 8,03916 | 20.000 |
| 2o (T2) | 0.107637 | 0.055163 | 0.690174 | 0.889042 | 0.869078 | -3,00637 | 1,50273 | 1,73261 | 1,65537 | 1,50724 | 20.000 |
| 3o (T3) | 0.093206 | 0.977113 | 0.019944 | 0.854424 | 0.336292 | -2,54123 | 1,27015 | 1,46448 | 1,39918 | 1,27398 | 20.000 |
| 4o (T4) | 0.194088 | 0.960066 | 0.533655 | 0.072151 | 0.416916 | -2,05833 | 1,02884 | 1,18624 | 1,13335 | 1,03194 | 20.000 |
| 5o (T5) | 0.971529 | 0.558853 | 0.860308 | 0.959479 | 0.377864 | -1,30139 | 6,50478 | 7,49996 | 7,16562 | 6,52438 | 20.000 |

1. Para os dois primeiros treinamentos realizados no item j), trace os respectivos gráficos dos valores do erro quadrático médio (EQM) em função de cada época de treinamento. Imprima os dois gráficos numa mesma folha.
2. Para todos os treinamentos realizados anteriormente no item a), d), g) e j) aplique a rede ADALINE (já treinada) para classificar e indicar ao comutador se os sinais a seguir devem ser encaminhados para a válvula A ou B.

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA - CCN DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO - DC BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DISCIPLINA: REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PROFESSOR: RICARDO DE ANDRADE



## (Treinamento I)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Amostra | x1 | x2 | x3 | x4 | y (T1) | Y (T2) | y (T3) | y (T4) | y (T5) |
| 1 | 0.9694 | 0.6909 | 0.4334 | 3.4965 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 2 | 0.5427 | 1.3832 | 0.6390 | 4.0352 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 3 | 0.6081 | -0.9196 | 0.5925 | 0.1016 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | -0.1618 | 0.4694 | 0.2030 | 3.0117 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 5 | 0.1870 | -0.2578 | 0.6124 | 1.7749 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 6 | 0.4891 | -0.5276 | 0.4378 | 0.6439 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | 0.3777 | 2.0149 | 0.7423 | 3.3932 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 1.1498 | -0.4067 | 0.2469 | 1.5866 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | 0.9325 | 1.0950 | 1.0359 | 3.3591 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 0.5060 | 1.3317 | 0.9222 | 3.7174 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 11 | 0.0497 | -2.0656 | 0.6124 | -0.6585 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 12 | 0.4004 | 3.5369 | 0.9766 | 5.3532 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | -0.1874 | 1.3343 | 0.5374 | 3.2189 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 14 | 0.5060 | 1.3317 | 0.9222 | 3.7174 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 15 | 1.6375 | -0.7911 | 0.7537 | 0.5515 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

**(Treinamento II)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Amostra | x1 | x2 | x3 | x4 | y (T1) | Y (T2) | y (T3) | y (T4) | y (T5) |
| 1 | 0.9694 | 0.6909 | 0.4334 | 3.4965 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 0.5427 | 1.3832 | 0.6390 | 4.0352 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 0.6081 | -0.9196 | 0.5925 | 0.1016 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 |
| 4 | -0.1618 | 0.4694 | 0.2030 | 3.0117 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 0.1870 | -0.2578 | 0.6124 | 1.7749 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 0.4891 | -0.5276 | 0.4378 | 0.6439 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 |
| 7 | 0.3777 | 2.0149 | 0.7423 | 3.3932 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 1.1498 | -0.4067 | 0.2469 | 1.5866 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | 0.9325 | 1.0950 | 1.0359 | 3.3591 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 0.5060 | 1.3317 | 0.9222 | 3.7174 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | 0.0497 | -2.0656 | 0.6124 | -0.6585 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 |
| 12 | 0.4004 | 3.5369 | 0.9766 | 5.3532 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | -0.1874 | 1.3343 | 0.5374 | 3.2189 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | 0.5060 | 1.3317 | 0.9222 | 3.7174 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | 1.6375 | -0.7911 | 0.7537 | 0.5515 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 |

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA - CCN DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO - DC BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DISCIPLINA: REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PROFESSOR: RICARDO DE ANDRADE**



