

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ**

Victor Costa Melo

**GERENCIAMENTO DE FALHAS EM REDES DE ENERGIA
UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAS**

**ARARANGUÁ
2016**

VICTOR COSTA MELO

GERENCIAMENTO DE FALHAS EM REDES DE
ENERGIA UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAS

**Trabalho de Conclusão de Curso sub-
metido à Universidade Federal de
Santa Catarina, como requisito neces-
sário para obtenção do grau de Bacha-
rel em Engenharia de Computação**

Araranguá, dezembro de 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

VICTOR COSTA MELO

Esta Monografia foi julgada adequada para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação, sendo aprovada em sua forma final pela banca examinadora:

Orientador(a): Prof. Dr. Analucia
Universidade Federal de Santa Catarina -
UFSC

Prof. Dr. Huguinho
Universidade Federal de Santa Catarina -
UFSC

Prof. Dr. Zezinho
Universidade Federal de Santa Catarina -
UFSC

Prof. Dr. Luizinho
Universidade Federal de Santa Catarina -
UFSC

Araranguá, 12 de dezembro de 2016

Agradecimentos

ou Acknowledgements, se em inglês

Opcional

Resumo

Descrição geral da empresa (natureza, mercado, processos, etc.), problema-foco atacado no PFC, o que foi feito, principais resultados atingidos, etc. Se o documento for escrito em outra língua que não o Português, então é necessário fazer um Resumo Estendido em Português, ao invés deste resumo enxuto.

Palavras-chave:.

Abstract

Resumo em Inglês

Keywords: Palavras Chaves.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Modelo Conceitual INPT	24
Figura 2 – Maiores Blecautes no Mundo	29
Figura 3 – Aumento da Utilização de Termelétricas no Brasil	30

Lista de tabelas

Lista de abreviaturas e siglas

Lista de Siglas

Sumário

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Problemática	20
1.2	Objetivo	22
1.2.1	Objetivo Geral	22
1.2.2	Objetivos Específicos	22
1.3	Organização	22
2	<i>SMART GRIDS</i>	23
2.1	Definição	23
2.1.1	Estado da Arte	25
2.2	Sistema de Gerenciamento de Falhas	26
2.3	Levantamento das principais Falhas no Brasil	29
3	REDE NEURAIS ARTIFICIAIS	33
3.1	Modelos de RNAs	33
3.2	Algoritmos de Aprendizado	33
4	MODELAGEM DA RNA	35
4.1	Aquisição do conhecimento	35
4.2	Modelo	35
4.3	Testes	35
4.4	Exemplos de RNAs	35
5	RESULTADOS	37
6	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	41

1 Introdução

Durante todo tempo que se conhece a energia elétrica somente uma pessoa apostou na transmissão desta pelo ar. Nikola Tesla, famoso cientista austríaco, foi o precursor da transmissão de energia sem fio. Ainda no século XIX Tesla conseguiu acender uma lâmpada sem o uso de qualquer cabo de energia, através de um processo chamado "indução eletrodinâmica". Em 1988, um grupo de estudos construiu o primeiro protótipo que dispensava cabo de alimentação. Essa tecnologia foi patenteada pela empresa da universidade onde foi criada. Em 2008, a Intel conseguiu reproduzir os modelos de Tesla com iluminação satisfatória [Nikola 2007].

O processo físico de transmissão da energia elétrica sem a utilização de cabos é exatamente o mesmo realizado nas telecomunicações, com a diferença que o foco da energia é a eficiência da entrega. A eficiência da entrega quer dizer a capacidade que o equipamento tem de converter a energia recebida. Essa garantia ainda tem um custo elevado para ser implantada em larga escala.

Por isso existe a necessidade de distribuir energia produzida nas usinas, seja ela térmica, hidráulica, termo-nuclear, eólica ou solar... até os centros urbanos, onde a energia é de fato consumida. Desta maneira, surge uma demanda pela construção das redes de energia elétrica, esta energia sai de seus geradores passa por cabos revestidos e isolados, presos em grandes postes de metal. À este conjunto dá-se o nome de *Rede de Transmissão de Energia Elétrica*, esta rede se confunde com a própria topografia das cidades, pois se divide por ruas e avenidas para abranger todas as unidades consumidoras [AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL 2016].

No Brasil a classificação do nível de tensão de operação é medido em Kilo Volt. Para cada faixa de tensão é designada uma linha de transmissão, são elas:

- A1 - tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- A2 - tensão de fornecimento de 88kV a 138 kV; e,
- A3 - tensão de fornecimento de 69 kV.

O Brasil Conta, em 2015, com mais de 77 milhões de "Unidades Consumidoras"(UC), termo que corresponde ao conjunto de instalação/equipamentos elétricos caracterizados pelo recebimento de energia elétrica em um só ponto de entrada, com medição individualizada e correspondente a um único consumidor. Do total de UCs brasileiras, 85% são residências citeAGENCIANACIONALDEENERGIAELETRICA-ANEEL2016.

Sabe-se que com uma quantidade tão grande de UCs o risco de desligamentos forçados (devido a falhas) no *Sistema de Transmissão de Energia* é iminente. Um exemplo são os grandes apagões que aconteceram no ano de 2001 e 2002, derivados da falta de planejamento da distribuição de energia e dependência brasileira das hidrelétricas. Fato que se repetiu em 2015, porém o motivo foi a má distribuição no fornecimento. A sobrecarga de uma usina enquanto outra próxima tinha sobras na entrega de energia, ambas na mesma região [Pinto]. No período de 1º de agosto de 2014 a 31 de julho de 2015 a ANEEL - Agência Nacional de Energia elétrica realizou uma análise sobre estas falhas.

