



**XXI SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS PARA O PREENCHIMENTO DE FALHAS EM SÉRIES DE DADOS DE VELOCIDADE DE VENTO

Francisco Daniel L. Silva(*)
UFC
Ruth Pastora Saraiva Leão
UFC

Paulo Cesar Marques de Carvalho
UFC
Alexandre Araújo Costa
UECE

RESUMO

É crescente a utilização de fontes renováveis de energia em todo o mundo e o Brasil cada vez mais inclui a energia eólica à sua matriz energética. Em paralelo ao crescimento de plantas eólicas instaladas no país, crescem os estudos e pesquisas nas áreas de prospecção, medição e previsão de potencial eólico. O estado do Ceará se destaca no país por seu elevado potencial eólico e conta com uma rede de 76 estações meteorológicas automáticas, que proporcionam medições on-line de velocidade e direção do vento, dentre outras variáveis, a uma altura de 10 m. A presente pesquisa utiliza a técnica de rede neural recorrente para preencher lacunas presentes nas séries temporais de dados de velocidade do vento. O melhor resultado obtido no preenchimento de falhas foi na cidade de Catarina com um índice de EMPA de 12,55%.

PALAVRAS-CHAVE

Preenchimento de falhas, Redes Neurais, Previsão eólica, Estações meteorológicas, Séries temporais

1.0 - INTRODUÇÃO

O estado do Ceará se destaca no país por seu elevado potencial eólico, característica que é evidenciada nos leilões de energia com grande número de projetos contratados. Estes, somados aos projetos já em operação, conduzem o estado à posição de líder nacional.

O estado do Ceará conta atualmente com uma rede operacional de 76 estações meteorológicas automáticas mantidas pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Algumas dessas estações foram instaladas em 2006, mantendo desde então um registro quase contínuo das variáveis de velocidade e direção dos ventos, temperatura, umidade e pressão atmosférica. No entanto, tem sido verificado que o conjunto dos equipamentos destinados ao processamento dos dados meteorológicos está sujeito a eventuais falhas. A ausência de dados é um problema comum em medidas de longo prazo, seja dentre outras razões por falhas dos equipamentos, falta de manutenção do sistema, calibração imprecisa de instrumentos, erro na coleta de dados ou controle insuficiente de qualidade dos dados.

As falhas ou lacunas no banco de dados prejudicam os estudos de previsão que necessitam de dados contínuos e confiáveis. O estudo de métodos para o preenchimento de dados em séries temporais tem o objetivo de contribuir para o avanço de pesquisas na compreensão do comportamento da variável climática estudada. Séries temporais completas melhoram a qualidade de previsões. Previsões mais precisas têm por objetivo dar suporte ao planejamento e à operação integrada dos parques eólicos com as usinas convencionais de produção de energia elétrica.

Diferentes técnicas são utilizadas para preencher as lacunas em bancos de dados meteorológicos, destacando-se a aplicação de redes neurais artificiais (RNA). Na presente pesquisa foram escolhidas cidades no estado do Ceará com características geográficas distintas (litoral, sertão e serra) para treinamento e aplicação da rede neural no preenchimento de falhas dos dados das estações meteorológicas da FUNCEME. Foram utilizados

como dados de treinamento as variáveis dia, mês, ano, hora, temperatura, umidade e velocidade do vento, com o objetivo de preencher lacunas na variável velocidade do vento, sendo estes valores tomados em leituras com intervalos de três horas. Os anos de 2006 a 2008 foram utilizados para treinamento e o de 2009 para validação. O critério de avaliação foi o Erro Médio Percentual Absoluto (EMPA). Como observado na literatura, à aplicação de RNA demonstrou assim bons resultados, que podem ainda ser melhorados com a inclusão das demais variáveis disponíveis nas estações meteorológicas para incrementar o treinamento, assim como também a investigação comparativa de diferentes técnicas de redes neurais para a finalidade de preenchimento de falhas em séries temporais.

