

Artigo – Seção Administração Brasileira.

Redes Neurais Artificiais (RNA), Algoritmos Genéticos (AGs) e de Retropropagação do Erro (BP)

Nome: Claudio Ferreira da Silva¹
Centro Universitário Augusto Motta

Nome: Carlos Thompson²
Centro Universitário Augusto Motta
e-mail: caftompson@gmail.com

Resumo

O objetivo deste artigo é mostrar, à luz da Escola da Administração Científica, algumas das técnicas quantitativas fortemente utilizadas e sua aplicabilidade nas diversas áreas da Administração. Ao longo do artigo, veremos que é possível utilizar Redes Neurais Artificiais para a tomada de decisão na Administração, o que vem sendo feito em muitas empresas por diferentes profissionais bem sucedidos.

chave: redes neurais; algoritmos genéticos; retropropagação; previsão; administração científica.

Abstract

This work deals a quantitative model applied to the scientific administration. The model is constructed based on the Artificial Neural Networks (ANN) technique. The results indicate that the ANN is a powerful tool to make decisions in the Administration area.

Keywords: neural networks; genetic algorithm; backpropagation; forecast; scientific administration.

[Artigo Publicado Originalmente na Revista Administração & Sociedade, v.1, n.2, jul/dez 1999.]

¹ [Mestrado Administração].

² [Ph.D Engenharia University of Houston (1975)].

Introdução

A Administração como Ciência e Arte

Frederick Winslow Taylor (1856-1915), um dos fundadores da Administração Científica, publicou em 1903, nos Estados Unidos da América, seu primeiro livro, *Administração de oficinas*, no qual aborda as técnicas de racionalização do trabalho do operário, através do estudo de tempos e movimentos. O foco era a tarefa realizada pelo empregado, tendo como objetivo principal a eficiência através de ganhos de produtividade. Sua visão era estritamente analítica. Em 1911, publica seu segundo livro *Princípios da administração científica*, tendo como ingredientes 75% de análise e 25% de bom senso.

Paralelamente, Henry Fayol (1841-1925) publica em 1916, em Paris, seu livro *Administração industrial e geral*, no qual enumera 14 princípios. Nestes, Fayol *apud* Koontz e O'Donnell (1974) focaliza a estrutura ideal da organização, de modo a atingir a eficiência produzindo ganhos de produtividade. Ele partiu de uma visão sintética e chegou a uma visão estrutural da empresa.

Uma das mais importantes contribuições de Taylor foi a aplicação do método científico aos problemas de administração. O método científico pressupõe a determinação de fatos por observação contínua de acontecimentos ou objetos. A verificação dessas observações se dá de forma também contínua. Os fatos devem ser classificados e analisados. As relações entre eles chamar-se-ão de hipóteses. Estas, por sua vez, devem ser testadas e, quando verdadeiras, (tornam-se princípios) explicam parcela da realidade, servindo de base para prever o que acontecerá em condições similares.

Devido à necessidade constante de atualização, a Administração tem incorporado várias técnicas, de modo a dar respostas aos novos desafios que se apresentam à organização. Na Administração, empregam-se os métodos qualitativos e quantitativos. Os primeiros baseiam-se, primordialmente, na experiência e no grau de conhecimento do administrador. Por outro lado, os quantitativos utilizam as modelagens matemáticas e estatísticas para descreverem os problemas da Administração. Com o avanço computacional, principalmente nesta década, os métodos quantitativos têm crescido quando comparados aos qualitativos. É importante ressaltar que o *feeling* do administrador é imprescindível para a modelagem e para a interpretação dos resultados obtidos computacionalmente. Nos dias de hoje, são apresentados muitos métodos quantitativos de apoio a decisão. Hoje, o aprendizado destes métodos torna-se condição *sine qua non* a todo administrador que pretenda competir em um mercado globalizado.