Nesta análise foram selecionadas 50 linhas de transmissão e 28 subestações, responsáveis por 1.142 desligamentos forçados, o que representou 34 % do total falhas no período [AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL 2016]. As falhas encontradas estão distribuídas em quatro grandes grupos, são eles: meio ambiente, terceiros (Vandalismo, Queimadas e etc), falha humana, falha em componentes e outros (sobrecarga, baixa tensão de fornecimento, poste podre, chave fraca entre outros). Salienta-se que o presente trabalho deverá se concentrar nas falhas providas do grupo: "Falha em componentes e outros" [Abdel, Jaradat e Langari 2009].

A própria ANEEL já está tomando medidas para a diminuição dos desligamentos forçados que englobam as falhas. Desligamentos forçados podem ser entendidos como qualquer fator, desejável ou não que tira a rede de energia de funcionamento [AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL 2016].

1.1 Problemática

Nos Estados unidos e União Europeia as *Redes de Transmissão de Energia Elétrica* são inteligentes e implementam modelos de sistemas conhecidos como *Smart Grids* (SG). Os SGs começaram com a ideia de obter uma infraestrutura mais avançada para a medição do consumo de energia elétrica, porém com o passar do tempo ficou constatado que essa estrutura proporciona uma gestão energética mais confiável, otimiza a utilização da energia, suporta o fornecimento híbrido e etc. A SG é composta de alguns sub-sistemas tais como o gerenciador de falhas que faz o prognóstico das falhas mais comuns na rede e blinda o sistema contra elas.

O gerenciador de falhas é parte fundamental de uma Smart Grid pois ele é o sentinela do sistema. Tem o papel de catalogar todos os tipos de falhas que já ocorreram na rede e prevenilas quando possível, quando não, deve tolerá-las. O termo tolerar significa que a falha deve ser percebida e tratada ao mesmo tempo que a rede de energia continua executando normalmente. Na maioria dos sistemas de energia não é usual contar com a tolerância pois o fornecimento de energia é algo crucial. Por isso o gerenciador de falhas trabalha pensando sempre no futuro e prevenindo a rede de cair [Swarup e Chandrasekharaiah

1991].

Tendo em vista que o gerenciador precisa conhecer as falhas do sistema, é necessário de um mecanismo que possibilite alimentá-lo com as falhas conhecidas e que também permita definir as melhores soluções para cada falha que será ou não encontrada, durante o funcionamento da rede. O sentinela pode ser implementado com diversos mecanismos de predição, neste trabalho será pesquisado e abordado o uso de Redes Neurais Artificiais (RNAs) híbridas como proposta de solução.

Segundo Haykin 2000 o trabalho em redes neurais tem sido motivado desde o começo pelo reconhecimento de que o cérebro humano processa informações de uma forma inteiramente diferente do computador convencional. Ele tem a capacidade de organizar seus constituintes estruturais, conhecidos por neurônios, de forma a realizar certos processamentos muito rapidamente. Um exemplo é o sonar de um morcego. O sonar é um sistema ativo de localização por eco. Além de fornecer informação sobre distância pode fornecer o tamanho de várias características do alvo. (Suga, 1990a, b). A complexa computação neural necessária para extrair toda essa informação do eco do alvo ocorre no interior de um cérebro do tamanho de uma ameixa. De fato, um morcego guiado por eco pode perseguir e capturar seu alvo com uma facilidade e taxa de sucesso que são de causar inveja a um engenheiro de radar.

Uma rede neural é um processador paralelamente distribuído constituído de unidades de processamento simples, que têm a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para uso. Ela se assemelha ao cérebro em dois aspectos:

- 1. *O conhecimento é adquirido pela rede a partir de seu ambiente através de um processo de aprendizagem.*
- 2. *Forças de conexão entre neurônios, conhecidas como pesos sinápticos, são utilizadas para armazenar o conhecimento adquirido."*

Atualmente o Brasil tem seu *Sistema de Transmissão de Energia* dividido entre empresas privadas e governo, os quais possuem 60% e 40% das linhas de transmissão respectivamente. As medidas tomadas pelo governo para diminuir as falhas na rede elétrica apenas dão uma sobrevida ao já arcaico sistema de transmissão que é gerido por eles [AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL 2016].

O Brasil enfrenta muitos problemas na rede de energia elétrica atualmente que podem ser minimizados se implantado um sistema de gerenciamento de falhas no *Sistema de Transmissão de Energia* similar às Redes Inteligentes de Energia, ou Smart Grids, que vêm sendo implantadas em países de primeiro mundo.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo baseado em Redes Neurais Artificiais (RNAs) e *Smart Grids* para auxiliar no gerenciamento de falhas no Sistema de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica.

1.2.2 Objetivos Específicos

Considerando o desenvolvimento do trabalho e o objetivo geral apresentado, destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- Pesquisar sobre gerenciamento de falhas em *Smart Grids*;
- Fazer um levantamento das principais falhas de distribuição e baseadas no consumo que levam a queda de energia no Brasil;
- Especificar os dados e modelar a aplicação de uma RNA híbrida;
- Realizar testes na RNA;
- Analisar os resultados obtidos;
- Publicar os resultados

1.3 Organização

O presente trabalho está organizado da seguinte forma:

Capítulo 2: os conceitos relacionados as Redes de Energia Inteligentes ou *Smart Grids* serão abordados neste capítulo, bem como o levantamento dos problemas de distribuição e consumo de energia necessários para a modelagem do sistema.