1.1 Setor Elétrico brasileiro: situação atual e evolução da matriz eólica

A capacidade total de geração elétrica no Brasil é de 114 GW em março de 2011, de acordo com os dados da agência reguladora brasileira ANEEL. O sistema de geração no Brasil é predominantemente hidroelétrico com 71% do total do suprimento proveniente da hidroeletricidade e 26,4% da termoeletricidade. Isso significa que as usinas termoeletricas funcionam como complemento ao sistema hidroelétrico predominante. O Brasil também possui duas usinas de energia nuclear Angra-1 com 630-MW e Angra-2 com 1.350-MW que representam 1,76% da capacidade de suprimento de energia elétrica no país.

A energia eólica está presente na matriz energética ainda com um percentual pequeno de apenas 0,81% da capacidade de geração no Brasil. No entanto, o volume negociado nos últimos leilões somado ao ganho de escala esperado para os novos certames indicam a inserção competitiva da fonte eólica na matriz de geração de energia elétrica no país. A previsão é que em 2019 a geração eólica atinja uma potência total de 6.041 MW, o que equivale aos 6.400 MW das usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau, em construção no rio Madeira, no estado de Rondônia.

O potencial da energia eólica no Brasil é mais intenso durante a estação seca que compreende o período entre os meses de julho a dezembro, coincidindo com os meses de menor intensidade de precipitação de chuvas. Isso coloca o vento como uma potencial fonte suplementar de energia gerada por hidrelétricas (1). A combinação de energia eólica e hidráulica permite um fornecimento anual mais seguro de energia do que somente hidroelétricas.

1.2 Comportamento climático característico do nordeste brasileiro

A circulação atmosférica sobre a parte norte do Nordeste do Brasil, onde o estado do Ceará está localizado, é dominada pelos ventos alísios e o deslocamento norte-sul anual da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico. Isto leva a um ciclo anual bem estabelecido em que a velocidade do vento tende a diminuir durante a estação chuvosa (fevereiro a maio), quando a ZCIT alcança sua posição mais ao sul, e a aumentar na estação seca, especialmente entre agosto e novembro. A variabilidade interanual do regime de vento é significativa apenas na estação chuvosa, quando a posição da ZCIT é muito sensível às flutuações da temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico equatorial e do Atlântico tropical. Anos com precipitação acima da média normalmente apresentam ventos mais fracos durante os meses da estação chuvosa, enquanto que ventos mais fortes ocorrem na precipitação abaixo da média, geralmente associada com a fase quente do fenômeno El Niño Sul e/ou oscilação dos padrões de mais quente (fria) do que a temperatura média da superfície do mar no Atlântico tropical Sul (Norte).

1.3 Estações meteorológicas do estado do Ceará

Para a varredura da medição das condições meteorológicas no estado do Ceará, a FUNCEME dispõe de 76 estações meteorológicas automáticas, as quais estão destacadas na Figura 1.

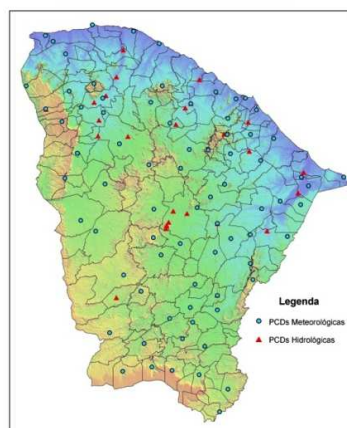






Figura 1 Rede de estações meteorológicas da FUNCEME.

As estações realizam medições *on-line* de velocidade e direção do vento a uma altura de 10 m, temperatura, umidade, radiação solar incidente e pressão e precipitação em intervalos de 3 horas, sendo respectivamente 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 horas, totalizando oito leituras por dia, disponíveis *on-line* no endereço eletrônico <http://www.funceme.br/areas/monitoramento/pcd-plataforma-de-coleta-de-dados>.