Constata-se que empresas e instituições de um modo geral, quando não evoluem frente às novas necessidades do mercado (globalizado), onde estão inseridas, tendem a extinção, assim como os organismos vivos sucumbem quando não se adaptam às modificações do meio em que vivem. Na Teoria Matemática da Administração ou Administração Científica, a ênfase está no processo decisório. Esta teoria se apoia nas técnicas apresentadas abaixo.

A Teoria dos Jogos de Neumann e Morgestern (1947) é uma das técnicas para analisar conflitos ou oposição de interesses. A Teoria das Filas de Espera é uma técnica que busca otimizar condições de aglomeração. A Teoria da Decisão de Simon (1965) se divide em decisões qualitativas ou não programáveis (tomadas pelo homem) e decisões

quantitativas ou programáveis, algumas delas quantificáveis (tomadas pelo homem ou programadas para a máquina), estas últimas decisões podem ser em condições de certeza, risco ou incerteza. A Teoria dos Grafos, que se dedica a problemas de redes, é a técnica de otimização de onde se originaram os métodos CPM (*Critical Path Method*), Pert (*Programm Evaluation Review Technique*) etc. A Programação Linear é técnica empregada em problemas complexos, com inúmeras variáveis porém com objetivo definido. Probabilidade e Estatística Matemática, introduzida em problemas de qualidade industrial pelo físico Shewhart e posteriormente popularizado por Deming na década de 80 em SQC (*Statistical Quality Control*) e Juran em TQC (*Total Quality Control*). Assim aplica-se a estatística para o controle do processo, da qualidade e da produção. A Programação Dinâmica se aplica a problemas com múltiplas fases, sendo elas inter-relacionadas.

Entre as diversas áreas, a Administração Financeira tem recebido grande destaque por parte dos pesquisadores, principalmente no que diz respeito aos Mercados de Capitais. Assim, estudos sobre a tendência, o comportamento e padrões oscilatórios do mercado de títulos motivaram pesquisadores como Charles H. Dow¹ e autores como Ralph Nelson Elliot (1938), a analisar, tecnicamente, o comportamento do mercado. A Análise Técnica tem por objetivo descrever como as distribuições caóticas dos preços se movimentam, independentemente das suas causas. São as chamadas séries temporais caóticas. Pesquisas na área dos escoamentos turbulentos, comprovaram, cientificamente, os comportamentos oscilatórios organizados e a maneira de se extrair os padrões ou estruturas dessas séries não-lineares. Autores como Hussain e Thompson (1975), entre outros, vêm-se destacando com a utilização dos modelos não-lineares e suas analogias com as séries temporais do mercado financeiro. É importante ressaltar que, nesses casos, a análise, passa a ter em vez de técnica, um cunho científico. Thompson (1975) comprovou que num fluxo turbulento, de acordo com dados obtidos em túneis de vento, ocorrem largas escalas (baixas frequências) de estruturas organizadas. Estas estruturas coerentes, num sinal aleatório ao longo do tempo, podem ser obtidas, numericamente, empregando-se a análise de Fourier. A investigação da natureza e função destas estruturas quase determinísticas parece ser crucial para o desenvolvimento de um modelo viável de predição de valores futuros de séries temporais não-lineares. Tem-se, então, a chamada Análise Científica em vez de Técnica. A Análise Científica para séries temporais é fundamental para as previsões. A previsão é definida como o processo no qual o comportamento futuro de sistemas dinâmicos é estimado. Se o sistema dinâmico não for estável, as condições iniciais passam a ser os parâmetros de maior importância numa série temporal. Assim, pequenas modificações nas condições iniciais podem gerar comportamentos distintos ao longo do tempo. Matemáticos provaram, analiticamente, a existência de estruturas organizadas no caos em sistemas dinâmicos. Entretanto, resultados numéricos têm mostrado a presença de caos e atratores com certas condições iniciais, ainda não analisados matematicamente. Por outro lado, resultados numéricos de algumas equações não lineares foram testados experimentalmente e comprovados com relativo sucesso com a teoria. Nesta década, tem sido intenso o emprego de redes neurais artificiais para a identificação de padrões (estruturas organizadas ou coerentes) em séries temporais caóticas que surgem no mercado financeiro. Assim, modelos não-lineares podem ser treinados, na rede neural, para projetar valores passados em futuros, de uma série temporal. As bem conhecidas equações não-lineares propostas por Hénon, Hossler, Makey, Lorenz, etc. são também importantes ferramentas para corrigir programas complexos que usam redes neurais artificiais.