Capítulo 3: a gestão do conhecimento, bem como os modelos de RNAs que poderão ser utilizados no desenvolvimento do trabalho, e os algoritmos de aprendizado que poderão ser empregados, alguns exemplos de redes serão abordados neste capítulo.

Capítulo 4: a modelagem da RNA com base no que foi estudado.

Capítulo 5: os resultados dos treinamentos, as análises de dados e os testes realizados serão apresentados neste capítulo. No entanto, está reservado para o TCC-II a conclusão desta etapa.

2 Smart Grids

2.1 Definição

As Redes Inteligentes ou *Smart Grids* (SG), em inglês, já são realidade na Europa, o termo Smart Grids foi usado pela primeira vez em 2005 em um artigo escrito por S. Massoud Amin e Bruce F. Wollenberg, publicado pela revista IEEE P&E, com o título "Toward A Smart Grid" [Amin e Wollenberg 2005]. Durante a primeira Conferência Internacional sobre a Integração das Fontes de Energia Distribuída, realizada em 2004 foi criada a *Plataforma Tecnológica Europeia* (PTE) para as redes de eletricidade do futuro. Em 2006, a PTE apresentou sua visão estratégica para o futuro da rede elétrica europeia, o que incluía a implantação da SG.

A Itália foi pioneira na tentativa de modernização da rede elétrica no início dos anos 2000, um projeto chamado *Telegestone Project*, previu a utilização de cerca de 27 milhões de medidores eletrônicos com capacidade para comunicação via PLC - *Power Line Communications* - que significa transmissão de dados via cabo de energia [Energia 2012]. Atualmente a PTE tem um programa visando a pesquisa e desenvolvimento de Smart Grids até 2035 [In 2015].

Apesar das SGs terem como objetivo inicial medições avançadas, novos requisitos e exigências fizeram a indústria de energia expandir seu escopo de atuação. Em virtude das modificações e evoluções necessárias frente à indústria as SG são para a engenharia e áreas afim um dos grandes desafios dessa nova era tecnológica. Composta de elementos digitais e usufruindo da rede elétrica para enviar dados. Conecta todos os usuários, geradores e consumidores com o objetivo de fornecer eletricidade com segurança e estabilidade.

Com a utilização de sensores e controles automatizados a rede será capaz de antecipar, detectar e resolver problemas no sistema. Podendo evitar faltas de energia ou problemas na qualidade do serviço de transmissão. As informações em tempo real possibilitarão o isolamento das áreas afetadas e o redirecionamento do fluxo de energia mantendo o maior número possível de consumidores atendidos [Energia 2012].

Haja vista todas essas funcionalidades e elementos, as SGs tem de ser consideradas uma evolução no sistema de energia e não uma reedição com melhorias. Para isto se tornar real foi preciso unir o sistema de energia com as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) [Santis et al. 2015]. Fruto dessa união as SGs devem ser capazes de atender uma lista de requisitos, são eles:

- Auto-Recuperação;

- Resistir a ataques físicos e cibernéticos;
- Fornecer uma energia de melhor qualidade;
- Permitir vários tipos de geração e armazenagem de energia;
- Maior envolvimento do mercado;
- Permitir uma maior utilização de geração intermitente de energia;

Afim de fornecer um paradigma conceitual de um SG a Figura 1 demonstra os sete campos definidos pelo o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (INPT).

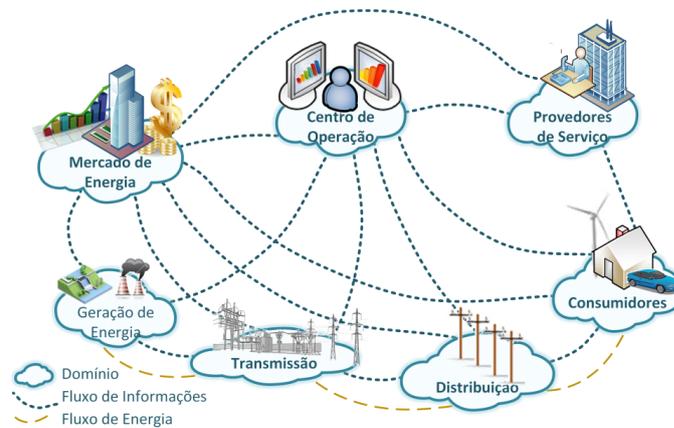


Figura 1 – Modelo Conceitual INPT

Entretanto para facilitar a compreensão no ponto de vista técnico alguns autores como SANTIS et al. e FANG et al. propõe modelos conceituais mais concisos. SANTIS et al. define a Smart Grid como uma "equação", dada por:

1. Smart Grid = Power Grid + TIC;
2. TIC = Smart Sensores + Rede de Comunicação + Computação;

Onde a soma dos itens 1 e 2 equivale ao *Sistema Nervoso e Cognitivo de uma Rede de Energia*. Já FANG et al. sugere uma divisão em três sistemas principais, são eles: Infra-Estrutura, Gestão e Sistemas de Proteção Inteligentes. Para este trabalho será utilizado o modelo proposto por FANG et al..

