

# Detecção de Refletores Sísmicos por Rede Neural Discreta

Alexandre Beltrão Ferreira/André Andrade

CPGf/UFPa

ABSTRACT

The artificial neural networks have proven to be a powerful tool to solving a wide variety of optimization problems. In this work we develop a recurrent network with no self-feedback loops and no hidden neurons for seismic signal processing where this neural network gives us reflectivity location and reflectivity magnitude estimation. The most important advantage of this neural network is the use a type of activation function which permits three possible states of neuron to estimate the position of the seismic reflectors in such way to reproduce its true polarities. The operational evaluation of this neural network architecture is accomplished in synthetic data obtained through the ray theory.

INTRODUÇÃO

Na geofísica existem problemas que não possuem uma formulação analítica precisa. Por exemplo, no processamento sísmico de sinal, encontra-se frequentemente modelos lineares bastante simples, cuja teoria baseia-se em suposições, que na maioria dos casos, não são realistas na prática.

Neste trabalho, é apresentada uma rede neural artificial para o processamento do sinal sísmico capaz de estimar o posicionamento, bem como a magnitude dos refletores sísmicos, cuja principal característica é apresentar três estados discretos possíveis para o neurônio, em razão da sua particular função de ativação. Deste modo, torna-se possível a correta detecção das polaridades dos refletores sísmicos. A avaliação operacional desta arquitetura é realizada em dados sintéticos gerados a partir da teoria do raio.

REDE NEURAL DISCRETA

Nesta seção, é apresentada uma arquitetura de rede neural, que pode ser tratada como uma forma variante da rede tipo recorrente, aqui designada como **rede neural discreta (RND)**, a qual não possui alto alimentação entre os neurônio bem como a existência de camadas ocultas, conforme visto na Figura 1. Os parâmetros do seu neurônio artificial (Figura 2), tais como potencial de entrada, função de ativação e função de Liapunov; são redefinidos de forma a transformá-la em uma rede neural especializada para a solução do problema de posicionamento em profundidade ou no tempo dos refletores verdadeiros no traço sísmico.

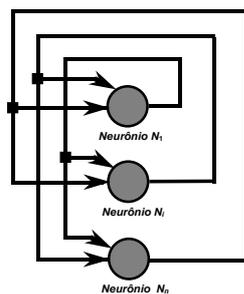


Figura1 - Arquitetura da rede neural artificial discreta.

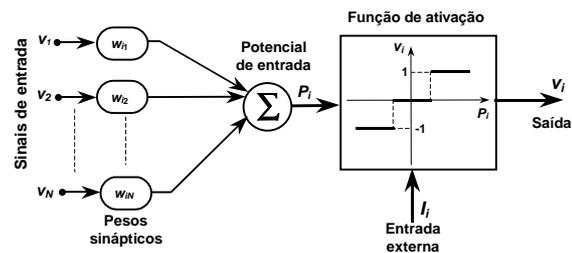


Figura 2 - Modelo de um neurônio.

Potencial de Ativação

O potencial de ativação  $[P_k(t)]$ , definido para a rede neural artificial discreta é dado na forma,

$$P_k(t) = \sum_{i=1}^N w_{ki} v_i(t), \tag{1}$$

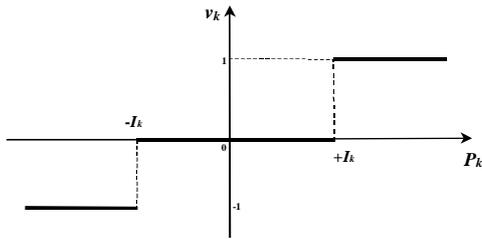
onde  $\mathbf{W}=[w_{ij}]$  representa a matriz de peso sináptico, e por definição tem as seguintes propriedades,  $w_{ki} = w_{ik}$ ;  $w_{kk} \geq 0$ . O parâmetro  $v_k$  representa os estados dos neurônios no tempo e assume valores discretos no conjunto  $\{-1,0,1\}$ , a depender de um parâmetro externo  $I_k$ , definido através da função de Liapunov que descreve o comportamento dinâmico

de rede, com a variação dos estados  $v_k$  dados pela função de ativação característica desse tipo de rede, e o problema específico a ser tratado.

O potencial de ativação traduz a influência de todos os outros neurônios da rede sobre a saída de um neurônio particular  $k$ ; sob esse ponto de vista, a expressão potencial se refere exclusivamente à capacidade do neurônio produzir ou não um sinal de saída eficaz.