Para o estudo de estimativa de velocidade de vento, foram selecionadas 4 cidades, como Granja e Maranguape no litoral, Catarina na serra e Solonópole no sertão, com suas respectivas localizações geográficas e características climáticas descritas na Tabela 1. O critério de seleção foi baseado na escolha das cidades que apresentaram as séries mais completas dos dados coletados pelas estações, que embora sendo mais completos ainda assim apresentavam falhas.

Tabela 1 Cidades selecionadas para o estudo.

Litoral	Litoral	Sertão	Serra
Granja	Maranguape	Solonópole	Catarina
			
Clima: Semiárido	Clima: Tropical quente semiárido	Clima: Tropical quente semiárido	Clima: Tropical quente semiárido
Altitude: 10 metros acima do nível do mar.	Altitude: 68,57 metros acima do nível do mar.	Altitude: 170 metros acima do nível do mar.	Altitude: 580 metros acima do nível do mar.

2.0 - ESTADO DA ARTE DE PREENCHIMENTO DE FALHAS EM SÉRIES TEMPORAIS

A ausência de dados meteorológicos em medições de longo prazo é um problema comum para os que trabalham neste campo nos países onde a inserção da energia eólica é principiante. Dentre as razões para as lacunas em medições estão principalmente a falha do equipamento. Essas lacunas na base de dados afetam a qualidade dos dados e, como consequência, a precisão da avaliação a ser implementada.

Diferentes técnicas são usadas e vêm sendo investigadas para preencher essas lacunas.

Estudo foi realizado na bacia Gatineau no nordeste do Canadá para preenchimento de vazios na série de dados de precipitação diária e temperaturas extremas diárias (2). Neste estudo foram investigadas seis tipos diferentes de redes neurais artificiais com modelo perceptron multicamadas (MLP), quais sejam:

- Rede Perceptron Multi-Camadas padrão (MLP)
- Rede com atraso no tempo feedforward (TLFN)
- A rede generalizada da função de base radial de rede (RBF)
- As rede neurais recorrentes (RNN) e suas variações:
 - Rede neural recorrente com atraso de tempo (TDRNN)
 - Rede fuzzy-neural (CFNN).

Estas redes neurais artificiais foram comparadas com os diferentes métodos de otimização para preenchimento de registros diários de precipitação total e séries diárias de temperatura extremas. O objetivo principal desta análise global foi identificar que tipo de modelo baseado em redes neurais artificiais seria mais adequado para preenchimento de falta de dados meteorológicos diários. Este estudo demonstrou que a MLP padrão e a TLFN são os mais eficazes na plenitude tanto na precipitação diária como nos registros diários de temperatura extremas.

Na área da hidro-climatologia as técnicas de preenchimento de lacunas também são necessárias para um melhor entendimento dos padrões de abastecimento de água no espaço e no tempo, bem como para obter uma maior confiabilidade de previsão. Em (3) é desenvolvido um modelo estatístico baseado em um tipo de rede neural artificial, chamado de máquina de vetor suporte (SVM), para preencher lacunas nos dados diários de precipitação a partir de várias estações de medição da chuva. O desempenho do modelo SVM foi comparado com o desempenho

obtido pelo método dos vizinhos (KNN) e regressão logística. Um melhor desempenho do método SVM foi observado para o preenchimento de lacunas em dados binários de chuva.

As RNAs são também aplicadas para os dados de controle de qualidade das séries temporais ambientais e para a reconstrução dos dados faltantes nos seguintes problemas: i) previsão a curto e médio prazo das concentrações de poluentes atmosféricos em áreas urbanas, ii) interpolação e extrapolação de temperatura máxima diária, iii) substituição da distribuição do tempo com a informação distribuída espacial. Dados observados versus preditos são comparados para testar a eficácia da RNA na simulação de processos ambientais. Os resultados confirmam a RNA como uma melhoria de modelos clássicos e mostram a utilidade do RNA para a restauração de séries temporais (4).