A Infraestrutura inteligente é de grande importância pois ela suporta um fluxo bidirecional de energia elétrica e informação, isso significa dizer que o fornecimento de energia não segue mais o modelo ortodoxo de envio unidirecional. Portanto na SG a energia elétrica também pode ser colocada de volta na rede por usuários que possuem geradores próprios, por exemplo painéis solares. Durante o dia uma família que não utiliza a energia

elétrica gerada por seus painéis pode fornecer essa energia para a rede e ela fará a Gestão Inteligente empregando da melhor forma a energia.

2.1.1 Estado da Arte

Dentro da gestão inteligente existem diversas áreas que empregam Inteligência Artificial (IA). Em [Zhang, Li e Bhatt 2010] é mostrado uma Rede Neural Artificial (RNA) que prove um modelo de previsão de carga em curto prazo para Smart Grids. O sistema proposto tem a RNA treinada com a técnica de aprendizado baseada em *Backpropagation*. No entanto o desempenho da rede neural é afetado devido a defeitos contidos no gradiente da curva, tais como mínimo local, convergência lenta e grande complexidade computacional.

No artigo [Siano et al. 2012] foi utilizado um modelo baseado em rede neural, proposto com a formação adaptativa de rede usando algoritmos genéticos, agrupamento difuso e algoritmo Neuron-by-Neuron para a integração dos algoritmos. Este sistema proporciona melhorias significativas na economia de energia, participação ativa dos clientes no mercado aberto e exploração de recursos energéticos renováveis.

Já [Jian et al. 2009] salienta o uso de agentes inteligentes para gerenciar microgrids, dentro de cada microgrid as unidades contidas são capazes de operar de forma independente através de um multi sistema baseado no controle distribuído. Na mesma linha [Kawamata, Tsuji e Oyama 2011] destaca que com modelos de gerenciamento mais distribuídos é possível gerenciar individualmente a o consumo. Já em [Elkalashy e Lehtonen 2014] os agentes tem sido usados para prever e tolerar falhas no sistema com o método descentralizado de tratamento. Em [González et al. 2015] é discutido o método de decomposição por estados, uma técnica de otimização descentralizada para resolver o problema de previsão de estado do sistema. Enquanto [Lu et al. 2014] apresenta uma estimativa de estados da rede de energia baseada na coordenação de uma arquitetura de agentes de controle. [Eriksson et al. 2015] desenvolveu um agente inteligente baseado em auto-cura para a restauração da rede de energia isolando a parte defeituosa.

Outra técnica de IA é a programação não linear inteligente, analisada em [Paudyal, Canizares e Bhattacharya 2011] essa técnica de programação inteligente é concebida de modo a maximizar a energia obtida em subestações. Reduzindo as perdas de energia através da limitação do número de operação de comutação. Em [Javed et al. 2012] foi feito um estudo utilizando de um vetor de suporte de rede e maquina de modelo de previsão de curto prazo para obter um panorama sobre a demanda de respostas dentro da rede inteligente.

Outra aplicação distinta é mostrada em [Bose 2010], Sistema de Monitoramento Ambiental (EMS) inteligente. Este estudo discute e analisa a qualidade da rede de transmissão e distribuição de energia juntamente com sua infraestrutura de informação para lidar com

as medições fasoriais onipresentes. O artigo também descreve uma metodologia de transição da rede de energia atual para a Smart Grid e uma gestão eficiente de energia. [Ricalde et al. 2011] foca seu estudo no modelo de Rede Neural Wavelet (WNN) esse modelo é projetado com base no conhecimento de um sistema multiagentes e é auxiliado por uma previsão de geração de energia utilizando redes neurais. Neste trabalho de investigação foi proposto um modelo de gerenciamento da rede de geração de energia renovável.

Por fim [Hernandez et al. 2013] emprega uma Multi-Layer Perceptron (MLP) e mostra um estudo da gestão inteligente de redes de energia renovável utilizando um conjunto de multiagentes encaixados com a rede MLP para a previsão de demanda colaborativa de energia tanto para usuários domésticos quanto usuários finais. Podemos ver que independente da técnica utilizada as SG sempre são compostas pelos mesmos elementos já citados. Os estudos apresentados só validam esta afirmação.

Através da gestão inteligente é possível demonstrar a revolução nas redes de energia, pois como visto, ela aproveita a infra estrutura inteligente para realizar o controle da emissão energética reduzindo o custo de operação na base de produção e por conseguinte maximiza a utilização dos recursos disponíveis. Entretanto todo processo de grande complexidade exige um sistema ativo de proteção, neste caso a proteção é inteligente.

2.2 Sistema de Gerenciamento de Falhas

O sub-sistema de proteção inteligente juntamente com os sub-sistemas citados anteriormente conseguem prover um análise avançada da rede, portanto garantem confiabilidade na entrega tanto de energia quanto de informações. O gerenciamento de falhas também é parte do deste sub sistema e por isso ele fornece serviços de proteção e privacidade. [Fang et al. 2012].

As tecnologias envolvidas em cada sub sistema podem ser divididas em menores grupos, começando pela exploração e medição inteligente. Os *Smart Meters* são mecanismos importantes para a obtenção de informações. A Infra Estrutura Automática de Medição (IAM) [Hart 2008], é amplamente utilizada junto com o Medidor Automático de Leitura (MAL) [Rieken e II 2011]. O MAL consegue recolher automaticamente dados de consumo, ele também é responsável por transferir os dados para um banco de dados central afim de agrupar e solucionar problemas encontrados. Os medidores inteligentes registram o consumo elétrico e enviam essa informação pela rede em intervalos de tempo para que não ocorra um congestionamento na rede. Eles se conectam e desconectam apenas quando necessário.