O mercado financeiro é bem conhecido pelas variações de preço em curto e longo prazos. Estas flutuações se devem ao grande número de negócios produzidos pelas diferentes instituições que atuam no mercado independentemente uma das outras. No meio deste mundo quase caótico, existe uma pequena sala nestas instituições, destinada àqueles que trabalham com previsões. Tradicionalmente, estas instituições têm confiado esta tarefa ao chama do grupo de Analistas Técnicos. As análises, para que se possa tomar decisões, são fundamentadas, principalmente, na observação de tendências, médias móveis, e certos padrões gráficos com elevada subjetividade de interpretação. Com a enorme difusão dos computadores de mesa, cada vez mais rápidos, tornou-se viável o desenvolvimento de simulações dinâmicas, constituindo-se, assim, um grande campo para os especialistas e programadores. Os denominados *rocket scientists* vêm-se interessando, a cada dia, pela simulação de novos modelos matemáticos para previsão e movimentos de preço atendendo à demanda das instituições do mercado financeiro.

Segundo Chiavenato *a Teoria Geral da Administração tem recebido no de correr dos últimos quarenta anos uma infinidade de contribuições da matemática sob a forma de modelos matemáticos capazes de proporcionar soluções de problemas empresariais, seja na área de recursos humanos, de produção, de comercialização, de finanças ou na própria área de administração geral. Boa parte das decisões administrativas pode ser tomada na base de soluções assentadas em equações matemáticas que simulam certas situações reais, que obedecem a determinadas "leis" ou regularidades. A Teoria Matemática da Administração aplicada aos problemas administrativos é mais conhecida como Pesquisa Operacional, P.O. Na verdade, a P.O. descende da Administração Científica e, em algumas universidades, este curso recebeu a denominação de Engenharia da Produção (1993).*

São campos de aplicação da P.O.: organização; absenteísmo e relações de trabalho; economia; decisões individuais; pesquisas de mercado; eficiência e produtividade; organização e fluxo de produção em fábricas; controle de qualidade; inspeção e amostragem; prevenção de acidentes; planejamento e controle de produção; transporte; estoque; distribuição; e manipulação de materiais em produtos (logística); comunicações.

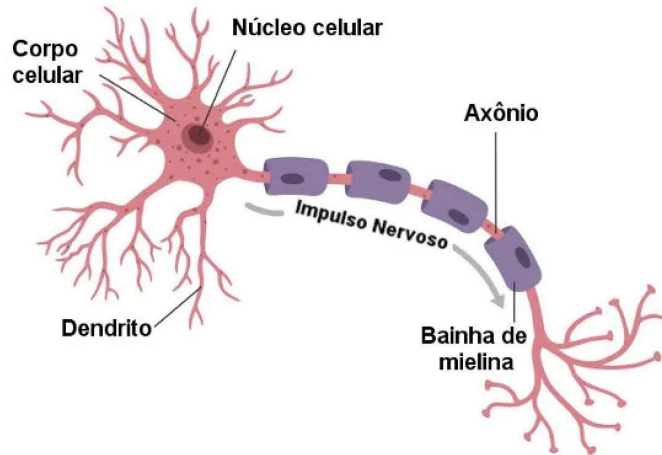
Simon (apud CHIAVENATO, 1993) afirmou que "não se pode mais traçar qualquer linha divisória expressiva para fixar os limites entre a P.O. e a Administração Científica ou entre a Administração Científica e a Ciência da Administração".