**Função de Ativação**

A função de ativação utilizada para o desenvolvimento da RND se caracteriza pela possibilidade dos estados dos seu neurônios pertencerem ao conjunto  $\{-1,0,1\}$ . A função de ativação da rede discreta, mostrada na Figura 3, indica uma nova dinâmica para a variação dos estados dos neurônios no tempo por meio da expressão (2). Nessa expressão, o parâmetro controlador dos novos estados dos neurônios  $[v_k(t)]$  no tempo  $t$  é representado pelo parâmetro livre  $I_k$ , chamado aqui de entrada externa. De forma diferente do conceito natural de entrada externa desenvolvido nas bases da formulação das redes neurais artificiais [Haykin, 1994], no caso RND, o parâmetro externo é característico da função de Liapunov  $E$ , e, conseqüentemente, sua natureza é inerente ao problema a ser tratado.



$$v_k(t) = f[P_k(t-1)] = \begin{cases} 1, & \text{se } P_k(t-1) \geq I_k \\ 0, & \text{se } -I_k < P_k(t-1) < I_k \\ -1, & \text{se } P_k(t-1) \leq -I_k \end{cases} \quad (2)$$

Figura 3- Função de ativação.

**FUNÇÃO DE LIAPUNOV**

Para completar a conceituação teórica da RND, assume-se uma forma variante da função de Liapunov das redes recorrentes clássicas [Hopfield, 1982] escrita na forma

$$E = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} v_i v_j + 2 \sum_{i=1}^N I_i v_i \quad (3)$$

para o  $v_k$  dado por

$$v_k = f \left( \sum_{i=1}^N w_{ki} v_i \right) = f(P_k) \quad (4)$$

onde  $f$  representa a função de ativação definida na expressão (2).

A variação  $\Delta E$  associada à dinâmica de toda a rede devido à mudança do estado de um único neurônio  $k$  pode ser escrita na forma

$$\Delta E_k(t) = E_k(t) - E_k(t-1) \quad (5)$$

Utilizando as expressões (5) e (1), e considerando os termos simétricos da matriz de pesos sinápticos, pode-se explicitar a variação de estado em um único neurônio  $k$ , na forma

$$\Delta E_k(t) = -2\Delta v_k [P_k(t-1) - I_k] \quad (6)$$

onde  $\Delta v_i$  representa a variação do estado do neurônio  $v_k$ . A partir da expressão (6) e da função de ativação característica da RND verifica-se que sempre ocorrerá um decréscimo da função de Liapunov  $E$  visto que  $\Delta E_k(t)$  é sempre menor ou igual a zero, qualquer que seja a condição de  $v(t)$  e  $v(t-1)$ , neste caso, comprova-se que a rede sempre converge para um estado onde a função de Liapunov é localmente mínima.

**APLICAÇÃO À DETECÇÃO DE REFLETORES SÍSMICOS**

Nesta seção é desenvolvida a arquitetura, definidos os parâmetros livres e a função de Liapunov característicos da RND, especializada para a recuperação da seqüência de valores da função refletividade, a partir do conhecimento do traço sísmico, na forma de um processo dinâmico de minimização da sua função de Liapunov. Esta rede neural é construída sem qualquer suposição ou conhecimento *a priori* sobre a seqüência de refletividades ou qualquer premissa estatística sobre o ruído presente nos dados, os quais podem ser processos do tipo aleatório ou determinístico. Deste modo, é possível obter toda a informação necessária, a partir do conhecimento da função fonte, para qualquer modelo de reflexão sísmica. A avaliação operacional desta arquitetura de rede neural é realizada sobre dados sintéticos obtidos com a teoria do raio [Cervený,1977].

## Definição dos parâmetros livres e da função de Liapunov

Para a utilização prática de uma rede neural, principalmente para as redes do tipo recorrente, que é o caso da RND, na solução de um problema concreto, o passo fundamental é a definição de uma função objeto, cujos parâmetros descrevam o problema a ser tratado e a sua associação à função de Liapunov que descreve a dinâmica do processamento da rede neural. Deste modo, para a utilização deste tipo de rede neural, a solução do problema deve necessariamente estar associada a um estado estável dos neurônios da rede, que corresponderá a um mínimo local da função objeto [Haykin, 1994]. Assim, utilizar-se-á o modelo convolucional para o traço sísmico na determinação da matriz de pesos sinápticos  $W$  e da entrada externa  $I$  da RND.