Tendo em vista que o sistema tem uma grande quantidade de dados para monitorar tem-se que encontrar formas de manipular estes dados. [Fang et al. 2012] cita a Unidade de Medição Fasorial (UMF) e Rede de Sensores como formas de gerenciar e manipular os

dados.

Os sensores ou rede de sensores possuem inúmeras aplicações na área de monitoramento e medição. [Len, Vittal e Manimaran 2007] Propôs que as redes de sensores fossem incorporadas na rede de energia para auxiliar e avaliar as condições mecânicas e elétricas das linhas de transmissão afim de se obter um diagnóstico físico da rede e uma visão do sistema elétrico, tudo em tempo real. Este diagnóstico ajuda no reconhecimento de falhas iminentes ou permanentes tornando mais fácil resolver os problemas.

[Gungor, Lu e Hancke 2010] estudou a aplicação de uma Rede de Sensores Wireless (RSW) para sistemas de energia. Seu estudo experimentou diferentes sistemas de energia elétrica e concluiu que com a ajuda de uma (RSW), um único sistema de contingência de rede pode encontrar e isolar falhas antes que causem efeitos em cascata. Mais alguns trabalhos sobre aplicação de (RSW) são Bressan et al. 2010 e Gutiérrez et al. 2006. Bressan et al. 2010 Embasou sua pesquisa em uma infraestrutura de roteamento sólida utilizando um protocolo de baixo consumo de energia. Em Gutiérrez et al. 2006 o foco foi a gestão de energia através de um ciclo fechado da (RSW).

Alem dessas características as redes de sensores para um SG tem outros requisitos: i) Restrição de Recursos (bateria), ii) Qualidade do Serviço (Confiabilidade, latência, e throughput da rede), iii) Manutenção (remotamente acessível), iv) Segurança.

Outro método para gerenciar dados em uma SG é a Unidade de Medição Fasorial (UMF). A UMF mede as ondas elétricas de uma rede de energia para determinar a saúde do sistema. Matematicamente falando um fasor é um número complexo que representa ao mesmo tempo magnitude e fase do seno das ondas encontradas na medição [Ree et al. 2010]. Com os avanços em UMF os operadores do sistema tem como aliado a capacidade de estimar o estado do Sistema Elétrico. Tentando tornar o sistema imune a falhas catastróficas vários países como Brasil, China, França, Japão e Coreia do Sul tem instalado instalado UMF em seus sistemas de energia ou ja estão desenvolvendo protótipos [Zhang, Li e Bhatt 2010].

Rede de Sensores e Medição Fasorial são métodos bastante empregados em sistemas de energia, porem estes algoritmos dispendem uma grande quantidade de processamento e uma quantia grande de tempo para dar previsões precisas. Uma solução que tem sido bem aceita para previsão e gerenciamento de falhas é a utilização de Redes Neurais Artificiais (RNA). No lugar de complexas regras matemáticas as redes neurais são capazes de aprender "padrões chave" dentro de um segmento e ainda tem a vantagem de serem tolerantes à falta [Ata 2015].

Uma rede neural especialista consegue se sobressair na velocidade, simplicidade e capacidade de modelar problemas complexos de múltiplas variáveis podendo extrair relações não lineares por meio de dados de treinamento. As redes neurais têm o potencial

para fazer previsões melhores, mais rápidos e mais práticos do que qualquer um dos métodos tradicionais [Kalogirou 2006].

Redes Neurais tem sido amplamente utilizadas em uma gama de aplicações, elas incluem reconhecimento, otimização e aproximação de resultados, simulação, previsão entre muitas outras áreas. Um setor que vem utilizando com sucesso as Redes Neurais é a captação energética a partir de aerogeradores. [Bangalore e Tjernberg 2013] utilizou um algoritmo evolutivo para monitorar em tempo real uma turbina eólica, a RNA utilizada foi construída de modo a gerar seu conjunto de dados de treino, processo automatizado pelo algoritmo. A rede sincronizou as mudanças da condição de funcionamento da turbina e fez previsão de falhas precisas e confiáveis.

[Yang, Li e Wang 2008] mostrou uma RNA com três camadas para diagnosticar falhas na caixa de velocidades do aerogerador. As características desse processo foram pré-modeladas na rede. Ela contou com nove nós de entrada, cada entrada representa um sensor de vibração instalado em diferentes partes. A RNA proposta foi construída como (9-10-4), e foi treinada utilizando o algoritmo *back propagation* com função sigmóide obtendo grande sucesso no diagnóstico proposto.

[Guolian et al. 2010] Desenvolveu um algoritmo de rede para monitorar falhas no sistema de controle de turbinas eólicas, ele utilizou uma RNA simples e um algoritmo genético. Os algoritmos foram utilizados para explorar e melhorar a velocidade de convergência da rede, o algoritmo genético foi empregado com o objetivo de evitar que a RNA ficasse presa no seu mínimo local. A rede proposta contou com um esquema de camadas (6-5-3). Após ser testado para seis tipos de falhas foi validado com grande sucesso.

Em [You e Zhang 2012] foi aplicado um recurso de auto-organização, a Rede Neural auto-organizável (*Self-Organized-Maps - SOM*) para realizar o diagnóstico de falhas no conversor da turbina eólica. A rede SOM é uma rede de duas camadas que aceita padrões de N-dimensões como entrada e os mapeia para um conjunto de neurônios de saída, o qual representa o espaço dos dados a serem agrupados. Os pesquisadores utilizaram ferramentas do MatLab para treinar e simular a rede. Os resultados obtidos mostraram que usando redes do tipo SOM é possível efetivar um diagnóstico confiável para o sistema em questão.

