MARIO SERGIO CAMBRAIA

**Automação da redução de perdas técnicas nos sistemas
reticulados de distribuição utilizando redes neurais artificiais em
redes inteligentes (*smart grid*)**

São Paulo

2018

MARIO SERGIO CAMBRAIA

**Automação da redução de perdas técnicas nos sistemas
reticulados de distribuição utilizando redes neurais artificiais em
redes inteligentes (*smart grid*)**

**Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título
de Doutor em Ciências**

**Área de Concentração:
Sistemas de Potência**

**Orientador: Profº. Dr.
Augusto Ferreira Brandão Junior**

São Paulo

2018

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 11 de JANEIRO de 2018

Assinatura do autor:

Assinatura do orientador:

Catálogo-na-publicação

Cambráia, Mario Sergio

Automação da redução de perdas técnicas nos sistemas reticulados de distribuição utilizando redes neurais artificiais em redes inteligentes (smart grid) / M. S. Cambráia, A. F. Brandão Junior -- versão corr. -- São Paulo, 2018. 150 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.redes inteligentes 2.redes neurais artificiais 3.redes de distribuição subterrânea reticuladas 4.perdas técnicas 5.fator de potência I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t. III.Brandão Junior, Augusto Ferreira

Educai as crianças para que
não seja necessário punir os
adultos.

(Pitágoras)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais José Cambraia (in memorian) e Maria de Lourdes (in memorian), que dignamente me apresentaram a importância da família e o caminho da honestidade e perseverança.

A minha esposa Eliana pelo apoio incondicional em todos os momentos, principalmente nos de incerteza, muito comuns para quem tenta trilhar novos caminhos.

Aos meus filhos Maitê e Alex pela compreensão e carinho nesta trilha, esperando que eu seja sempre um exemplo.

Aos meus irmãos José Roberto (in memorian) e Vera Lúcia, pelo carinho e apoio que sempre tive.

A todos os **meus familiares, meus sobrinhos (Tom, Kaká e Guiga)** e os **meus queridos primos** que sempre incentivaram e acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

Aprendi que “**a gratidão é um mérito**”. Ao longo de nossas vidas sempre aparecem “**anjos da guarda**” que nos ajudam, e sem os quais nossos objetivos seriam muito difíceis de alcançar, ou seriam até inatingíveis. Por isso esta parte da tese é tão especial. Quero aqui expressar de coração às seguintes pessoas e instituições:

Ao **Prof. José Roberto Cardoso**, um grande exemplo de docente, sem seu apoio provavelmente não chegaria ao final desta etapa, minha sincera gratidão.

Ao **Prof. Augusto Ferreira Brandão Jr.**, o meu reconhecimento pela oportunidade de realizar este trabalho; meu respeito e admiração pela sua serenidade e humildade no dom do ensino da ciência.

Ao **Prof. Marco Antônio Saidel** meu reconhecimento e gratidão pela ajuda nas medições elétricas.

Ao **Prof. Luiz Henrique Leite Rosa**, um dos meus “**anjos da guarda**” que sempre me deu seu apoio, a minha gratidão.

Ao **Prof. Nelson Kagan e aos membros do Laboratório de Redes Inteligentes**, meu agradecimento pelo apoio na realização deste projeto de pesquisa.

Aos diretores **Prof. Luiz Cláudio Matos Lima Júnior e Prof. Alberto Akio Shiga**, e coordenadores do Instituto Federal de São Paulo pelo apoio e o suporte no desenvolvimento deste trabalho.

A **Profa. Marlene das Neves Guarienti** pela revisão do texto e pelas sugestões dadas, meu agradecimento.

Aos professores, funcionários e alunos do **Instituto Federal de São Paulo** e das **ETEC's (Getúlio Vargas, Martin Luther King e Aristóteles Ferreira)** minha gratidão a todos pelo o incentivo e carinho.

Aos servidores dos Laboratórios, em especial **Kauê e João**, e os alunos **Nathaly e Bruno** o meu reconhecimento e gratidão, pelo apoio nos trabalhos, prontidão e suporte.

Aos engenheiros **Elio Vicentini e Ermínio Cesar Belvedere** da AES Eletropaulo pela grande contribuição, sem os quais muito deste trabalho não poderia ter sido realizado.

Finalmente, faço questão de agradecer a **todas as pessoas** que **torceram** ou **intercederam** por mim, mesmo que de forma anônima ou discreta. A todos esses amigos e amigas meu muito obrigado.

Este trabalho apresenta a metodologia, o desenvolvimento e testes de um sistema de automação independente, baseado em Redes Neurais Artificiais, para redução de perdas técnicas em redes de distribuição subterrâneas reticuladas por meio do controle ótimo dos bancos de capacitores presentes na rede.

A metodologia proposta contempla funcionalidades típicas de Redes Inteligentes, incluindo soluções práticas para o posicionamento de sensores de corrente em redes subterrâneas, coleta de medições de campo e transmissão para o Centro de Operação da Distribuição e controle em tempo real dos equipamentos de campo (bancos de capacitores).

Portanto este trabalho consiste na implementação da solução através de baixo custo de investimento na mitigação do controle do fator de potência nos pontos de entrega ao consumidor, sendo que com isto ocorrem melhorias nos indicadores de qualidade e confiabilidade atendendo aos requisitos regulamentares e contratuais de fornecimento das distribuidoras.

Para validação da metodologia proposta, foram utilizados os dados da concessionária de energia AES Eletropaulo sobre a Rede de Distribuição Subterrânea Reticulada do centro da cidade de São Paulo.

As etapas da metodologia proposta e os principais aspectos do desenvolvimento do sistema são também descritos, bem como os testes realizados para comprovação dos resultados e validação do sistema.

Palavra-chave: Redes inteligentes. Redes neurais artificiais. Redes distribuição subterrâneas. Perdas técnicas. Fator de potência.

This work presents the methodology, development and testing of an independent automation system, based on Artificial Neural Networks, to reduce technical losses in reticulated underground distribution networks by means of the optimal control of the capacitor banks present in the network.

The proposed methodology includes typical functionalities of Intelligent Networks, including practical solutions for the positioning of current sensors in underground networks, collection of field measurements and transmission to the Distribution Operation Center and real-time control of field equipment (capacitors banks).

Therefore, this work consists in the implementation of the solution through a low cost of investment in the mitigation of the control of the power factor in the points of delivery to the consumer, and with this there are improvements in the indicators of quality and reliability taking into account the regulatory and contractual requirements of supply of the distributors.

The energy concessionaire AES Eletropaulo had great participation in this research project, providing the necessary data of the Reticulated Underground Distribution Network of the city center of São Paulo.