Um traço sísmico observado,  $z_k$ , pode ser descrito através do modelo convolucional, por  $g_k$ , dado na forma

$$v_i = \text{refletividade do meio};$$

$$U_k = \text{pulso-fonte (wavelet), com } U_k=0 \text{ para } k < 0;$$

$$n_k = \text{ruído.}$$

$$N = \text{número de pontos de amostragem.}$$

$$g_k = \sum_{i=1}^N U_{k-i} v_i + n_k; (k = 1, 2, 3, \dots, N). \quad (7)$$

A FUNÇÃO DE LIAPUNOV CARACTERÍSTICA DO PROBLEMA É ESCRITA COMO A FUNÇÃO OBJETO DE MINIMIZAÇÃO DO ERRO, A QUAL É REPRESENTADA PELA SOMA DOS QUADRADOS DOS DESVIOS (ERRO PREDITIVO), PODENDO SER ENTENDIDA COMO UMA ESTIMATIVA LOCAL DA ESPERANÇA DOS DESVIOS [MENDEL 1983], DADA POR

$$E = \sum_{k=1}^N \left( z_k - \sum_{i=1}^N U_{k-i} v_i \right)^2. \quad (8)$$

O objetivo da RND é obter uma estimativa da seqüência de refletividades a partir da minimização da função objeto  $E$ . O modelo de refletividade  $v_i$  é dado na forma de uma seqüência discreta  $\{-1, 0, 1\}$  que pode ser aleatória ou determinística, a qual indica as localizações dos refletores ao longo do traço sísmico. Desenvolvendo a expressão (8) tem-se que:

$$E = \sum_{k=1}^N z_k^2 - 2 \sum_{k=1}^N z_k \sum_{i=1}^N U_{k-i} v_i + \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N U_{k-i} v_j U_{k-j} v_i. \quad (9)$$

A expressão (9) pode ser comparada com a função de Liapunov da RND correspondente à expressão (3), em que  $w_{ij} \geq 0$  e  $w_{ij} = w_{ji}$  para  $j = 1, 2, \dots, N$ . Desprezando-se o primeiro termo, constante, da expressão (9), pode-se efetuar a comparação direta dessa expressão com a expressão (3). Assim, os parâmetros livres  $w_{ij}$  e  $I_i$  característicos da RND para o posicionamento dos refletores sísmicos são definidos por

$$w_{ij} = - \sum_{k=1}^N U_{k-i} U_{k-j} \quad \text{e} \quad I_i = - \sum_{k=1}^N U_{k-i} z_k, \quad (10)$$

para  $i \neq j$ , em que  $1 \leq i, j \leq N$ ; e,  $w_{ii} \geq 0$  para  $i = 1, 2, \dots, N$ .

A rede neural com os pesos sinápticos e as entradas externas, determinadas pela expressão (10), pode ser vista como um detetor de todas as reflexões contidas no traço sísmico. As grandezas dessas reflexões são determinadas pelos seus respectivos valores no sismograma.

## RESULTADOS

A utilização da RND para a detecção dos refletores sísmicos é agora avaliada através de dados sintéticos, obtidos pela teoria do raio. Para tanto, mostra-se na Figura 4 uma seção sísmica tipo zero offset, na qual é visualmente trivial para o intérprete marcar ao longo da seção todos os quatro refletores presentes. Além disso, ele teria que efetuar a leitura dos tempos de trânsito de cada refletor em cada traço. A utilização da RND propicia a automação desse procedimento a partir de sua dinâmica característica com a conveniente definição dos seus parâmetros livres (equação 10). O processamento da RND pode ser avaliado pela observação da