[Schlechtingen e Santos 2011] em seu trabalho utilizou três modelos implementados usando dados do SCADA online, estes modelos foram comparados utilizando um comportamento normal auto regressivo. Os pesquisadores investigaram a capacidade de identificar a falha incipiente antes da falha real. A comparação dos resultados revelam que os três modelos apresentam boa capacidade para detectar as falhas incipientes. Entretanto, os três modelos diferem no esforço necessário para o desenvolvimento e no tempo de operação. após a primeira indicação de danos.

Após o levantamento dos principais trabalhos sobre gerenciamento de falhas com

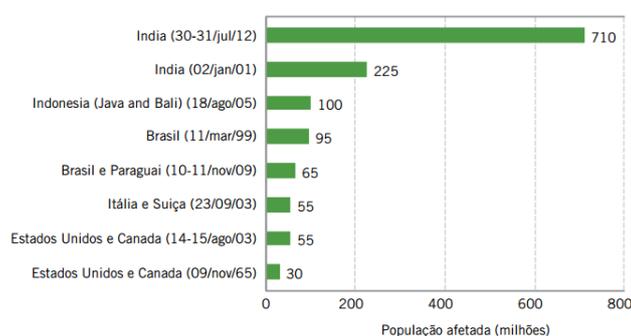
RNA, precisamos englobar estas informações em nosso escopo de estudo, a rede de distribuição brasileiras e seus principais motivos de falha. Portanto a próxima seção é reservada para tratar deste tema.

2.3 Levantamento das principais Falhas no Brasil

No Brasil o sistema de distribuição de energia ainda é o tradicional, portanto as tecnologias de rede de comunicação ainda são as mesmas desde sua primeira instalação. Elas vem funcionando bem, entretanto não serão capazes de enfrentar as mudanças advindas da implantação de redes inteligentes. Uma premissa básica para a implementação das Smart Grids é que toda a rede de distribuição até o consumidor final seja completamente automatizada, oposto ao atual cenário [Energia 2012].

Em contrapartida, mesmo que o cenário não seja o mais propício para a implantação ele vem atualizando os indicadores de qualidade da rede. A melhora na qualidade é uma das vantagens na implantação das SM, mas para isso precisamos entender quais são as falhas e de que maneiras elas são mensuradas.

A maioria das interrupções ocorre nas redes de distribuição, algo esperado devido a grande capilaridade da rede e a alta exposição ao surgimento de ocorrências. O Brasil conta com cerca de 2 milhões de quilômetros de linhas de distribuição e 107 mil quilômetros de linhas de transmissão. Existem diversas formas de medir a gravidade de um blecaute: magnitude da demanda interrompida, o tempo de duração, o impacto econômico gerado, o número de consumidores afetados. Independente do critério utilizado, o Brasil se destaca por ter sofrido alguns dos maiores blecautes. A Figura 2 apresenta alguns dos maiores blecautes já registrados no mundo em termos de pessoas afetadas. O Brasil tem 2 entre os 8 maiores blecautes de todo o mundo [Lopes, Fernandes e Christina 2015].



Fonte: Clean Technica, Union of Concerned Scientists, Ovoenergy, Associated Press.

Figura 2 – Maiores Blecautes no Mundo

O sistema elétrico brasileiro é suscetível a blecautes de larga escala devido ao suprimento de energia depender de grandes usinas hidrelétricas muito distantes do centros de carga. Isso exige que as linhas de transmissão fiquem expostas às intempéries por seu

grande comprimento. Ademais, devido ao aumento da população e ao crescimento do número de equipamentos em uso nas residências a demanda por energia tem crescido cada vez mais nos últimos anos [Instituto Acende Brasil 2014].

A demanda crescente de energia somada a infraestrutura frágil tornam-se mais um fator para a ocorrência de falhas na rede. Alguns dos principais problemas do sistema atual são:

- Geração de energia de forma não-renovável e alterações climáticas: No Brasil como mostra a Figura 3, o uso das termelétricas aumentou, e isso ocorreu devido à falta de chuvas. As termelétricas agiram para substituir parte da geração hidrelétrica, com isso, ajudaram a poupar água para que a situação brasileira não se agravasse. Mas como eles funcionam por meio da queima de combustíveis a energia que produzem costuma ser muito mais cara [Samadi et al. 2010];

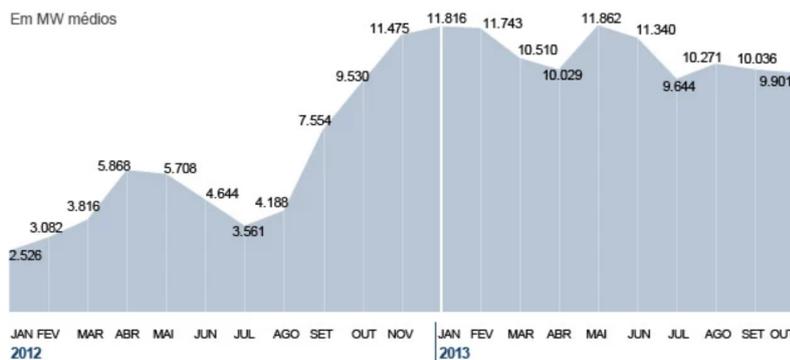


Figura 3 – Aumento da Utilização de Termelétricas no Brasil

- Infraestrutura fragilizada e antiga;
- Geração de energia centralizada;
- Aumento da população e crescente demanda de energia;
- Deterioração da confiança: O sistema elétrico atual é solicitado a ser 99,97% confiável, mas ainda permite a falta de energia e interrupções SDG 2008. A falta de confiabilidade no sistema elétrico atual advém do uso de fontes de energia centralizada e longe dos grandes centros;
- Fluxo unidirecional de comunicação e de energia: não há interação entre os serviços e os consumidores. O sistema utilizado não permite que o consumidor perceba os reflexos decorrentes da forma de usar a eletricidades e tome decisões de acordo com as informações recebidas;