The steps of the proposed methodology and the main aspects of system development are also described, as well as the tests performed to prove the results and validate the system.

Keyword: Smart Grids. Artificial neural networks. Underground distribution networks. Technical losses. Power factor.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AcSELerator	Programa do aparelho SEL-2411
Anawin	Programa do analisador de energia RMS
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
C++	Linguagem computacional
CMC	Current Module Control (Controle do Módulo de Corrente)
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEC	International Electrotechnical Commission (Comissão Internacional de Eletrotécnica)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
ISGT	Innovative Smart Grid Technologies
LabVIEW	Programa de Computação Gráfica
MatLab	Programa de Computação interativo de alta desempenho voltado para o cálculo
MIT	Massachusetts Institute of Technology (Instituto de Tecnologia de Massachusetts)

NBR	Normas Brasileiras
NT	Nota Técnica
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
PRODIST	Procedimentos de Distribuição (ANEEL).
RMS	RMS Indústria de Equipamentos Eletrônicos Ltda
RNA	Redes Neurais Artificiais
RAM	memória de acesso aleatório
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (Programa computacional de aquisição de dados)
SEL	Schweitzer Engineering Laboratories (Empresa)
Sinapsis	Empresa de programas computacionais
UNESP	Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho
USP	Universidade de São Paulo

ABREVIATURAS

%	Porcentagem
A	Ampère
AC/DC	Corrente Alternada/Corrente Contínua
Art.	Artigo
AT, MT, BT	Alta, Média, Baixa Tensão
AWG	unidade americana de fios e cabos
BC, BC's	Banco (s) de Capacitor (es)
CAC	Caixa de Automação e Comunicação
CO	Centro de Operações
$\cos \varphi$	cosseno φ
CT, CT's, CTS	Câmara(s) de Transformação Subterrânea
CTA	Chave de transferência automática
CTPR	Câmara Transformadora com Protetor de Rede
CUSD	Contrato do Uso do Sistema de Distribuição
DHT	Distorção Harmônica de Tensão
DRS	Sistema de distribuição subterrânea residencial
ED	Comunicação digital
ETD, ETD's	Estação(ões) Transformação e Distribuição
FP	Fator de Potência
FP_D	Fator de Potência de Deslocamento
fr	Fator de potência de referência
GHz	Giga-Hertz

h	hora
Hz	Hertz
INV/VER	Inverno/Verão
IP	Índice proteção
j	Indicação de número imaginário
km	quilo-metro
km ²	quilo-metro quadrado
kV	quilo-Volts
kVA	quilo-Volts-Ampère
kVAr	quilo-Volts-Ampère-reactivo
kW	quilo-Watt
kWh	quilo-Watt-hora
m	metro
min	minuto
MHz	Mega-Hertz
MV	Mega-Volt
MVA	Mega-Volt-Ampère
MW	Mega-Watt
MWh	Mega-Watt-hora
N°	Número
NA / NF	Normalmente Aberto / Normalmente Fechado
NNC	Neural Communication Network Control (Controle de Rede de Comunicação Neural)
NT	Norma Técnica

P	Potência Útil
PDD	Plano de Desenvolvimento da Distribuição
PR	Protetor de Rede
Q	Potência Reativa
R	Resistência
R\$	Reais (Moeda do Brasil)
R\$/MWh	Reais por megawatt-hora
RDA	Redes de Distribuição Aérea
RDS	Redes de Distribuição Subterrânea
RDSR	Redes de Distribuição Subterrânea Reticulada
RF	Rádio Frequência
RNA, RNA's	Rede(s) Neural (ais) Artificial (ais)
RTU	Remote Terminal Units
S	Potência Aparente
TAP's	Chaveamento de ajuste
TC	Transformador de Corrente
TDH/DHT	Taxa de Distorção Harmônica
TDH _c /DHT _c	Taxa de Distorção Harmônica de Corrente
TDH _v /DHT _v	Taxa de Distorção Harmônica de Tensão
TE	Tarifa de Energia
TUSD	Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição
US\$	Dólar (Moeda Norte Americana)
V	Volt
VA	Volt-Ampere

VAr	Volt-Ampère-reactivo
W	Watt
X_i , X_c	Reatância indutiva, Reatância capacitiva
XX, XXI	Algarismo Romano
Ω/km	Ôhm por quilo-metro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Desenho esquemático das redes subterrâneas	11
Figura 2	Mostra o esquema histórico do sistema reticulado. AES Eletropaulo	15
Figura 3	Mapa de distribuição elétrica subterrânea da cidade de São Paulo	16
Figura 4	Ilustração da Rede Radial Sem Recurso	22
Figura 5	Ilustração da Rede Radial com Recurso	23
Figura 6	Ilustração da rede Radial em Anel	24
Figura 7	Ilustração da Rede Radial com o Primário Seletivo	25
Figura 8	Figura ilustrativa da rede Reticulada Simples (Network).....	26
Figura 9	Figura ilustrativa da rede Reticulada Dedicada (Mini Reticulado)..	27
Figura 10	Figura ilustrativa da rede de distribuição Híbrida.....	28
Figura 11	Figura ilustrativa da rede de distribuição Residencial Subterrânea	28
Figura 12	Fabricantes de protetor de rede (network protector).....	29
Figura 13	Mostra Protetor de Rede acoplado ao Transformador.....	30
Figura 14	As Imagens fotográficas mostram a instalação da CAC dentro da Câmara Transformadora Subterrânea.....	31
Figura 15	Figura ilustrativa os sensores de monitoramento.....	32
Figura 16	Comunicação do Centro de Operações com a Rede RF <i>Mesh</i>	33
Figura 17	Caixa de Automação e Comunicação com o Controlador de Automação Programável marca SEL.....	34
Figura 18	Imagens do Centro de Operações da AES Eletropaulo em Barueri	34
Figura 19	Imagem da tela do programa supervisor das Redes	