Em seu artigo, Hatamian (1997) comenta que modelos não-lineares podem ser analisados como uma extensão, por exemplo, de modelos lineares auto-regressivos de processo estacionário. É importante ressaltar que, embora a simulação seja, por um lado, uma importante técnica, por outro, fica complicada a modelagem e quantificação das emoções e reações humanas em meio a sinais caóticos. Entretanto, a complexidade no mercado financeiro, requer a análise da incerteza e a interpretação cuidadosa dos resultados, considerando se esses parâmetros subjetivos.

Na Administração, é frequente o uso de previsões tanto como insumo de um sistema maior (contábil, financeiro etc.), que poderá fazer uso destas informações para gerar novas informações úteis ao processo decisório, quanto ser esta informação a própria saída do sistema, no caso de empresas que forneçam serviços de previsão (Datafolha, Ibope, Pessoa Física etc.). Somam-se aos métodos clássicos de previsão, na Administração Científica, modelos inspirados nos sistemas biológicos.

Redes Neurais Artificiais (RNA)

As RNAs fazem parte dos sistemas inspirados na biologia e buscam fazer uma mímica da estrutura do cérebro e de suas aptidões com vistas ao reconhecimento de padrões e previsão de séries temporais caóticas.



Fonte: Site Andreia Torres

Figura 2.1 - Esquema simplificado de transmissão de ondas entre neurônios de uma rede biológica.

As RNAs, basicamente, tratam da simulação do sistema nervoso humano o qual contém uma coleção de neurônios que se comunicam via axônios e dendritos. Os dendritos são ramificações destinadas a receber os sinais eletromagnéticos de outros neurônios. Esses sinais são transmitidos pelo axônio, conforme é mostrado na Figura 2.1. A junção de um dendrito com um axônio é denominada de sinapse.

Redes Neurais foram desenhadas originariamente para reproduzir a habilidade do cérebro para o reconhecimento de padrões. Também se verificou sua aplicabilidade em previsões de modo a gerar informações gerenciais.

Pelos dados das pesquisas em anatomia, estima-se que existem mais de 10^3 sinapses nas entradas e saídas de um único neurônio. Sabe-se, também, que o cérebro humano contém cerca de 10^{11} neurônios e 10^{14} sinapses. Outro dado importante é que, embora o tempo de resposta dos neurônios seja da ordem de fração do milissegundos, os computadores, em geral, são cerca de um milhão de vezes mais rápidos. O grau de conectividade desses neurônios, por sua vez, são da ordem de mil vezes maior do que o dos computadores. Ainda existem, por parte dos pesquisadores, alguns questionamentos sobre as interações entre os diversos tipos de neurônios. Sabe-se que diferentes tipos de neurônios interagem distintamente.

Rede muito complexa perde a capacidade de generalização (rede rígida) e implica um menor número de iterações para atingir a precisão (acurácia) desejada, enquanto que uma rede menos complexa, ao contrário, aumenta a capacidade de generalização (rede menos rígida) e implica um maior número de iterações para atingir a precisão (acurácia) desejada; aprendizado do sistema é realizado por p amostras ou padrões (entrada k , saída desejada k), onde $1 \leq k \leq p$. Esses padrões provocam mudanças nos parâmetros w (pesos) da RNA.

Algumas áreas tem-se destacado no uso de Redes Neurais Artificiais, como previsão, reconhecimento de padrões e controle de processos.

Ultimamente, as RNA têm sido usadas em Administração, para a tomada de decisões.