Estes problemas são a origem das falhas que o sistema inteligente tem ambição de tratar. Para dividir em categorias as falhas existentes no Brasil, foi utilizado o trabalho [Tronchoni 2008] que tem como objetivo a identificação das causas dos desligamentos não programados. E o trabalho [Oprisan et al. 1991] onde foi desenvolvido um sistema para armazenamento de dados sobre interrupção de energia para cálculo do desempenho da rede. No trabalho [Oprisan et al. 1991] para cada evento ocorrido os dados são armazenados de forma a vincular o desligamento a uma das sete grandes categorias de equipamentos:

1. Linha de Distribuição;
2. Cabo de Distribuição;
3. Transformador de Distribuição;
4. Transformador de Potência;
5. Chaves;
6. Reguladores;
7. Capacitores;

Sabendo dos problemas que a rede brasileira enfrenta vemos que os blecautes tem origem em uma destas 7 categorias, isto será útil para a modelagem do gerenciador. Algumas das métricas para gerenciar as falhas na rede de energia são: tempo de vida, quantidade de tensão, quantidade de corrente, taxa de sobrecarga do componente e frequência relativa de acionamento do componente.

dentro do objetivo do trabalho que segue

3 Rede Neurais Artificiais

3.1 Modelos de RNAs

3.2 Algoritmos de Aprendizado

4 Modelagem da RNA

4.1 Aquisição do conhecimento

4.2 Modelo

4.3 Testes

4.4 Exemplos de RNAs

5 Resultados

Apresentar a execução e os resultados obtidos com o modelo. Este capítulo destina-se ao trabalho do TCC-II.

6 Conclusão

Referências

ABDEL, M.; JARADAT, K.; LANGARI, R. A hybrid intelligent system for fault detection and sensor fusion. v. 9, p. 415–422, 2009. Citado na página 20.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional - PRODIST. *Módulo 8 - Qualidade da energia elétrica, Revisão 7, Brasília*, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 19, 20 e 21.

AMIN, S. M.; WOLLENBERG, B. F. Toward a smart grid: power delivery for the 21st century. *IEEE power and energy magazine*, IEEE, v. 3, n. 5, p. 34–41, 2005. Citado na página 23.

ATA, R. Artificial neural networks applications in wind energy systems: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 49, p. 534–562, 2015. Citado na página 27.

BANGALORE, P.; TJERNBERG, L. B. An approach for self evolving neural network based algorithm for fault prognosis in wind turbine. In: IEEE. *PowerTech (POWERTECH), 2013 IEEE Grenoble*. [S.l.], 2013. p. 1–6. Citado na página 28.

BOSE, A. Smart transmission grid applications and their supporting infrastructure. *IEEE Transactions on Smart Grid*, IEEE, v. 1, n. 1, p. 11–19, 2010. Citado na página 25.

BRESSAN, N. et al. The deployment of a smart monitoring system using wireless sensor and actuator networks. In: IEEE. *Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010 First IEEE International Conference on*. [S.l.], 2010. p. 49–54. Citado na página 27.

ELKALASHY, N. I.; LEHTONEN, M. Decentralized earth fault selectivity using transient front slopes for unearthed mv networks. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Elsevier, v. 63, p. 908–916, 2014. Citado na página 25.

ENERGIA, M. d. M. e. E. Relatório smart grid do grupo de trabalho de redes elétricas inteligentes. *Mme*, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 29.

ERIKSSON, M. et al. Multiagent-based distribution automation solution for self-healing grids. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, IEEE, v. 62, n. 4, p. 2620–2628, 2015. Citado na página 25.

FANG, X. et al. Smart Grid — The New and Improved Power Grid: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, v. 14, n. 4, p. 944–980, 2012. ISSN 1553-877X. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6099519>>. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 26.

GONZÁLEZ, X. et al. Methodology for multiarea state estimation solved by a decomposition method. *Electric Power Systems Research*, Elsevier, v. 123, p. 92–99, 2015. Citado na página 25.

