



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### Utilização de Redes Neurais para Correlacionar a Energia Requerida pela Companhia Energética do Ceará e a Precipitação Pluvial.

W. Bezerra<sup>1</sup>, A. K. A. de Castro<sup>2</sup>, R. Campos<sup>3</sup> e J. C. A. Alcócer<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Mestrado em Informática Aplicada - Universidade de Fortaleza akcastro@gmail.com

<sup>2</sup>Mestrado em Informática Aplicada - Universidade de Fortaleza wendelbsilva@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Centro de Ciências Tecnológicas – Universidade de Fortaleza rogerio.campos@unifor.br

<sup>4</sup>Centro de Ciências Tecnológicas – Universidade de Fortaleza jcalcocer@unifor.br

**Palavras-chave:** Energia requerida, Precipitação, Redes Neurais.

#### Resumo

É conhecido que as redes neurais podem ajudar na resolução de problemas diversos no setor elétrico. O presente trabalho mostra a utilização de redes neurais na análise de um problema do setor elétrico brasileiro, em particular no Estado do Ceará. Mostra-se como existe uma correlação entre a energia requerida pela Companhia Energética do Ceará e a precipitação pluvial. Apresentam-se gráficos que comprovam a correlação mencionada, e se apresenta o software desenvolvido para utilizar as redes neurais na previsão da energia elétrica em função da chuva no estado do Ceará. As redes neurais foram treinadas com os dados de chuva e energia dos anos 1974 até 2004. Depois de feito o treinamento da rede neural foi feita uma previsão de cinco anos da energia requerida em função de uma possível precipitação pluvial.

#### 1. Introdução

Qualquer concessionária de energia elétrica gostaria de modelar suas curvas de carga para fazer uma previsão mais próxima do valor real, conseguindo dessa forma, um melhor atendimento aos seus clientes reduzindo os custos.

A quadra invernal do Ceará tipicamente que se inicia em meados de janeiro e termina em meados de maio. A incidência de chuvas nestes meses costuma introduzir uma redução nos níveis de energia requerida observados pelos técnicos da área. Ocorre que as chuvas no Ceará variam no tempo e no espaço, isto é, nem sempre se verificam nestes meses e nem sempre nas mesmas regiões, o que pode acarretar erros nas previsões efetuadas da energia requerida.

Recentemente se mostrou que há um mecanismo que associa a precipitação das chuvas com a curva de demanda de energia fazendo possível que isto seja considerado na previsão de carga. [1] O presente trabalho mostra que a utilização de redes neurais é aplicável à previsão de séries temporais do consumo de energia baseado na energia consumida anteriormente e na previsão da chuva.

As redes neurais artificiais são redes baseadas na rede neural biológica. São composta por várias unidades de processamento, cujo funcionamento é bastante simples. Essas unidades, geralmente conectadas por canais de comunicação que estão associados a determinado peso. As unidades fazem operações apenas sobre seus dados locais, são entradas recebidas pelas suas conexões. O comportamento inteligente de uma rede neural artificial vem das interações entre as unidades de

processamento da rede. A maioria dos modelos de redes neurais possui alguma regra de treinamento, onde os pesos de suas conexões são ajustados de acordo com os padrões apresentados. Em outras palavras, elas aprendem através de exemplos. [2]

A rede neural artificial pode ser dividida em três camadas: Camada de entrada que vai conter os valores reais; Camada(s) intermediária(s) ou camada(s) escondida(s) que realizam o aprendizado; Camada de saída que retornara o resultado obtido. O treinamento é realizado da seguinte maneira. Dado os valores de entrada e o resultado esperado, o algoritmo de treinamento vai mudando os valores dos pesos presente em cada neurônio da camada intermediária de modo que, após os valores de entrada passarem pela camada intermediária, ela resulte no resultado esperado. Para o algoritmo encontra os pesos para a rede, deve-se informar vários exemplos de entrada. [2]

## 2. Procedimento

A propriedade mais importante das redes neurais artificiais é a habilidade de aprender com o ambiente e com isso melhorar seu desempenho. Isso é feito através de um processo iterativo de ajustes aplicado a seus pesos, chamado de treinamento. O aprendizado ocorre quando a rede neural atinge uma solução generalizada para uma classe de problema apresentada.