Retropropagação

Retropropagação é um processo pelo qual os pesos são corrigidos pelo método do gradiente decrescente de forma a que o erro seja mínimo. Erro é a diferença entre o desempenho desejado e o obtido na(s) saída(s) da rede neural artificial (RNA). Para uma aplicação em Redes Neurais Artificiais, o algoritmo pode ser enunciado assim:

a) definir o número de neurônios para a camada de entrada, a camada oculta e a camada de saída;

b) iniciar os pesos w 's e b 's (aleatoriamente ou não, por exemplo: entre -4 e 4);

c) definir as funções de ativação;

d) para um padrão k , um vetor de entrada $x(k)$ e outro de saída desejada $t(k)$, relacionar os pares $x(k)$ e $t(k)$;

e) propagar o sinal de entrada até a camada de saída;

f) calcular o erro na camada de saída ($e_3(k) = t_3(k) - y_3(k)$)

sendo $y_3(k)$ o valor da série na saída da rede;

g) usando a regra da cadeia, relacionar os erros com os dados de entrada e de saída;

h) retorne ao passo d e repita até atingir um dos critérios de parada (número de épocas ou soma dos erros ao quadrado, atingindo um valor preestabelecido).

Algoritmos Genéticos (AG)

Vamos supor que um peixe tenha nascido sem uma de suas nadadeiras. Ele terá maior dificuldade de buscar alimento e de se proteger de predadores da sua espécie. Este peixe (indivíduo) dificilmente irá sobreviver e procriar, como a maioria da sua população. Ao contrário, dois peixes que descendam de ancestrais perfeitos terão uma probabilidade maior de sobreviver e se reproduzir, pois carregam os traços genéticos de seus pais. Estes traços genéticos são transmitidos através dos cromossomos.

Da mesma forma que a natureza resolve os problemas de evolução, os Algoritmos Genéticos vão procurar resolver problemas de otimização, fazendo uso dos processos de reprodução (*crossover*) e mutação (*mutation*) visando à seleção dos mais aptos. Para fazer esta seleção, os cromossomos são avaliados através de uma função, chamada de função de custo (ou função de avaliação). Uma maneira de garantir o não-desaparecimento dos indivíduos mais aptos é guardá-los e, posteriormente, inseri-los na geração seguinte. Na fase de reprodução (*crossover*), tomam-se dois indivíduos, cortando seus cromossomos em

uma partição selecionada ao acaso, de modo a produzir os segmentos anteriores e posteriores. Os posteriores realizam um intercâmbio de modo a obter dois novos cromossomos. A fase de mutação (*mutation*), que também ocorre ao longo da fase de reprodução, possui uma probabilidade de alteração do gene menor do que no *crossover*.

Os Algoritmos Genéticos foram desenvolvidos computacionalmente com o objetivo de fazer uma mímica de alguns processos observados na natureza.

Tanto Redes Neurais como Algoritmos Genéticos participam dos Sistemas que se inspiram na natureza. Ambos simulam os processos naturais e os aplicam na solução de problemas do mundo real. As RNAs baseiam-se no comportamento dos neurônios no cérebro, enquanto que as AGs baseiam-se no princípio básico de Genética Populacional, a variabilidade entre indivíduos em uma população de organismos que se reproduzem sexualmente, o que é produzido pela mutação e pela recombinação dos genes.

AGs computacionais são métodos probabilísticos que, percorrendo todo o espaço de busca, ou seja, todas as possibilidades de solução de um determinado problema, tem por objetivo evoluir de modo a encontrar os cromossomos (amostra ou genótipo) que serão responsáveis pela melhor construção de um organismo (fenótipo) ou solução. Foram inspirados pelos princípios de seleção natural e sobrevivência dos mais aptos, princípios estes que foram tratados no clássico *A origem das espécies* de Charles Darwin. Podemos encontrar em diferentes espécies o fenômeno da competição, que direciona os indivíduos a travar uma luta pelos recursos em disponibilidade na natureza, como água, comida, abrigo etc. Indivíduos com pouco êxito provavelmente terão um número reduzido de descendentes e, adicionalmente, possuirão uma probabilidade maior de não-propagação de seus genes em sucessivas gerações.

Evolução é o processo de funcionamento dos cromossomos propriamente dito, constituindo em essência um progresso contínuo, de um estado para outro mais complexo ou melhor.