**(Treinamento III)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Amostra | x1 | x2 | x3 | x4 | Y (T1) | Y (T2) | y (T3) | y (T4) | y (T5) |
| 1 | 0.9694 | 0.6909 | 0.4334 | 3.4965 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 2 | 0.5427 | 1.3832 | 0.6390 | 4.0352 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 3 | 0.6081 | -0.9196 | 0.5925 | 0.1016 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 4 | -0.1618 | 0.4694 | 0.2030 | 3.0117 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 5 | 0.1870 | -0.2578 | 0.6124 | 1.7749 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 6 | 0.4891 | -0.5276 | 0.4378 | 0.6439 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 7 | 0.3777 | 2.0149 | 0.7423 | 3.3932 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 8 | 1.1498 | -0.4067 | 0.2469 | 1.5866 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 9 | 0.9325 | 1.0950 | 1.0359 | 3.3591 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 10 | 0.5060 | 1.3317 | 0.9222 | 3.7174 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 11 | 0.0497 | -2.0656 | 0.6124 | -0.6585 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 12 | 0.4004 | 3.5369 | 0.9766 | 5.3532 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 13 | -0.1874 | 1.3343 | 0.5374 | 3.2189 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 14 | 0.5060 | 1.3317 | 0.9222 | 3.7174 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 15 | 1.6375 | -0.7911 | 0.7537 | 0.5515 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |

**(Treinamento IV)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Amostra | x1 | x2 | x3 | x4 | Y (T1) | Y (T2) | y (T3) | y (T4) | y (T5) |
| 1 | 0.9694 | 0.6909 | 0.4334 | 3.4965 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 0.5427 | 1.3832 | 0.6390 | 4.0352 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 0.6081 | -0.9196 | 0.5925 | 0.1016 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | -0.1618 | 0.4694 | 0.2030 | 3.0117 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 0.1870 | -0.2578 | 0.6124 | 1.7749 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 0.4891 | -0.5276 | 0.4378 | 0.6439 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | 0.3777 | 2.0149 | 0.7423 | 3.3932 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 1.1498 | -0.4067 | 0.2469 | 1.5866 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | 0.9325 | 1.0950 | 1.0359 | 3.3591 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 0.5060 | 1.3317 | 0.9222 | 3.7174 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | 0.0497 | -2.0656 | 0.6124 | -0.6585 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 12 | 0.4004 | 3.5369 | 0.9766 | 5.3532 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | -0.1874 | 1.3343 | 0.5374 | 3.2189 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | 0.5060 | 1.3317 | 0.9222 | 3.7174 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | 1.6375 | -0.7911 | 0.7537 | 0.5515 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

1. Execute 5 treinamentos (**Treinamento V**) para a rede ADALINE. Utilize taxa de aprendizado  = H(w)-1 (matriz inversa da matriz Hessiana) e precisão  = 10-6.

Observação 1: considere os sinais de entrada em sua forma original (ou seja, os sinais não devem ser normalizados).

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA - CCN DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO - DC BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DISCIPLINA: REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PROFESSOR: RICARDO DE ANDRADE



Observação 2: utilize o modo de aprendizagem por lote (offline, por ciclo).

𝑝

𝑤𝑎𝑡𝑢𝑎𝑙 = 𝑤𝑎𝑛𝑡𝑒𝑟𝑖𝑜𝑟 + H(w)−1 ∗ ∑(𝑑(𝐾) − 𝑢) ∗ 𝑥𝐾

𝐾=1

Observação 3: inicialize o vetor de pesos (parâmetros livres) em cada treinamento com os valores aleatórios entre zero e um especificados no item a.

1. Registre os resultados dos 5 treinamentos executados na tabela a seguir:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Treinamento | Vetor de Pesos Inicial | | | | | Vetor de Pesos Final | | | | | Número  de Épocas |
| w0 | w1 | w2 | w3 | w4 | w0 | w1 | w2 | w3 | w4 |  |
| 1o (T1) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2o (T2) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3o (T3) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4o (T4) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5o (T5) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Para os dois primeiros treinamentos realizados no item o), trace os respectivos gráficos dos valores do erro quadrático médio (EQM) em função de cada época de treinamento. Imprima os dois gráficos numa mesma folha.
2. O modelo mais simples que relaciona duas variáveis *x* e *y* é a equação da reta: y = β0 + β1*x*, onde β0 e β1 são parâmetros do modelo.Um modelo linear para relacionar uma variável dependente *y* com *n* variáveis independentes *xi* é dado pela seguinte equação: y = β0 + β1*x1 +* β2*x2 + ...*

*+* βn*xn*. Utilizando o conjunto de treinamento (Arquivo *Treinamento\_Ajuste\_Linear\_Múltiplo.xls*),

determine os valores dos parâmetros β por meio do ajuste linear múltiplo.