Subterrâneas no Centro de Operações da AES Eletropaulo – Região.....	35
Figura 20 Imagem da tela do programa supervisorio das Redes Subterrâneas no Centro de Operações da AES Eletropaulo - Local.....	35
Figura 21 Fluxograma da metodologia utilizada.....	37
Figura 22 Análise dos Harmônicos na fase A do Consumidor E.....	44
Figura 23 Consumidor E Análise de Harmônicos em todas as fases.....	45
Figura 24 Análise dos Harmônicos na fase A do Consumidor F.....	45
Figura 25 Consumidor F Analise de Harmônicos em todas as fases.....	46
Figura 26 Análise dos Harmônicos na fase A do Consumidor G.....	46
Figura 27 Cliente G Analise de Harmônicos em todas as fases.....	47
Figura 28 Consumidor H Análise de Harmônicos na fase A.....	47
Figura 29 Consumidor H, formas de onda deformadas por harmônicos.....	48
Figura 30 Área delimitada para os testes.....	52
Figura 31 Fluxograma do treinamento de RNA da RDSR no programa MatLab.....	57
Figura 32 Tela do MatLab Tool Box – botão <i>Create</i>	58
Figura 33 Tela do MatLab Tool Box – botão <i>Train</i>	59
Figura 34 Tela do MatLab Tool Box – botão Regression.....	60
Figura 35 Bancada de simulações e testes do sistema.....	62
Figura 36 Tela do programa SCADA atual do Centro de Operações da AES Eletropaulo.....	63
Figura 37 Comunicação do Centro de Operações com a Rede RF <i>Mesh</i>	64
Figura 38 Esquema do local de instalação dos Transformadores de Corrente e do Banco de Capacitores na Rede Reticulada.....	65
Figura 39 Modo de instalação do Transformador de Corrente no alimentador primário.....	66
Figura 40 Instalação dos cabos de medição e comando.....	66

Figura 41	Circuito elétrico indutivo.....	67
Figura 42	Painéis de Bancos de Capacitores.....	69
Figura 43	Sistema Mini Reticulado.....	71
Figura 44	ETD Augusta com os agrupamentos dos mini-reticulados.....	72
Figura 45	Pontos de medição de corrente na rede subterrânea.....	73
Figura 46	Centro de Carga / Consumo de Energia da rede Augusta.....	74
Figura 47	Alocação dos Bancos de Capacitores.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Rede de Distribuição Subterrânea.....	13
Tabela 2	Redes Subterrâneas - São Paulo e Rio de Janeiro.....	14
Tabela 3	Grandezas medidas pelo Controlador de Automação Programável da marca SEL modelo 2411.....	33
Tabela 4	Dados dos ensaios de inserções de Bancos de Capacitores.....	55
Tabela 5	Dados dos ensaios de inserções de Bancos de Capacitores (c/10 combinações)	56
Tabela 6	Cabos utilizados na rede de estudo.....	71
Tabela 7	Distância dos diferentes pontos de medição desde a ETD Augusta.....	74
Tabela 8	Alocação de Bancos de Capacitores.....	77
Tabela 9	Dados de entrada na RNA – Segunda - feira de Verão.....	80
Tabela 10	Dados de entrada na RNA – Segunda - feira de Verão.....	80
Tabela 11	Dados de entrada na RNA – Segunda - feira de Verão.....	81
Tabela 12	Dados de entrada na RNA – Segunda - feira de Verão.....	81
Tabela 13	Dados de saída da RNA – Segunda-feira de Verão.....	82
Tabela 14	Relatório de perda total em uma Segunda-feira no Verão.....	88
Tabela 15	Resultados das simulações de cálculos de perdas - Verão e Inverno	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Participação no total de redes subterrâneas do Brasil (percentual de km).....	17
Gráfico 2	Investimentos em Redes Subterrâneas (Planejamento de todas distribuidoras).....	18
Gráfico 3	Percentual de Redes de Distribuição Subterrâneas em algumas cidades do mundo.....	18
Gráfico 4	Fator de Potência do Consumidor A (%FP/DIA).....	40
Gráfico 5	Fator de Potência do Consumidor B (%FP/DIA).....	41
Gráfico 6	Fator de Potência do Consumidor C (%FP/DIA).....	41
Gráfico 7	Fator de Potência do Consumidor D (%FP/DIA).....	42
Gráfico 8	Defasagem em Graus.....	42
Gráfico 9	Clientes DHT.....	48
Gráfico 10	Redução percentual de perdas em função do FP.....	68
Gráfico 11	Número de transformadores por mini reticulado.....	72
Gráfico 12	Curva Típica de Demanda de um dia da ETD Augusta.....	75
Gráfico 13	Curvas Típicas (Inverno e Verão) do Alimentador Augusta - 202 para uma semana. (Ampère x dia da semana).....	78
Gráfico 14	Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 0.....	83
Gráfico 15	Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 1.....	84
Gráfico 16	Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 2.....	84
Gráfico 17	Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 3.....	84
Gráfico 18	Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 4.....	85
Gráfico 19	Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 5.....	85

Gráfico 20	Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 6.....	85
Gráfico 21	Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 7.....	86
Gráfico 22	Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 8.....	86
Gráfico 23	Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 9.....	86
Gráfico 24	Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 10.....	87
Gráfico 25	Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 11.....	87
Gráfico 26	Resultado Total de perdas mensais apresentadas com todos os capacitores desligados na rede e com os capacitores acionados pela RNA.....	90

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	
1.1 GENERALIDADES	01
1.2 OBJETIVOS	02
1.3 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	03
1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO	08
2 REDES DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA DE ENERGIA ELÉTRICA	
2.1 ESCOPO	10
2.2 INTRODUÇÃO ÀS REDES DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA	10
2.2.1 BREVE HISTÓRICO DAS REDES SUBTERRÂNEA DE ENERGIA	11
2.2.2 REDE DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA NA CIDADE DE SÃO PAULO	16
2.2.3 REDE DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA NO BRASIL	16
2.2.4 VANTAGENS PARA O USO DE REDES SUBTERRÂNEAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM BAIXA E MÉDIA TENSÃO.....	19
2.2.5 TIPOS DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA	21
2.2.5.1 SISTEMA RADIAL SEM RECURSO	22
2.2.5.2 SISTEMA RADIAL EM ANEL COM RECURSO	23

2.2.5.3 SISTEMA RADIAL EM ANEL ABERTO OU FECHADO	23
2.2.5.4 SISTEMA RADIAL COM O PRIMÁRIO SELETIVO	24
2.2.5.5 SISTEMA RETICULADO SIMPLES	25
2.2.5.6 SISTEMA RETICULADO DEDICADO	26
2.2.5.7 SISTEMA HÍBRIDO	27
2.2.5.8 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO RESIDENCIAL SUBTERRÂNEA	28
2.2.6 EQUIPAMENTOS E INFRAESTRUTURAS	29
2.2.6.1 PROTETOR DE REDE – (NETWORK PROTECTOR)	29
2.2.6.2 CAIXA DE AUTOMAÇÃO E COMUNICAÇÃO	30
2.2.6.3 SUPERVISÃO E CONTROLE DAS CÂMARAS TRANSFORMADORAS SUBTERRÂNEAS	31
3 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA	
3.1 ESCOPO	36
3.2 MEDIÇÕES ELÉTRICAS E AVALIAÇÕES DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEAS	38
3.2.1 DIAGNÓSTICO SOBRE O FATOR DE POTÊNCIA	40
3.2.2 DIAGNÓSTICO SOBRE OS NÍVEIS DE HARMÔNICOS	43
3.3 CRIAÇÃO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL	49
3.4 CARACTERÍSTICAS DO SIMULADOR DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO	50
3.5 INTRODUÇÃO DOS DADOS DA REDE NO SIMULADOR	51