- GUNGOR, V. C.; LU, B.; HANCKE, G. P. Opportunities and challenges of wireless sensor networks in smart grid. *IEEE transactions on industrial electronics*, IEEE, v. 57, n. 10, p. 3557–3564, 2010. Citado na página 27.
- GUOLIAN, H. et al. Research on fault diagnosis of wind turbine control system based on artificial neural network. In: IEEE. *Intelligent Control and Automation (WCICA), 2010 8th World Congress on*. [S.l.], 2010. p. 4875–4879. Citado na página 28.
- GUTIÉRREZ, J. A. et al. Applying wireless sensor networks in industrial plant energy evaluation and planning systems. In: IEEE. *Conference Record of 2006 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference*. [S.l.], 2006. p. 1–7. Citado na página 27.
- HART, D. G. Using ami to realize the smart grid. In: *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*. [S.l.: s.n.], 2008. Citado na página 26.
- HAYKIN, S. S. Redes neurais artificiais: princípio e prática. *2ª Edição, Bookman, São Paulo, Brasil*, 2000. Citado na página 21.
- HERNANDEZ, L. et al. A multi-agent system architecture for smart grid management and forecasting of energy demand in virtual power plants. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 51, n. 1, p. 106–113, 2013. Citado na página 26.
- IN, N. The ETP SmartGrids presents :. n. April, 2015. Citado na página 23.
- Instituto Acende Brasil. Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica: Confiabilidade, Conformidade e Presteza. *Instituto Acende Brasil*, p. 1–36, 2014. Citado na página 30.
- JAVED, F. et al. Forecasting for demand response in smart grids: An analysis on use of anthropologic and structural data and short term multiple loads forecasting. *Applied Energy*, Elsevier, v. 96, p. 150–160, 2012. Citado na página 25.
- JIAN, Z. et al. The application of multi agent system in microgrid coordination control. In: IEEE. *2009 International Conference on Sustainable Power Generation and Supply*. [S.l.], 2009. p. 1–6. Citado na página 25.
- KALOGIROU, S. A. Artificial neural networks in energy applications in buildings. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, Oxford University Press, v. 1, n. 3, p. 201–216, 2006. Citado na página 28.
- KAWAMATA, K.; TSUJI, T.; OYAMA, T. A study on supply and demand control method based on mobile-agent technology in microgrid with renewable energy. In: IEEE. *Clean Electrical Power (ICCEP), 2011 International Conference on*. [S.l.], 2011. p. 720–724. Citado na página 25.
- LEN, R. A.; VITTAL, V.; MANIMARAN, G. Application of sensor network for secure electric energy infrastructure. *IEEE Transactions on Power Delivery*, IEEE, v. 22, n. 2, p. 1021–1028, 2007. Citado na página 27.
- LOPES, Y.; FERNANDES, N. C.; CHRISTINA, D. M. Geração Distribuída de Energia: Desafios e Perspectivas em Redes de Comunicação. *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, p. 2–55, 2015. Citado na página 29.

LU, Z.-g. et al. Distributed agent-based state estimation considering controlled coordination layer. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Elsevier, v. 54, p. 569–575, 2014. Citado na página 25.

NIKOLA, T. *My inventions: The autobiography of Nikola Tesla*. [S.l.]: New York: Beta Nu publishing, 2007. Citado na página 19.

OPRISAN, M. et al. A reliability data system for the reporting of forced outages of distribution equipment. In: IEEE. *WESCANEX'91'IEEE Western Canada Conference on Computer, Power and Communications Systems in a Rural Environment'*. [S.l.], 1991. p. 267–270. Citado na página 31.

PAUDYAL, S.; CANIZARES, C. A.; BHATTACHARYA, K. Optimal operation of distribution feeders in smart grids. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, IEEE, v. 58, n. 10, p. 4495–4503, 2011. Citado na página 25.

PINTO, T. D. S. O apagão energético de 2001. Citado na página 20.

REE, J. D. L. et al. Synchronized phasor measurement applications in power systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, IEEE, v. 1, n. 1, p. 20–27, 2010. Citado na página 27.

RICALDE, L. J. et al. Design of a smart grid management system with renewable energy generation. In: IEEE. *2011 IEEE Symposium on Computational Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG)*. [S.l.], 2011. p. 1–4. Citado na página 26.

RIEKEN, D. W.; II, M. R. W. Ultra low frequency power-line communications using a resonator circuit. *IEEE Transactions on Smart Grid*, IEEE, v. 2, n. 1, p. 41–50, 2011. Citado na página 26.

SAMADI, P. et al. Optimal real-time pricing algorithm based on utility maximization for smart grid. In: IEEE. *Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010 First IEEE International Conference on*. [S.l.], 2010. p. 415–420. Citado na página 30.

SANTIS, E. D. et al. A learning intelligent system for fault detection in smart grid by a one-class classification approach. In: *2015 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–8. ISSN 2161-4393. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.

SCHLECHTINGEN, M.; SANTOS, I. F. Comparative analysis of neural network and regression based condition monitoring approaches for wind turbine fault detection. *Mechanical systems and signal processing*, Elsevier, v. 25, n. 5, p. 1849–1875, 2011. Citado na página 28.

SIANO, P. et al. Real time operation of smart grids via fcn networks and optimal power flow. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, IEEE, v. 8, n. 4, p. 944–952, 2012. Citado na página 25.

SWARUP, K. S.; CHANDRASEKHARAIHAH, H. S. Fault detection and diagnosis of power systems using artificial neural networks. *Proceedings of the First International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems*, p. 3442–3446, 1991. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=836218>>. Citado na página 20.

TRONCHONI, A. B. Identificação de causas de desligamentos não programados em redes de distribuição. 2008. Citado na página 31.

YANG, S.; LI, W.; WANG, C. The intelligent fault diagnosis of wind turbine gearbox based on artificial neural network. In: IEEE. *Condition Monitoring and Diagnosis, 2008. CMD 2008. International Conference on*. [S.l.], 2008. p. 1327–1330. Citado na página 28.

YOU, X.; ZHANG, W. Fault diagnosis of frequency converter in wind power system based on som neural network. *Procedia Engineering*, Elsevier, v. 29, p. 3132–3136, 2012. Citado na página 28.

ZHANG, P.; LI, F.; BHATT, N. Next-generation monitoring, analysis, and control for the future smart control center. *IEEE Transactions on Smart Grid*, IEEE, v. 1, n. 2, p. 186–192, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 27.