Para o treinamento da rede neural utilizada foram realizados diversos testes variando os valores de entrada que são utilizados para o treinamento e também os algoritmos de treinamento da rede. Para cada rede neural treinada, era realizada uma porcentagem do erro do valor gerado com os valores reais anteriores, e as redes neurais com melhores resultados eram mantidos e os outros, descartados.

Os testes começaram tendo o valor da chuva prevista e o resultado de energia esperado. Não foi possível convergir. Procedimentos de treinamentos foram realizados depois e após vários testes, a utilização de dados anteriores de chuva e de energia obtiveram o melhor resultado. Nesse caso foram utilizados 12 dados de chuva e 12 dados de energia anteriores além da chuva prevista.

Na última rede treinada foram utilizadas 25 dados de entrada e 1 de saída sendo os dados de entrada: Calculo de Ano+Chuva, 11 chuvas anteriores, previsão da chuva, 11 energias anteriores; como resultado foi informado o valor de energia esperado. O calculo do ano+chuva é dado por  $((\text{Mês}-1)/12+\text{ANO}) * 1000$ , corresponde ao ano mais o mês com um peso de 1000, para que a rede leve mais em consideração esse dado de entrada.

## 3. Software desenvolvido

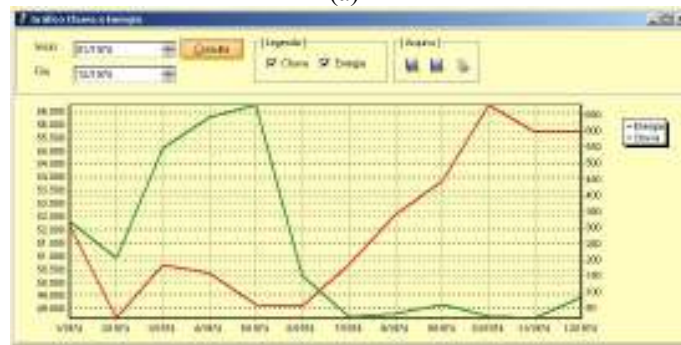
O desenvolvimento do projeto de um sistema abrange várias etapas, desde o projeto de hardware até o projeto da interface com o usuário [3-5]. Embora ainda estejam em uso interfaces baseadas em texto, os usuários de computadores atualmente esperam que os sistemas de aplicações tenham algum tipo de interface gráfica com o usuário [6-7].

Para a execução do presente trabalho fez-se necessário o desenvolvimento de um software que permitisse efetuar a análise dos dados de chuvas e energia. A interface gráfica foi projetada para o ambiente “Microsoft-Windows” com o objetivo de tornar mais fácil o uso do software. Foram estudadas diversas linguagens de programação, orientadas a objeto, para que suas características servissem como base na escolha da linguagem a ser utilizada. As linguagens analisadas foram: Java, IDE Delphi (Object Pascal) versão 5.0 (versão livre) e C++. Considerando as características de cada linguagem e o alvo do trabalho, assim como o conhecimento da equipe e da disponibilidade dos *softwares*, foi escolhido a IDE Delphi para o desenvolvimento da aplicação inicial. A escolha possibilitou o desenvolvimento rápido assim como a geração de um executável independente.

Na figura 1-a, pode ser vista a janela que o usuário percebe quando executa o programa. Neste espaço se pode escolher entre os diferentes menus que o software dispõe. Os menus selecionados correspondem a janelas secundárias que são ativadas com ajuda do mouse.



(a)



(b)

**Figura 1.** (a) Exemplo de janela primária do projeto. Nesta janela o usuário escolhe o que deseja fazer. (b) Janela de análise gráfico dos dados.

Um exemplo de janela secundária de suma importância é aquela para se trabalhar graficamente com os dados, tal e como se mostra na figura 1-b. Nesta janela o usuário pode trabalhar com os dados de tal forma que consegue analisá-los graficamente e pode ver a relação existente entre a chuva e a energia requerida pela COELCE.

Na figura 2 se mostra um outro exemplo de uma janela muito importante para o software, já que é a tela em que são feitas as previsões de energia. Como se observa na figura existe a possibilidade de fazer cálculos anuais, plurianuais e mensais.