3.6 COLETA E ANALOGIA DOS DADOS.....	52
3.7 SIMULAÇÃO DE INSERÇÃO E RETIRADA DE CAPACITORES NA REDE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA RETICULADA.....	53
3.8 FORMATAÇÃO DOS RESULTADOS PARA USO NA REDE NEURAL ARTIFICIAL.....	55
3.9 TREINAMENTO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL	56
3.10 TESTES INICIAL DE PRECISÃO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL	60
3.11 ACOPLAMENTO DA RNA NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA RETICULADA	61
3.11.1 TESTES DE VALIDAÇÃO DA RNA ACOPLADA AO EQUIPAMENTO.....	61
3.12.2 RESULTADOS DA VALIDAÇÃO NA INTEGRAÇÃO DA RNA À INFRAESTRUTURA EXISTENTE	63
3.13 ANÁLISES DA INFRAESTRUTURA PARA REDE DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA RETICULADA PARA IMPLEMENTAÇÃO DESTE PROJETO	64
3.13.1 COMUNICAÇÃO DOS DADOS COM A CENTRAL DE OPERAÇÕES	64
3.13.2 MEDIÇÕES DAS CORRENTES NECESSÁRIAS	65
3.13.3 APLICAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES NA CORREÇÃO DA ENERGIA REATIVA	67
4 CORREÇÃO DA ENERGIA REATIVA UTILIZANDO RNA NA REGIÃO DA ETD AUGUSTA NA CIDADE DE SÃO PAULO - ESTUDO DE CASO	
4.1 ESCOPO	70
4.2 AJUSTE DA REDE DE ESTUDO	70

4.3 DADOS DE MEDIÇÃO DAS CORRENTES NA REDE DE TESTES	77
4.4 AÇÕES DA REDE NEURAL ARTIFICIAL TREINADA	78
4.5 DADOS DE ENTRADA DA REDE NEURAL ARTIFICIAL TREINADA	79
4.6 DADOS DE SAÍDA DA REDE NEURAL ARTIFICIAL TREINADA	82
4.7 COMPORTAMENTO DOS BANCO DE CAPACITORES ACIONADOS ATRAVÉS DA REDE NEURAL ARTIFICIAL	83
4.8 RELATÓRIOS DE PERDAS DIÁRIAS	87
4.9 RELATÓRIOS DE PERDAS MENSASIS	88
4.10 RESULTADOS DA VALIDAÇÃO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL NA NO CONTROLE DA ENERGIA REATIVA NA REDE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA RETICULADA	91
5 CONCLUSÕES	
5.1 CONCLUSÕES	92
6 SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS	
6.1 SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS	94
REFERÊNCIAS	96
ANEXO 1 - REGULAMENTAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA	101
ANEXO 2 - CONCEITUAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA	106
ANEXO 3 – REDE NEURAL ARTIFICIAL	114
ANEXO 4 - TREINAMENTO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL	122
ANEXO 5 - TABELAS UTILIZADAS NA ENTRADA DA REDE NEURAL	

ARTIFICIAL	131
ANEXO 6 - TABELAS UTILIZADAS NA SAÍDA DA REDE NEURAL ARTIFICIAL	136
ANEXO 7 – RELATÓRIOS DE PERDAS POR DIA	138
ANEXO 8 – TERMOS E CONCESSIONÁRIAS.....	145

1 INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

A energia elétrica é imprescindível à vida moderna, pois todos os nossos movimentos e ações são baseados no seu uso para: transporte, iluminação, força motriz, entretenimento, climatização e segurança entre outras aplicações. Por isso todas as etapas compreendidas entre a geração, transmissão, distribuição e comercialização são fundamentais para que todos os benefícios da energia elétrica sejam garantidos a população.

Este trabalho científico tem como foco a melhoria da distribuição de energia elétrica, esforços concentrados na redução de perdas e no aumento da confiabilidade observando-se a relação custo-benefício nas ações que devem ser implementadas, mais precisamente, no que tange a rede de distribuição subterrânea utilizada nas grandes metrópoles.

Um dos problemas na distribuição de energia elétrica é as possíveis perdas técnicas decorrente de quantidades elevadas de energia reativa, proveniente do consumo de motores, transformadores, lâmpadas de descarga nas linhas de distribuição. Essas condições resultam em aumento nas correntes que circulam nas redes de distribuição de energia elétrica das concessionárias e das unidades consumidoras, hipótese que pode sobrecarregar as subestações, as linhas de transmissão e distribuição, prejudicando a estabilidade e as condições de aproveitamento dos sistemas elétricos. Estas redes podem ter seu desempenho melhorado através do controle dos perfis adequados de tensão, do Fator de Potência (FP) não previsto, da minimização de perda de potência ativa nas linhas, que pela otimização pode ter reduzida as perdas que venham incidir no custo e faturamento dos serviços (MOREIRA, 2015).

A resolução normativa da ANEEL N° 414, de 09 de setembro de 2010 estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica e de acordo com Art. 76 o faturamento ou cobrança da energia reativa para o grupo B é facultativo para a concessionária (ANEEL, 2010).

Com a alteração feitas através da resolução normativa da Aneel N°. 569 de 23 de julho de 2013 (ANEEL, 2013), que isenta os consumidores do grupo B (consumidores de baixa tensão) da cobrança de excedente reativo devido ao baixo FP, a Aneel transfere a responsabilidade para a concessionária fornecer ao consumidor de baixa tensão a energia elétrica dentro dos parâmetros de qualidade.

A abrangência deste trabalho está na redução das perdas decorrentes dos excedentes reativos causando o baixo FP em redes de distribuição de energia elétrica subterrânea, conhecido como sistema reticulado ou *network*, utilizado no centro da cidade de São Paulo, local de nosso estudo. Os níveis de harmônicos não foram tratados nesta tese devido à proposta de desenvolvimento de um trabalho prático mais focado e específico e com os objetivos bem definidos.

O aspecto inovador desta tese consiste em tratar a solução para mitigação das perdas por fluxo de energia reativa em redes de distribuição subterrâneas de modo sistêmico utilizando recursos de inteligência artificial, por meio de técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes.