John Holland (1975) ficou intrigado com o processo evolutivo. Ele acreditava que se conseguisse um algoritmo computacional com estes princípios, poderia resolver problemas difíceis do mesmo modo que a natureza tem feito como a evolução. Então, começou a trabalhar com cadeias de caracteres e dígitos binários 1's e 0's, que ele chamou de cromossomos. Estes problemas de difícil solução eram, na verdade, de otimização e utilizavam métodos probabilísticos.

Existe uma grande classe de problemas interessantes para a qual não têm sido desenvolvidos algoritmos rápidos. A maioria desses problemas é de otimização, e aparecem em diferentes aplicações. Para alguns problemas da classe não-polinomiais (NP), podemos usar algoritmos probabilísticos e, embora estes algoritmos não garantam o valor ótimo, com um número suficiente mente grande de amostras aleatórias num dado espaço de busca, a probabilidade do erro pode se tornar tão pequena quanto se queira. Para pequenos espaços, os métodos de exaustão clássicos funcionam, entretanto, para grandes espaços de busca, técnicas de Inteligência Artificial devem ser empregadas. Os Algoritmos Genéticos (AG) estão entre estas técnicas.

Aplicações das Redes Neurais nas áreas de Finanças e Administração

Edward Gately (1996) lista algumas aplicações de RNA bem-sucedidas como:

fraude de cartões de crédito; previsão de concordata; mapeamento dos perfis de clientes em cartões de crédito, investimentos, padrões de comportamento; garantias de empenho; *marketing* de produtos; qualificação e classificação de títulos corporativos; qualificação e classificação de títulos municipais; previsão do mercado de títulos; previsão de falências de bancos; seleção de títulos para formar uma carteira (quantidades); previsão de preços correntes; tendência de um estado real; previsão de corte (pessoal etc.); achar regras ótimas de negociações com *commodities*; arbitragem em preços; análise da saúde de corporações financeiras; preço de opções (comparações com modelo de *Black-Scholes*, *Parkinson* etc.); seleção de vendas futuras; análise do mercado de capitais; tomada de decisão na administração; separar/proteger comprovantes de viagem; perfil de risco de garantias; previsão de fluxo de caixa; localizar fuga de impostos; seleção de fundos mútuos; previsão de mudanças na tendência do mercado; previsão de requisitos pessoais; previsão de vida útil das ferramentas e funções em máquinas; seleção de títulos para formar uma carteira (qualidades – betas); encontrar as quantidades ótimas para compra e/ou venda de títulos; entrega de títulos ou *commodities* negociados com o menor custo etc.

Nota

¹ A Teoria Dow (devida a Charles Dow) foi formulada, em sua versão atual, por William P. Hamilton.

Referências Bibliográficas

- CHIAVENATO, I. *Teoria geral da Administração*. 4. ed. São Paulo : Makron Books, 1993. V.2: Abordagens descritivas e explicativas.
- SILVA, C. F. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal Fluminense, 1998.
- DAVIS, L. *Handbook of genetic algorithms*. New York : Van Nostrand Reinhold, 1991.
- HAYKIN, S. *Adaptive filter theory*. 3r. ed. [S.l.] : Prentice Hall, 1996.
- _____, *Neural Network*. 3r. ed. [S.1], Prentice Hall, 1996.
- SOUZA, R.C, CAMARGO, M.E. *Análise e previsão de séries temporais: os Modelos ARIMA*. Ijuí : SEDIGRAF, 1996.
- TAYLOR, F. W. *Princípios de administração científica*. Tradução Arlindo Vieira Ramos. 8. ed. São Paulo : Atlas 1990.
- THOMPSON, C. A. *Ph.D. thesis*, University of Houston, 1975.
- THOMPSON, C. A., SILVA, C. F. HOCHLEITNER, F. Chaotic prediction applied to the Financial Time Series. *Journal of Computational Intelligence in Finance*, v. 7, n. 1, p. 16-25, Jan./Feb., 1999.
- _____, *Neural Network : Dynamic Window to Predict a Chaotic Discrete Time-Varying Data*. In : CONGRESSO DE ADMINISTRAÇÃO, 7., 1998, Rio de Janeiro.