[1.772, 1.306, 1.626, -0.403, -1.173]

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA - CCN DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO - DC BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DISCIPLINA: REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PROFESSOR: RICARDO DE ANDRADE



## Parte II - Projeto Prático B

Considere um problema de classificação de padrões envolvendo apenas duas classes distintas: classe *A* e classe *B*. Fundamentado nas medições de alguns sinais, compilou-se o conjunto de treinamento (Arquivo *Treinamento\_Adaline\_PPB.xls*), tomando-se por convenção o valor -1 para os sinais pertencentes à classe *A* e o valor +1 para os sinais pertencentes à classe *B*.

Pretende-se usar uma rede Perceptron e uma rede Adaline para executar a classificação automática das duas classes.

Para a rede Perceptron, utilizando o algoritmo supervisionado de Hebb (regra de Hebb) para classificação de padrões, e assumindo-se a taxa de aprendizagem como 0,001, realize as seguintes atividades (considere o número máximo de épocas igual a 10.000):

1. Execute cinco treinamentos para a rede Perceptron, inicializando-se o vetor de parâmetros livres {*w*} em cada treinamento com valores aleatórios entre zero e um. Se for o caso, reinicie o gerador de números aleatórios em cada treinamento de tal forma que os elementos do vetor de parâmetros livres iniciais não sejam os mesmos.
2. Registre os resultados dos cinco treinamentos para a rede Perceptron na Tabela a

seguir:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Treinamento | Vetor de Pesos Inicial | | | Vetor de Pesos Final | | | Número de  Épocas |
| w0 | w1 | w2 | w0 | w1 | w2 |  |  |
| 1o (T1) | 0.414614 | 0.641755 | 0.552811 | 0.014614 | 0.006038 | 0.023124 | 10000 |  |
| 2o (T2) | 0.809105 | 0.329654 | 0.2956805 | 0.015105 | 0.006856 | 0.023591 | 10000 |  |
| 3o (T3) | 0.094799 | 0.405585 | 0.9523889 | 0.014799 | 0.006408 | 0.023265 | 10000 |  |
| 4o (T4) | 0.078361 | 0.189934 | 0.8142218 | 0.014360 | 0.006094 | 0.022708 | 10000 |  |
| 5o (T5) | 0.012319 | 0.081682 | 0.9269132 | 0.014319 | 0.006887 | 0.022429 | 10000 |  |

Para a rede Adaline, utilizando o algoritmo de aprendizado regra Delta para classificação de padrões, e assumindo-se a taxa de aprendizagem como 0,001, realize as seguintes atividades (considere o número máximo de épocas igual a 10.000 e  = 10-6):

1. Execute cinco treinamentos para a rede Adaline, inicializando-se o vetor de parâmetros livres {*w*} em cada treinamento com valores aleatórios entre zero e um. Se for o caso, reinicie o gerador de números aleatórios em cada treinamento de tal forma que os elementos do vetor de parâmetros livres iniciais não sejam os mesmos.
2. Registre os resultados dos cinco treinamentos para a rede Adaline na Tabela a seguir:

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA - CCN DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO - DC BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DISCIPLINA: REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PROFESSOR: RICARDO DE ANDRADE



|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Treinamento | Vetor de Pesos Inicial | | | Vetor de Pesos Final | | | Número de  Épocas |
| w0 | w1 | w2 | w0 | w1 | w2 |  |  |
| 1o (T1) | 0.654548 | 0.520631 | 0.052739 | 2.09420 | 0.973818 | 3.04903 | 2033 |  |
| 2o (T2) | 0.208678 | 0.685512 | 0.692474 | 2.07765 | 0.963928 | 3.02926 | 1906 |  |
| 3o (T3) | 0.716926 | 0.866283 | 0.642678 | 2.05047 | 0.957867 | 2.98885 | 1712 |  |
| 4o (T4) | 0.804775 | 0.639614 | 0.746565 | 2.10726 | 0.981582 | 3.06482 | 1900 |  |
| 5o (T5) | 0.499223 | 0.736489 | 0.573619 | 2.05083 | 0.953416 | 2.99428 | 1784 |  |

**OBSERVAÇÕES:**

1. As folhas contendo os resultados dos Exercícios devem ser entregue em seqüência e Grampeadas (não use clips). O aluno deve assinar (ou rubricar) em todas as folhas de resolução.
2. Em se tratando de Lista de Exercícios que tenha implementação computacional, anexe (de forma impressa) o programa fonte referente à implementação computacional.