1.2 OBJETIVOS

Assim, visa-se à melhoria da confiabilidade e qualidade da energia com o controle do fluxo de energia recíproco entre as subestações e as cargas que provocam as perdas de energia por aquecimento ($R.I^2$) nos condutores elétricos. O controle de Bancos de Capacitores (BC's) e, conseqüentemente, o controle a energia reativa capacitiva contribui para a redução das correntes nas linhas de distribuição. Outro fator importante é a redução das quedas de tensão na rede de distribuição, melhorando a estabilidade de todo o sistema.

Para isso propõe-se o uso dos conceitos de Redes Inteligentes (*Smart Grid*) abordados em (BERGER e INIEWSKI, 2015) e (GARCIA, SILVA e DUZZA JR, 2015), no sistema de comunicação entre as Câmaras de Transformadoras (CT's) que a AES Eletropaulo está implantando na cidade de São Paulo. O telecomando automatizará a inserção ou retirada dos BC's, o controle à distância da energia reativa nas redes de distribuição subterrânea.

Este trabalho teve a contribuição da concessionária de energia elétrica AES Eletropaulo, com o objetivo de encontrar soluções para os problemas de perda de energia nas linhas de distribuição subterrâneas.

1.3 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

A partir de uma detalhada revisão bibliográfica realizada sobre Redes de Distribuição de Energia Elétrica, mais precisamente em Sistemas Subterrâneos Reticulados, pode-se observar que este tema ainda carece de literatura científica, para os assuntos abordados deste trabalho.

Vários assuntos relacionados a esta pesquisa foram levantados e analisados, e os destaques encontrados são apresentados a seguir na forma de resumos bibliográfico.

O artigo "***A New Method for Power Factor Correction and Harmonic Elimination in Power Systems***" (KASIKCI, 2000) examina a aplicação do inversor paralelo com filtro ativo e filtro passivo, destacando a complexidade do controle de FP. Esta abordagem contribui no embasamento e na análise da correção do FP adotado.

O artigo "***Characterization of Power Quality Problems Associated with Large Commercial Customers Served from Large Underground Distribution Network Systems***" (MELHOM, HOFINANN E SAMOTYJ, 1994) apresenta os resultados de um projeto destinado a caracterizar a qualidade da energia fornecida para várias classes de consumidores (grandes clientes comerciais) na rede de

distribuição subterrânea em Manhattan. Os efeitos da qualidade de energia na operação de diferentes tipos de instalações também são discutidos: regulação de tensão, afundamentos de tensão devido ao sistema de falhas e distorção harmônica. Alguns tópicos importantes, presentes neste artigo, foram considerados nesta tese, tais como o conceito de obtenção das informações: (1) O desejo de utilizar as novas técnicas de campo de forma mais eficiente e produtiva; (2) Melhorar a qualidade e os níveis de informação fornecidos pelo dispositivo; (3) Fornecer dados em tempo real que possam ser acessados remotamente.

O artigo ***“Neural Network Controllers for Power Factor Correction of AC/DC Switching Converters”*** (ELBULUK, CHAN E HUSAIN, 1998) apresenta o uso desse conceito na correção do fator de potência dos conversores de comutação em corrente alternada/corrente contínua (AC/DC). O NNC substitui o modelo de controle de corrente convencional (current mode controller - CMC) de alto fator de potência do conversor AC/DC. Tanto o controle direto e os regimes de controlador NNC indiretos são utilizados, o que configurou importante contribuição para a decisão de escolha de utilizar de RNA neste trabalho.

O artigo ***“Investigation of the Underground Temperature Using Neural Network”*** (DERBEL, KESSENTINI E KANOUN, 2008), utiliza o conceito de redes neurais para avaliar a temperatura do solo no sistema subterrâneo. Dois modelos foram desenvolvidos com a finalidade de desenvolver a matemática e o sistema inteligente. O modelo matemático foi desenvolvido tendo em conta as propriedades do solo e das condições meteorológicas enquanto que o modelo inteligente foi uma evolução dos dados impulsionada pelo modelo rede neural. A abordagem do uso de RNA na verificação e controle da temperatura em cabos das redes de distribuição subterrâneas constitui exemplo próximo o escopo desta tese que contribui com o conceito de RNA na RDSR.

A dissertação de Mestrado ***“Otimização de Rede de Distribuição de Energia Elétrica Subterrânea Reticulada Através de Algoritmos Genéticos”*** (AZEVEDO, 2010) propõe uma nova metodologia para quantificar o custo das perdas de energia e custo das penalidades pelo fornecimento de energia em tensão

de suprimento nas faixas críticas e precárias. A metodologia busca uma solução de otimização da qualidade de fornecimento de energia elétrica por redes secundárias de sistemas subterrâneos reticulados de distribuição de energia elétrica através da aplicação de algoritmos genéticos atuando sobre a configuração de conexão dos transformadores de distribuição à rede primária subterrânea. Com abordagem diferente desta tese, esta dissertação de mestrado contribuiu com conceitos importantes no tocante à otimização da qualidade do sistema subterrâneo reticulado.

A Tese de Doutorado **“Correção do Fator de Potência para Instalação de Baixa Potência Empregando Filtros Ativos”** (SOUZA, 2010) apresenta os filtros paralelos para a correção do fator de potência de instalações de baixa potência. Tanto os inversores de tensão como os inversores de corrente são empregados como filtros ativos, ambos controlados através do monitoramento da corrente da rede, conferindo simplicidade ao comando e um bom desempenho como filtro ativo, bem como um bom desempenho dinâmico do filtro. Também são apresentados os filtros distribuídos, que são instalados em diferentes pontos da planta, de maneira que cada filtro ativo compensa um conjunto de cargas resultando em um alto fator ativo que compensa um conjunto de cargas. Outros fatores observados tais como a modularidade dos bancos de capacitores (BC's), o confinamento dos reativos e das harmônicas de corrente. Conceitos importantes agregados em nossa tese.

A dissertação de mestrado **“Aplicação de Filtros Adaptativos em Compensadores Híbridos de Reativo”** (FERREIRA, 2012) propõe a aplicação de Filtros Adaptativos Sintonizados como base para a estratégia de controle de um Compensador Híbrido de Potência Reativa. A topologia do Compensador Híbrido é composta por um filtro ativo associado em série com um banco de capacitores. Esta combinação soluciona uma das principais desvantagens do uso de bancos de capacitores que é o fornecimento de potência reativa fixa. Alternativa encontrada para compensação de reativos em redes abre a possibilidade de utilização deste conceito em nossa tese, requerendo um melhor estudo dentro deste trabalho.