Outro estudo assume que a presença de valores ausentes em um conjunto de dados pode afetar o desempenho de um classificador construído com esse conjunto de dados como uma amostra de treinamento. Vários métodos têm sido propostos para tratar os dados em falta e o utilizado com maior frequência é a imputação dos valores em falta de uma instância. Neste estudo, foi analisada a melhoria do desempenho em Funções de Base Radial Networks, por meio da utilização de vários métodos de imputação na tarefa de classificação com a falta de valores. O estudo foi realizado utilizando conjuntos de dados reais com os valores em falta, e conjuntos de dados artificiais com valores em falta. Os resultados obtidos mostram que a cobertura do evento oferece uma sinergia muito boa com redes neurais com função de base radial, permitindo superar o impacto negativo da presença de valores em falta até um certo ponto (5).

3.0 - APLICAÇÃO DE REDES NEURAI PARA O PREENCHIMENTO DE FALHAS EM DADOS DE VELOCIDADE DE VENTO NO ESTADO DO CEARÁ

Foi considerada uma lacuna em uma das leituras que é feita a cada três horas pelo sensor de velocidade do vento. O objetivo é preencher a lacuna com um dado sugerido pela rede neural artificial. Nesta falha os dados imediatamente antes e depois desta leitura faltante serão usados como dados de entrada para o treinamento da rede neural.

Além de existirem dados faltantes também ocorrem dados absurdos, como por exemplo temperaturas próximas a zero para o sertão cearense. Para o pré- tratamento dos dados foram aplicados filtros específicos a cada variável estudada para a retirada dos valores esdrúxulos.

Basicamente os procedimentos de utilização de uma rede neural se dividem em duas partes, o treinamento e a validação. No treinamento são apresentados o histórico de padrões de entrada com seu respectivo alvo a serem aprendidos pela rede. Na fase de validação a rede já treinada recebe entradas de outro período de tempo e aplica o que foi aprendido no treinamento para estimar valores.

Como se trata de um tratamento de ausência de dado então existem dados de antes e depois da lacuna. Assim o arquivo de entrada foi formado por quatro posições antes e quatro depois do instante com falha, como demonstrado na figura 2.

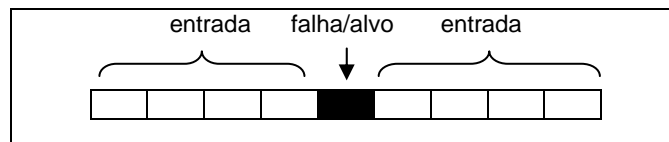


Figura 2 Montagem dos dados de treinamento

Para o treinamento foram utilizados os anos de 2006 a 2008, e para **validação** foi utilizado o ano de 2009. A metodologia passo a passo da construção dos arquivos de treinamento é mostrado na Figura 3.

Na Figura 3 (a) há uma coluna que representa dados de velocidade do vento com uma falha na posição 7, na Figura 3 (b) foi estruturada a janela de entrada de quatro posições antes e depois do alvo de treinamento. Pode-se perceber que a falha se propaga e corrompe o arquivo de treinamento. Numa etapa seguinte, todas as linhas que possuem falhas são eliminadas para que a rede treine com situações reais sem falhas. À medida que se aumentam as variáveis de entrada com falhas, como a inserção de dados de temperatura, a quantidade de linhas eliminadas aumenta e o tamanho do arquivo de entrada é menor devido a cada variável ter as suas próprias falhas. Ganha-se em informação mas se perde em volume de dados de treinamento.

	entradas				alvo	entradas			
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6	6	7	8	9	10	11	12	13	14
7	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8	8	9	10	11	12	13	14	15	16
9	9	10	11	12	13	14	15	16	17
10	10	11	12	13	14	15	16	17	18
11	11	12	13	14	15	16	17	18	19
12	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(a)	(b)								

Figura 3 - Metodologia da construção do arquivo de treinamento.

