



# Redes neurais recorrentes de Elman aplicadas à inversão acústica da forma de onda completa utilizando diferenciação automática

Marcos Reinan de Assis Conceição (UFBA)

Copyright 2022, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.

Este texto foi preparado para a apresentação no IX Simpósio Brasileiro de Geofísica, Curitiba, 4 a 6 de outubro de 2022. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IX SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

## Resumo

Na última década, o ritmo de evolução dos computadores tornou possível a popularização das técnicas de redes neurais artificiais (RNA), anteriormente muito custosas. Tais redes são muito valorosas por sua versatilidade e eficiência, nos fornecendo capacidades preditoras dignas de ficção. Após a superação da média humana de interpretação de texto pelo modelo BERT (Google), recordes visivelmente significativos são quebrados com frequência: considere os dois modelos mais bem avaliados em produção de imagens e linguagem natural, DALL-E 2 (OpenAI) e PaLM (Google), ambos publicados no mês passado (abril de 2022). Tal capacidade para problemas altamente não-lineares frequentemente vem ao preço de modelos praticamente inexplicáveis: o conhecimento fica retido nas redes ao invés de conosco. Confiar em modelos mal compreendidos é inquietantemente inseguro. Por isto, muitas formas de retomar o controle destes algoritmos são discutidas na atualidade, sobretudo no contexto das aplicações relacionadas à Física. A primeira estratégia que vale ser citada são as redes neurais informadas de Física (RNIF). Uma RNIF é treinada sob penalização de insatisfações à Física do problema. Uma vez que seus parâmetros são treinados sob tal rigorosidade, uma RNIF evitará previsões absurdas, sendo útil a uma inversões eficientes. Uma outra estratégia estudada nos últimos anos é a construção de redes cujo interior é parcialmente dado por um processo de modelagem física. Estes casos são interessantes, pois os ambientes de implementação de redes neurais são baseados em técnicas de diferenciação automática, que tornam o cálculo do gradiente de uma função objetivo qualquer bastante prático. Graças a este tipo de ambiente, é possível inverter virtualmente qualquer equação física, uma vez que sua modelagem direta seja previamente implementada. Os trabalhos frequentemente se utilizam de redes neurais recorrentes, as quais tratam o tempo de forma iterativa, e por isto são similares a alguns métodos de integração numérica de equações diferenciais. O primeiro objetivo deste trabalho é servir como material didático de revisão para trabalhos futuros na área de redes neurais e inversão geofísica utilizando diferenciação automática, dissertando extensivamente sobre conceitos essenciais destes universos com exemplares de código didáticos associados. O segundo objetivo aqui alcançado é a implementação de tais conceitos essenciais no desenvolvimento de uma rede neural recorrente de Elman que inclui operações de modelagem sísmica e que, ao ser treinada, promove a recuperação do meio de velocidades. Mostra-se a equivalência entre a inversão sísmica assim realizada e a metodologia tradicional de inversão de forma completa da onda pelo método adjunto. A interface entre os universos da inversão geofísica e do aprendizado de máquina gerou frutos valiosos. As inversões testadas compararam três dos mais famosos algoritmos de treinamento de redes neurais: SGD, Momento e Adam, mostrando que os resultados são superiores utilizando Adam. Ao mesmo tempo, da inversão para as redes, obtemos indícios de que o treinamento de redes mais genéricas por meio de estratégias multiescala como as utilizadas na FWI deve produzir melhores treinamentos. Por outro lado, a rede implementada possui parâmetros são facilmente interpretáveis. Toda a produção de código está livremente disponível em repositório Git.