A dissertação de mestrado **“Desenvolvimento de um Protótipo Baseado em Redes Neurais Artificiais para o Monitoramento Remoto de Tensão”** (SILVA,

2014) tem como objetivo a implementação em hardware de um sistema baseado em redes neurais artificiais para o monitoramento remoto da tensão em pontos de interesse de uma rede elétrica específica, utilizando o software *LabVIEW* e as plataformas de aquisição de dados *CompactDAQ* e *CompactRIO*. Os passos para modelar em software e avaliar em hardware um neurônio artificial. E posteriormente, a rede neural é toda discutida neste trabalho. Os resultados obtidos na prática são sempre comparados com os resultados provenientes de simulações realizadas nos ambientes *Matlab* e *LabVIEW*, visando validar a metodologia proposta neste projeto. As simulações e modelagem do software, a validação da RNA e *LabVIEW* contribuíram muito para o desenvolvimento desta tese.

O artigo ***“Capacitive Power Factor and Power Quality Correction of a Light Rail Transportation System”*** (ÇELTEKLIGIL, 2008) discute a aplicação de um método para a correção dinâmica do fator de potência e a regulação da tensão em sistemas de transporte ferroviário leve. Os cabos de energia subterrânea MV instalados para a distribuição de subestações de energia de 34,5 kV que causam um fator de potência reativa capacitivo muito fraco. A especificação técnica do cliente baseou-se na compensação dinâmica da energia elétrica consumida e para equilibrar o poder reativo capacitivo de todos os cabos MT e efeitos dinâmicos nos trens. Os valores de kVAr indutivos e capacitivos não devem exceder os limites para evitar qualquer penalidade. Outro aspecto do problema foi o da estabilidade da tensão. As potências e o fator de potência foram analisados. Foi concluído para instalar reatores de núcleo de ferro. Os reatores principais foram ativados através de tiristores usando controladores de potência automáticos, detectando o fator de potência e monitorando constantemente a corrente e a tensão, calculando o fator de potência e trocando os bancos de indutância conforme necessário. A solução satisfaz com segurança os limites de penalidade da utilidade local.

O artigo ***“Smart Grid self-healing implementation for underground distribution networks”*** (SHAHIN, 2013) as concessionárias de distribuição elétrica estão enfrentando uma necessidade crescente de mudanças substanciais para adotar tecnologias de rede inteligente para atender a crescente demanda de

energia, qualidade do fornecimento de energia e integração de recursos de energia renovável para reduzir a emissões de carbono. A automação pode alcançar uma melhoria significativa da disponibilidade da rede, da confiabilidade e das satisfações do consumidor por redução considerável de minutos de clientes perdidos. Este artigo avalia diferentes soluções de autocorreção para rede de distribuição subterrânea e estratégia de automação de distribuição econômica. O documento também apresenta critérios de seleção para a alocação ótima das Unidades de Terminal Remoto (RTU) do alimentador, a fim de minimizar o custo de interrupção e os minutos do Cliente perdidos.

O livro de “**Redes Elétricas Inteligentes – aplicação, comunicação e segurança**” (BERGER e INIEWSKI, 2015) abrange toda a conversão de energia elétrica, transmissão, distribuição e o ciclo de utilização, e seus objetivos múltiplos contribuem com o desenvolvimento e implantação de tecnologias de Redes Elétricas Inteligentes. Os principais objetivos são os seguintes:

- Melhorar a eficiência e a economia na conversão de energia, a transmissão, a distribuição, o armazenamento e a utilização;
- Aperfeiçoar a segurança da rede e a segurança na operação do sistema, aumentando a capacidade de observação e de controle da rede elétrica;
- Melhorar a confiabilidade e a disponibilidade do fornecimento de energia para os clientes;
- Habilitar e promover a integração e utilização de energias renováveis e sustentáveis;
- Permitir e facilitar a participação pelo lado da demanda para aumentar a utilização dos ativos e ter retorno sobre o investimento;
- Manter e melhorar a qualidade do fornecimento de energia para o aumento de cotas de cargas digitais;

Dentro da filosofia de Redes Inteligentes (*Smart Grid*) vários desses itens contribuíram e valorizaram o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

Baseado no levantamento bibliográfico realizado observou-se que não foi apresentada uma solução satisfatória dentro da linha proposta para este trabalho, que visa à diminuição das perdas de energia nas linhas de distribuição nas redes subterrâneas provenientes das cargas reativas. Sendo assim, este projeto de pesquisa propõe a aplicação inovadora de um sistema inteligente baseado em RNA para a redução das perdas elétricas no sistema, por meio da detecção dos pontos de inserção dos bancos de capacitores, com a capacidade mais adequada para o equilíbrio e a eficiência e com maior confiabilidade na supervisão de toda a rede RDSR.

1.4 ESTRUTURAÇÃO DE TEXTO

Esta tese que tem como título: “**Automação da Redução de Perdas Técnicas nos Sistemas Reticulados de Distribuição Utilizando Redes Neurais Artificiais em Redes Inteligentes (*Smart Grid*)**”, está dividida em 5 capítulos:

Capítulo 1 apresenta as generalidades sobre este trabalho, à cobrança de reativos, as alterações da legislação da correção de fator de potência, os objetivos do trabalho; a implantação de novas tecnologias nas Redes de Distribuição Subterrâneas (RDS); Levantamento bibliográfico.

Capítulo 2 apresenta os conceitos e históricos RDS na Cidade de São Paulo; Redes de Distribuição Subterrânea no Brasil; as características de cada utilização dos diversos tipos, as justificativas para a implantação de novas RDS e, os equipamentos e infraestruturas atualmente utilizadas.

Capítulo 3 apresenta a metodologia adotada para o trabalho, a descrição do projeto com a estrutura e a abrangência do modelo, a descrição das etapas do sistema, as rotinas e treinamento da Rede Neural desenvolvida para o gerenciamento da energia reativa nas RDSR.

Capítulo 4 apresenta uma aplicação das RNA na região da ETD da Augusta do centro da cidade de São Paulo. A descrição dos testes e desenvolvimentos

realizados em Laboratório de Redes Inteligentes da Universidade de São Paulo, que utilizou os dados das Redes Subterrâneas da AES Eletropaulo no programa desenvolvido pela empresa Sinapsis, que faz os cálculos de Fluxo de Carga (*Load Flow*) de redes de distribuição e apresenta análises dos resultados obtidos.

Capítulo 5 apresenta conclusões de acordo com a metodologia desenvolvida e aplicada.

Capítulo 6 apresenta as sugestões e proposições para desenvolvimentos futuros trabalhos.

2 REDES DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA DE ENERGIA ELÉTRICA

2.1 ESCOPO

Este capítulo aborda os conceitos básicos da distribuição de redes elétricas subterrânea, com o histórico de implantação das primeiras RDS nos Estados Unidos e no Brasil, particularmente na cidade de São Paulo. Abordam também as vantagens de sua utilização, as características e a eficiência de cada tipo de RDS com as vantagens e desvantagens para cada modelo.