As variáveis de entrada utilizadas foram divididas em três grupos de ensaios, sendo estes o grupo (A) velocidade do vento, (B) velocidade do vento, temperatura e umidade, (C) velocidade do vento, umidade, temperatura, dia, hora, mês.

A RNA utilizada foi a rede Elman que é um tipo de rede recorrente. As Redes Neurais Recorrentes (RNR) diferenciam-se da grande maioria das redes neurais por apresentar uma estrutura de realimentação que faz com que o fluxo da informação circule da camada escondida para a camada de entrada. A repetição desse fluxo de informações consiste no treinamento da rede (6).

Para preenchimento de falhas de velocidade de vento os dados históricos são utilizados para a aprendizagem. Todos os neurônios da rede são conectados linearmente. A conexão entre cada neurônio possui um peso. A saída dos neurônios da camada escondida e dos neurônios de saída são convertidas em valores não lineares através da função sigmoide. O método de treinamento utilizado é o *Backpropagation*, a função de aprendizagem é a do gradiente descendente.

O sinal de saída é então comparado com o sinal desejado. A minimização do erro é buscada pelo algoritmo.

Todos os parâmetros da rede foram estabelecidos através do método de tentativa e erro.

A Tabela 2 mostra a descrição dos ensaios, com respectivos tamanhos de janela de entrada e saída.

Tabela 2 Descrição dos ensaios

Entradas	Janela entrada (antes e depois do alvo)	Janela saída Falha - velocidade	Treino		Arquivo de teste (VALIDAÇÃO) ANO	Tipo da rede
			Arquivos de entrada ANO	Alvo		
(A), (B) ou (C)	4	1	2006 2007 2008	2006 2007 2008	2009	Elman 32 Neurônios

Foram criadas redes Elman com 32 neurônios na camada intermediária e 600 épocas de treinamento.

Para os dados de treinamento de 2006 a 2008, com oito leituras diárias tomadas a cada três horas o arquivo completo (sem falhas) para cada variável deveria ter 8767 dados, logo para cada variável de entrada escolhida foi calculada individualmente a porcentagem de falhas presentes no arquivo de dados. Em seguida foi calculada a porcentagem total de falhas para cada cidade; o mesmo procedimento foi realizado nos dados de 2009 usados para validação, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 Porcentagem de dados com falha por variável e por cidade

	2006 à 2008					2009			
	Temperatura	Umidade	Velocidade do vento	TOTAL		Temperatura	Umidade	Velocidade do vento	TOTAL
Catarina	9,27 %	7,28 %	8,06 %	8,20%		3,49%	1,71%	2,7%	2,6%
Maranguape	28,94 %	15,91%	26,02 %	23%		53,28%	1,4%	43,38%	32,7%
Granja	23,59 %	15,92 %	16,44 %	18,65%		9,08%	1,4%	1,9%	4,14%
Solonópole	35,76 %	28,31 %	13,26 %	25,78%		59,11%	55,89%	32,93%	49,31%

Observa-se que a cidade de Catarina apresentou menor quantidade de dados faltantes, tanto nos dados usados para treinamento quanto nos dados usados para validação. A cidade de Maranguape apresentou maiores índices de dados faltantes de velocidade do vento, 26% para dados de treinamento e 43,38% para dados de validação. Para cada cidade foram realizados 3 ensaios variando as entradas, o erro da correção foi avaliado pelo EMPA. A tabela 4 apresenta o comparativo dos resultados dos ensaios de preenchimento das falhas.

Tabela 4 - Comparativo de ensaios

Ensaio		
cidade	Entradas	EMPA (Erro Médio Percentual Absoluto) Elman 32 N
Catarina	(A) Velocidade do vento	12,55%
	(B) Velocidade do vento, Temperatura Umidade	15,37%
	(C) Velocidade do vento, Umidade Temperatura, Dia, hora, mês	18,47%
Maranguape	(A)	14,59%
	(B)	20,62%
	(C)	22,63%
Granja	(A)	29,95%
	(B)	53,00%
	(C)	42,80%
Solonópole	(A)	39,29%
	(B)	35,84%
	(C)	35,07%

O melhor desempenho foi alcançado na cidade de Catarina, 12,55% tendo como dados de entrada a velocidade do vento.