**Figura 2.** Tela de previsão de energia utilizando redes neurais.

#### 4. Resultados

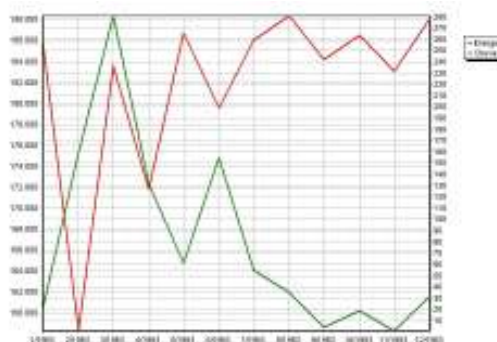
Com ajuda do software desenvolvido pode-se fazer uma análise gráfica que comprova a existência de uma correlação entre a energia requerida pela COELCE e a precipitação pluvial.

Na figura 3 mostra-se o gráfico de chuva e energia para o período histórico de novembro de 1975 a dezembro de 1976. Observa-se neste período que a chuva apresenta um pico em abril de 1976 enquanto que no mesmo mês a energia apresenta um mínimo. Após o término do período de chuvas a energia apresenta um aumento no seu valor. Este comportamento se repete naqueles anos em que o período de chuvas se mantém. Este período é chamado de quadra invernal no Ceará e tradicionalmente vai de meados de fevereiro a meados de junho.



**Figura 3.** Chuva e energia para o período histórico de novembro de 1975 a dezembro de 1976.

Existem alguns períodos históricos em que o comportamento apresenta algumas variações do comportamento estudado até aqui. Na figura 4 pode-se observar o gráfico da chuva e energia para o período histórico de janeiro a dezembro de 1983.



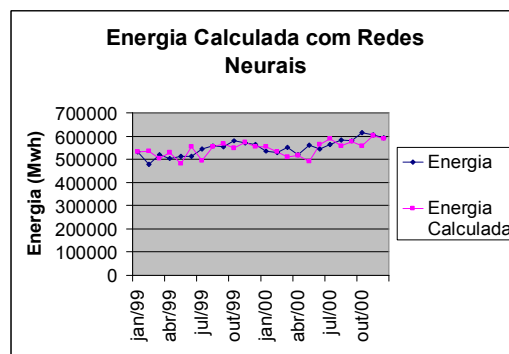
**Figura 4.** Chuva e energia para o período histórico de janeiro a dezembro de 1983.

Quanto aos resultados da previsão das redes neurais foi treinada uma rede neural com os dados de chuva e energia de 1974 até 2005. Foram utilizados 25 dados de entrada e 1 de saída sendo os dados de entrada: Calculo de Ano+Chuva, 11 chuvas anteriores, previsão

da chuva, 11 energias anteriores; como resultado foi informado o valor de energia esperado. O cálculo do ano+chuva é dado por  $((\text{Mês}-1)/12+\text{ANO}) * 1000$ , corresponde ao ano mais o mês com um peso de 1000, para que a rede leve mais em consideração esse dado de entrada.

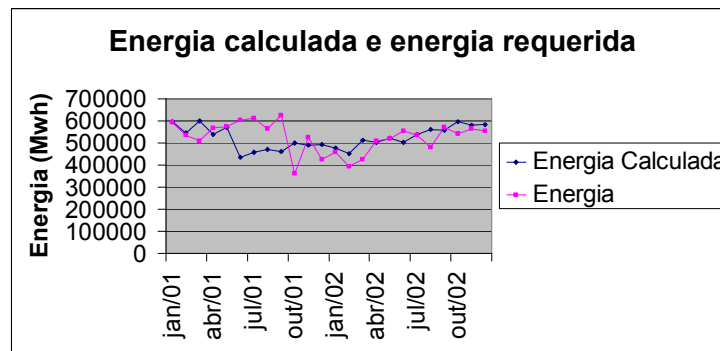
Os dados de chuva e energia de 1974 até 2005 eram conhecidos, assim que o treinamento nos permitiu estabelecer uma rede neural treinada que pudesse fazer uma previsão. O problema de calcular a energia requerida é conseguir uma boa previsão de precipitação pluvial, e deve-se lembrar que o objetivo não era fazer previsões meteorológicas. Mesmo assim tentou-se desenvolver uma metodologia para fazer estimativas sobre a precipitação dos próximos cinco anos.

Para mostrar a utilização das redes neurais pode-se observar na figura 5 a energia requerida pela COELCE e a energia calculada com a utilização das redes neurais para o período de janeiro de 1999 até dezembro de 2000. Observe-se como o cálculo feito com a rede neural consegue acompanhar o consumo real de energia.