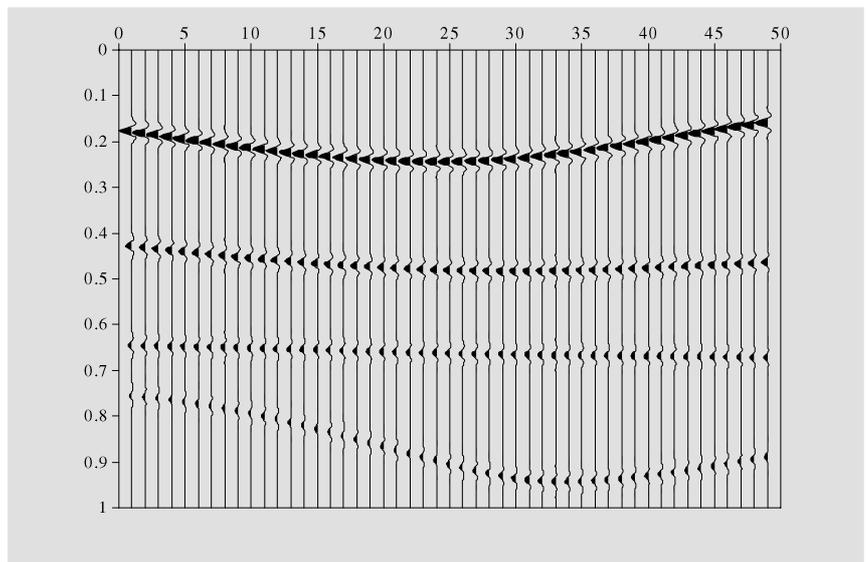


Figura 4- Seção sísmica zero offset.

Figura 5 que mostra a posição verdadeira dos reflectores detectados, assim como as suas amplitudes estimadas. Observa-se que esta é apenas a representação gráfica do processamento realizado pela RND, o qual poderia ser apresentado também na forma de tabela, mostrando para cada traço, os tempos de trânsito de cada um dos refletores detectados. Com isso, qualquer outro processamento sísmico que envolva a utilização dos tempos de trânsito dos refletores sísmicos (migração, inversão, etc.), poderá ser realizado de forma automática.

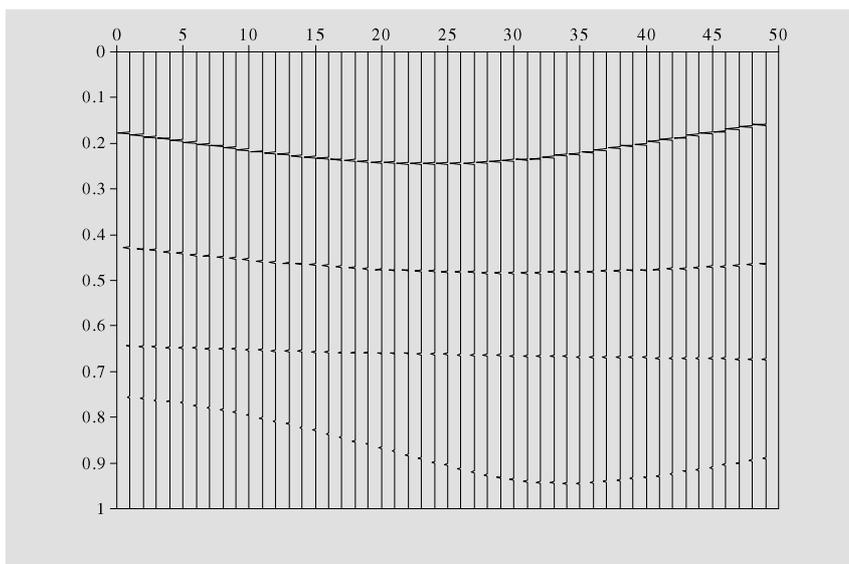


Figura 5 - Seção sísmica resultante da aplicação da RND, mostrando a posição verdadeira e as amplitudes estimadas dos refletores sísmicos.

## CONCLUSÕES

Apesar da utilização de um modelo linear para a obtenção das equações que descrevem os parâmetros livres da rede, o processamento aqui apresentado através da RND mostra uma boa flexibilidade para o tratamento de modelos não lineares. Este processo não deve ser entendido na forma de um processo deconvolucional clássico, pois a aplicação da RND não garante a reconstituição das verdadeiras amplitudes dos coeficientes de reflexão. O próximo passo desse trabalho será a aplicação da RND a dados reais.

## REFERÊNCIAS

- Cerveny, V.; Molotkov, I. A. & Psencik, I. (1977). *Ray Method in Seismology*. Karlova University. Praga.
- Haykin, S. (1994). *Neural Networks*. McMillan Co.
- Hopfield, J.J. (1982). *Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 79, p. 2554-2558.
- Mendel, J.M (1983). *Optimal Seismic Deconvolution*. Academic Press, Inc. New York, USA.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao geofísico Jaime Urban, ao CNPq e ao CPGf.