A Figura 4 exibe os dados reais e os dados previstos do ano de 2009 do ensaio de melhor desempenho da cidade de Catarina. Pode-se observar que os dados previstos seguem a tendência dos dados reais.

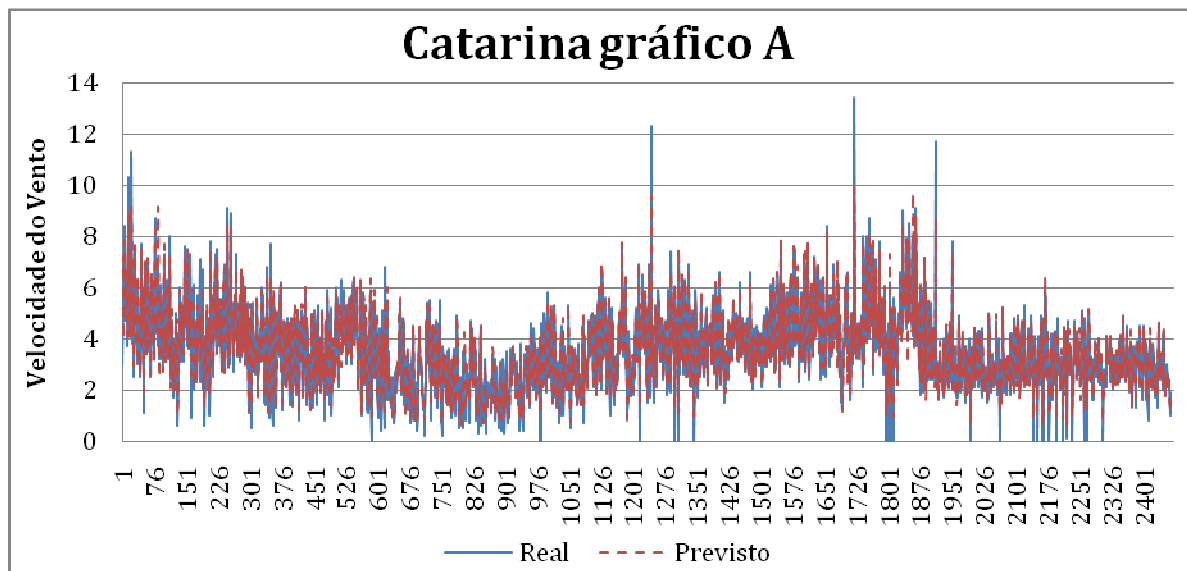


Figura 4 – Dados reais versus dados previstos, Catarina ensaio A

4.0 - CONCLUSÃO

A cidade de Catarina que apresentava menor número de falhas em seus dados originais, de 8,2% para dados de treinamento e 2,6% para dados de **validação**, foi a que resultou em melhor desempenho em preencher lacunas da dimensão proposta na metodologia, com um índice de EMPA de 12,55%. Isso se dá ao fato da rede poder aprender com uma maior gama de situações reais e assim se tornar mais apta a chegar a estimativas corretas diante das novas situações propostas na validação.