A implantação de novas tecnologias com o surgimento do conceito de Redes Inteligente – *Smart Grid* em RDS e a apresentação dos principais componentes e equipamentos utilizados na infraestrutura.

2.2 INTRODUÇÃO ÀS REDES DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA

Os sistemas de distribuição de energia elétrica são compostos pelas redes elétricas primárias de Média Tensão (MT) e redes secundárias de Baixa Tensão (BT), que formam a base da infraestrutura necessária para a distribuição da energia elétrica aérea ou subterrânea.

A distribuição subterrânea inicia-se na Estação Transformadora de Distribuição (ETD) local, em que vários circuitos trifásicos em MT saem para alimentar os terminais primários dos transformadores que existentes nas Câmaras Transformadoras (CT's). Os terminais secundários saem em circuitos trifásicos em BT para alimentar as cargas dos consumidores.

Na Figura 1 a seguir é possível visualizar o desenho esquemático: os dutos de cabeamento subterrâneos com os circuitos de MT e BT, a Câmara Transformadora (CT), as caixas de inspeções onde ocorrem as emendas dos cabos e as principais partes e componentes de uma RDS.

Figura 1 – Desenho esquemático das redes subterrâneas

Fonte: LIGHT (2011)

As diversas partes e componentes do esquema da rede subterrânea acima serão abordados com mais detalhes mais a frente neste capítulo.

2.2.1 BREVE HISTÓRICO DAS REDES SUBTERRÂNEAS DE ENERGIA ELÉTRICA

A história das redes de distribuição subterrânea de energia elétrica se confunde com a própria história dos seus componentes, segundo Brunherotto e Oliveira (2013). O primeiro grande desafio foi o de desenvolvimento de cabos isolados. A evolução dos materiais isolantes ao longo dos anos permitiu a evolução das redes aéreas para redes subterrâneas nos grandes centros urbanos no mundo. Foi com o telégrafo, em 1816, que teve início o emprego de cabos isolados enterrados. Já em 1879, Thomas Edison desenvolveu um sistema de iluminação incandescente para a cidade de Nova York e decidiu que o sistema subterrâneo seria necessário, empregando uma cobertura de juta untada em betume. A borracha vulcanizada só veio a ser utilizada em distribuição de energia a partir 1880.

A cidade de Nova York, com grande desenvolvimento, estava tomada de postes com uma infinidade de estruturas elétricas, de energia e de telecomunicação. Em 1884, a Câmara de Representantes do Estado de Nova York promulgou uma lei estabelecendo a obrigatoriedade do enterramento de toda a fiação de telégrafos, telefonia e a de energia elétrica.

Ameaçada pelos legisladores, a empresa na época decidiu iniciar o processo de instalação subterrânea das redes de distribuição, aproveitando os espaços no meio viário ao lado dos trilhos dos bondes, conforme Brunherotto e Oliveira (2013).

No caso norte-americano, nos centros de alta densidade de carga que normalmente caracterizava os locais em que as redes subterrâneas eram implantadas, estas eram projetadas com o secundário em malha, de tal forma que uma falha em transformador, ou em alimentador não provocava interrupção no fornecimento da energia. O primeiro sistema reticulado de que se tem notícia é datado de 1907 na cidade norte-americana de Memphis.

Outros sistemas foram desenvolvidos a partir do sistema radial de distribuição, menos confiáveis, mais simples e econômicos. Em 1926, foi instalado na Filadélfia um sistema com primário em anel aberto, como uma evolução do sistema radial simples. Devido às altas densidades de carga e ao maior tempo de reparo dos eventuais defeitos, os sistemas subterrâneos foram projetados com redundância para a garantia de fornecimento do sistema.

Tanto nos sistemas reticulados como nos sistemas primários seletivos e radiais com recurso, todos os alimentadores são projetados de tal forma que os remanescentes devem suportar a carga total em caso de falha em qualquer dos alimentadores. De qualquer forma, a opção atual é que tanto na Europa quanto nas cidades norte-americanas o emprego do sistema radial é uma das soluções com maior ou menor contingência, em função dos custos associados e da importância das cargas atendidas, segundo Brunherotto e Oliveira (2013).

Em 1922, foi instalado em Nova York o sistema reticulado já com o emprego dos protetores de rede (*networks protectors*), este equipamento que será visto mais detalhadamente à frente no item 2.2.6.1 - infraestrutura e equipamentos.

No sistema reticulado os protetores de rede têm uma importância fundamental, porque isola automaticamente o transformador com defeito no alimentador. Assim, surgiu o sistema considerado de maior confiabilidade, mas também o de maior custo por quilômetro instalado. Os protetores de rede atuam automaticamente devido à inversão do fluxo de potência da malha, fator principal para a expansão desse sistema na primeira metade do século XX nos EUA.

No Brasil, as redes subterrâneas iniciaram-se nos primeiros anos do século XX nas cidades com maior desenvolvimento, Rio de Janeiro e São Paulo, ambas com a concessão de distribuição de energia elétrica pela *Brazilian Traction Light and Power*, precursora da conhecida Light Serviços de Eletricidade S.A.

Os dados da Tabela 1 referem-se ao último levantamento das redes de distribuição elétrica no Brasil, mostra a grande diferença entre as redes elétricas aéreas e a subterrâneas. Os resultados confirmam que as redes elétricas subterrâneas representavam em 2011 apenas de 2% do total de redes de distribuição. (LIGHT, 2011).

Tabela 1 - Rede de Distribuição Subterrânea

Tipo	MT (km)	%	BT (km)	%	MT+ BT (km)	%
Aérea	293.626	98	488.724	99	782.350	98
Subterrânea	5.541	2	6.807	1	12.348	2
Total	299.167	100	495.531	100	794.699	100

Fonte: LIGHT (2011)

São Paulo e Rio de Janeiro são os estados que possuem a maior extensão de redes subterrâneas construídas no sistema reticulado, o que influenciou os sistemas de distribuição subterrânea adotado nas cidades de Brasília, Belo Horizonte e Curitiba. Pode-se dizer que até o começo do século XXI este é o sistema de distribuição subterrânea dominante no Brasil, conforme Brunherotto e Oliveira (2013).

A tabela 4 a seguir comparam as áreas de distribuição subterrânea da capital de São Paulo com a do Rio de Janeiro. Os dados foram obtidos através dos relatórios da AES Eletropaulo (2012) e da Light (2011).