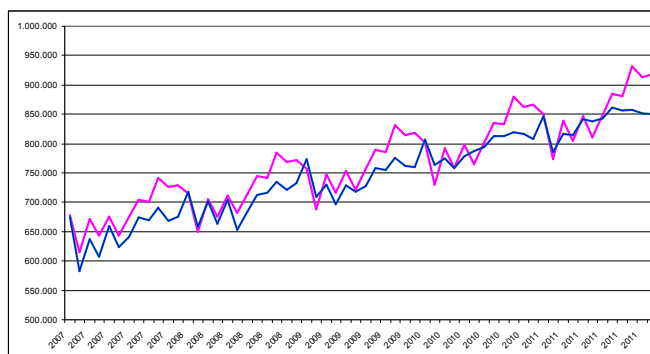
**Figura 5.** Energia requerida pela COELCE e a energia calculada com a utilização das redes neurais para o período de janeiro de 1999 até dezembro de 2000.

Deve-se considerar que quando há eventos catastróficos a rede neural pode ficar confusa e não acompanhar os acontecimentos. Isto acontece, por exemplo, com o ano de 2001 em que houve o denominado apagão do setor elétrico. Isto é ilustrado na figura 6 onde se pode observar como a energia requerida teve uma brusca queda e a energia calculada com a utilização das redes neurais não conseguiu acompanhar o comportamento anômalo.



**Figura 6.** Energia requerida pela COELCE e calculada com a utilização das redes neurais para o período de janeiro de 2001 até dezembro de 2002.

Depois de treinada a rede neural e de feitos diversos testes fez-se uma previsão da energia requerida pela COELCE para um período de cinco anos. Isto foi feito através de um estudo dos dados meteorológicos de 30 anos. O resultado da previsão se apresenta na figura 7. É necessário salientar que mudando a previsão meteorológica os resultados são diferentes e que ao acontecer eventos muito diferentes do habitual a rede neural, assim como os métodos estatísticos pode dar resultados errados. Lembre-se mais uma vez que o projeto nunca teve como objetivo fazer previsões meteorológicas sobre precipitação pluvial. Observe-se que como comparação foi utilizado um método tradicional estatístico de se fazer previsões em séries temporais.



**Figura 7.** Previsão da energia requerida da COELCE para o período de 2007 até 2011, com duas metodologias. Em rosa se apresenta o resultado das previsões estatísticas e em azul o resultado das redes neurais.

## 5. Conclusões

Neste trabalho foi mostrado que há uma relação entre a energia requerida e a precipitação pluvial. Essa relação não é fácil de ser inserida nas previsões dada a dificuldade de fazer previsões de precipitação.

Encontramos graficamente que na maioria das vezes quando há uma precipitação a energia requerida diminui, mas também encontramos a possibilidade da energia não diminuir com a chuva.

Mostramos que as redes neurais são uma ferramenta muito útil para o setor elétrico e pudemos realizar previsões da energia requerida pela COELCE com esta técnica.

## VI. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Companhia Energética do Ceará – COELCE pelo suporte financeiro dado ao projeto “Avaliação do Grau de Correlação entre as Chuvas no Estado do Ceará e a Energia Requerida pela COELCE”. Também gostariam de agradecer à Universidade de Fortaleza – UNIFOR pelo apoio dado para a realização do projeto de pesquisa mencionado.

## VII. Referências Bibliográficas

- [1] J. C. A. Alcócer e R. Campos, Relatório Final do Projeto Avaliação do Grau de Correlação entre as Chuvas no Estado do Ceará e a Energia Requerida pela COELCE, Fortaleza, 2007.
- [2] M. Valença, Aplicando Redes Neurais, Um Guia Completo, Editora Livro Rápido – Elógica, Olinda Pernambuco 2005.
- [3] LabiUtil, *Abordagem Ergonômica para IHC*, apostila de curso, Laboratório de Utilizabilidade INE/UFSC, Florianópolis, Brasil, 2000.

- [4] Paula Filho, W. de Pádua, *Engenharia de Software: Fundamentos, Métodos e Padrões*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2001.
- [5], R. S. Pressman, *Engenharia de Software*, Traduzido por Jose Carlos Barbosa dos Santos. São Paulo, Pearson Education do Brasil e Makron Books, 1995.
- [6] I. Somerville, *Engenharia de Software*, Traduzido por Mauricio de Andrade. São Paulo: Pearson Education do Brasil e Addison-Wesley, 2005.
- [7] H. V. Rocha, M. C. Baranauskas, *Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador*, Campinas, São Paulo NIED?UNICAMP, 2003.