Havia a expectativa de melhora do desempenho com o acréscimo de dados de entrada nos ensaios B e C, porém esta expectativa não foi observada. Quando se acrescentam entradas no treinamento da rede, o número de entradas de treinamento reduz devido a esta variável acrescentada também possuir falhas que não podem efetivamente compor uma informação válida para o treinamento da rede.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SEINFRA – Secretary of Infrastructure, Government of State of Ceará, (2001), Wind Energy Resource Atlas of State of Ceará, Brazil.
- (2) P. COULIBALY, N.D. EVORA. (2007). Comparison of neural network methods for infilling missing daily weather records. Journal of Hydrology. (July 2007), 341 (1-2), pg. 27-41.
- (3) CARLOS HENRIQUE RIBEIRO LIMA. (2010). Preenchimento de Falhas em Dados Espaciais Binários de Precipitação Utilizando Máquinas de Vetor de Suporte (Support Vector Machines) Departamento de Estatística Universidade de Brasília. XIX Sinape (Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística). São Pedro-SP.
- (4) F. BENVENUTO, A. MARANI. (2001). Neural Networks For Environmental Problems: Data Quality Control And Air Pollution Nowcasting. Global Nest: the Int. J. Vol 2, No 3, pp 281-292, 2000 Copyright© 2000 GLOBAL NEST Printed in Greece.
- (5) JULIÁN LUENGO, SALVADOR GARCÍA, FRANCISCO HERRERA. (2010). A study on the use of imputation methods for experimentation with Radial Basis Function Network classifiers handling missing attribute values: The good synergy between RBFNs and EventCovering method. Neural Networks 23 406_418.
- (6) MARK HUDSON BEALE, MARTIN T. HAGAN, HOWARD B. DEMUTH, Neural Network Toolbox™ 7 User's Guide.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Ruth Pastôra Saraiva Leão. Fortaleza/1955, possui graduação em Engenharia Elétrica em Sistemas de Potência pela Universidade Federal do Ceará, doutorado em Engenharia Elétrica por Loughborough University of Technology, Inglaterra, em Segurança na Operação de Sistemas de Potência e pós-doutorado por Kassel Universität e Institut für Solare Energieversorgunstechnik e.V. - ISET, Kassel Alemanha, em Integração de Geração Eólico-elétrica à Rede Elétrica. É graduada em Administração de Empresas pela Universidade Estadual do Ceará. É professora Associada III no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará. As áreas de interesse são qualidade de energia elétrica, integração de sistemas eólicos à rede elétrica e automação de sistemas elétricos.



Paulo Cesar Marques de Carvalho. Nascido em Fortaleza-CE, em 1963. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela UFC (1989), mestrado em Engenharia Elétrica pela UFPB (1992) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Paderborn, Alemanha (1997). Desde 1998 é professor do Departamento de Engenharia Elétrica da UFC. Tem atividades de ensino, pesquisa e extensão nos seguintes temas: geração fotovoltaica, geração eólica e biodigestores. Possui mais de 100 artigos científicos publicados a nível nacional e internacional. É autor do livro “Geração Eólica”.

Alexandre Araújo Costa, Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 2, Alexandre Araújo Costa é Bacharel em Física pela Universidade Federal do Ceará (1992), Mestre em Física pela Universidade Federal do Ceará (1995), Doutor em Ciências Atmosféricas pela Colorado State University (2000), com Pós-Doutorados pela Universidade Federal do Ceará (2000-2001) e pela Universidade de Yale (2004-2005). Foi Gerente do Departamento de Meteorologia e Oceanografia da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (2005-2008) e atualmente é Professor Titular da Universidade Estadual do Ceará. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Meteorologia Física, atuando principalmente nos seguintes temas: Microfísica e Macrofísica de Nuvens, Modelagem Atmosférica, Climatologia Física e Meteorologia Aplicada. É Bolsista de Produtividade do CNPq, Nível 2.



Francisco Daniel Lima Silva. Nascido em Fortaleza-CE 1980. Possui graduação em Mecatrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará (2006), mestrado em Engenharia Mecânica com ênfase em energia na Universidade federal do Rio Grande do Sul (2008), Está cursando doutorado em engenharia elétrica na Universidade Federal do Ceará (2009). Tem interesse nas áreas de automação , engenharia elétrica, simulação computacional de edificações, refrigeração e conforto térmico, energias renováveis com ênfase em Energia Solar Fotovoltaica, energia eólica, previsão de potencial eólico e inteligência artificial.