Tabela 2 - Redes Subterrâneas - São Paulo e Rio de Janeiro

Redes Subterrâneas - São Paulo		Redes Subterrâneas - Rio de Janeiro	
Equipamentos	Dados Físicos	Equipamentos	Dados Físicos
Rede de Média Tensão	1.182 km	Rede de Média Tensão	3.200 km
Rede de Baixa Tensão	1.862 km	Rede de Baixa Tensão	2.400 km
Câmaras Transformadoras	4.057	Câmaras Transformadoras	3.891
Caixas de Inspeções	4.436	Caixas de Inspeções	11.500
Protetores de Redes	2.247	Protetores de Redes	2.560

Fonte: BARONE JR. (2013) e LIGHT (2011)

Em São Paulo, no ano de 1902, foram construídas três CTs alimentadas por circuitos primários radiais com tensão de 2,2 kV, mesma tensão das redes aéreas da época. Em 1926, o sistema já havia evoluído para 19 CTs, que passaram a ser alimentadas na tensão de 3,8 kV. Em 1931, existiam 41 câmaras com capacidade total de 12.300 kVA e, em 1951, o sistema havia evoluído para 40 mil kVA, quando a tensão gradativamente foi alterada para 21 kV. Essa tensão não foi escolhida aleatoriamente, a ideia era aproveitar os cabos de subtransmissão que ligavam as ETD de Paula Souza e Helvécia, conforme Goeking, (2010).

Importante observar que a configuração da rede de distribuição subterrânea da AES Eletropaulo tem características semelhantes ao modelo americano, foi implantado há quase 100 (cem) anos atrás, Na época foi escolhida a configuração com tensões no secundário do transformador de 208V (fase e fase) e 120V (fase e neutro) (AES ELETROPAULO, 2015).

Tais transformadores em sua maioria, não possuem chaveamento de ajustes (TAP's) que permitam a adequação para a tensão de 220V/127V. Deste modo, a restrição aos níveis estabelecidos no Decreto Presidencial nº 97.280/88 implica na adequação de todo o sistema de distribuição subterrâneo da AES Eletropaulo e

necessariamente a substituição de aproximadamente 2.400 transformadores (potência total aproximada de 1.400 MVA). As novas ampliações já estão seguindo este o decreto, quanto as substituições estão acontecendo de acordo com as necessidades de manutenção.

O modelo reticulado, também conhecido como *Network* é o sistema mais utilizado nas principais cidades brasileiras, esse sistema foi adotado em nosso trabalho científico, devido as suas características de funcionamento, que possuem alta confiabilidade. A Figura 2 apresenta um histórico elaborado pela AES Eletropaulo do sistema reticulado utilizado no centro da capital paulista.

Figura 2 - Mostra o esquema histórico do sistema reticulado. AES Eletropaulo

Fonte: PEDREIRO (2012)

2.2.2 REDE DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA NA CIDADE DE SÃO PAULO

A cidade de São Paulo é a maior dos 5.570 municípios do país. O município de São Paulo continua sendo o mais populoso do país com 12,1 milhões de habitantes, segundo o IBGE (2017).

A rede subterrânea da cidade de São Paulo possui cerca de 179.000 clientes atendidos e uma potência instalada de 2.114 MVA com: 4.436 de Poços de Inspeção; 4.057 de Câmaras Transformadoras; 2.247 de Protetores de Rede; 190 km de Redes em AT, 1.182 km em MT; 1.862 km em BT. Sendo 60 circuitos primários de 21 kV e 15 circuitos reticulados. BARONI JR (2013).

A figura 3, a seguir mostra os diversos tipos de distribuição da rede subterrânea da Cidade de São Paulo. O capítulo 2.2.5 apresenta os tipos de rede de distribuição subterrânea com detalhes.

Figura 3 - Mapa de distribuição elétrica subterrânea da cidade de São Paulo

Fonte: BARONE JR (2013)

2.2.3 REDE DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA NO BRASIL

Estima-se que o Brasil tenha 207,7 milhões de habitantes e uma taxa de crescimento populacional de 0,77% entre 2016 e 2017, um pouco menor do que a taxa 2015/2016 (0,80%) segundo o IBGE (2017).

Atualmente, no Brasil, há aproximadamente 1% de redes subterrâneas de distribuição e 99% de redes distribuição aéreas. Os dados a seguir foram extraídos da NT n° 0098/2014 SRD/ANEEL, de 06/11/2014 (ANEEL, 2014). Dos mais de 13.000 km de cabos elétricos enterrados, cerca de 90% estão concentrados em apenas cinco distribuidoras (ANEXO 8), conforme pode ser observado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Participação no total de redes subterrâneas do Brasil (percentual de km)

Fonte: ANEEL (2014)

De acordo com a NT n° 0098 ANEEL (2014), na evolução das redes subterrâneas na última década no Brasil, observa-se um aumento, em extensão, dessas redes a cerca de 17% entre 2001 e 2012. Por outro lado, no mesmo período, a extensão das redes aéreas cresceu em mais de 70%, o que levou a uma diminuição na participação das redes subterrâneas no total das redes de distribuição. Desses dados, após a privatização das distribuidoras e a reforma do setor elétrico com a adoção da regulação por incentivos, verifica-se uma diminuição dos investimentos em sistemas subterrâneos no setor de distribuição de energia elétrica brasileiro, em detrimento aos demais investimentos do setor de distribuição. ANEEL (2014).

Ainda, de acordo com a NT n° 0098 ANEEL (2014), a análise dos dados do Plano de Desenvolvimento da Distribuição (PDD), encaminhado pelas distribuidoras em 2013, indica que esse cenário de baixo investimento em sistemas subterrâneos não deve sofrer grandes alterações nos próximos anos (médio prazo). O Gráfico 2

mostra a previsão de investimento em redes subterrâneas no Brasil para o horizonte 2013 - 2017. Tendo-se como referência o valor investido pelas distribuidoras no ano de 2012 (cerca de R\$ 10 bilhões), constata-se que somente cerca de 1,0% dos investimentos realizados pelas distribuidoras é direcionado para sistemas subterrâneos.

Gráfico 2 – Investimentos em Redes Subterrâneas (Planejamento de todas distribuidoras)

Fonte: ANEEL (2014).

O Gráfico 3 permite comparar o quantitativo de redes subterrâneas de algumas cidades do mundo com alguns dos principais centros populacionais do Brasil. Observa-se uma grande defasagem das cidades brasileiras, até mesmo com relação a outras cidades de países em desenvolvimento, como Mumbai (Índia) e Cidade do Cabo (África do Sul). Tal fato revela que o Brasil apresenta um grande potencial para o desenvolvimento de redes subterrâneas.

Gráfico 3 – Percentual de Redes de Distribuição Subterrâneas em algumas cidades do mundo

Fonte: ANEEL (2014)

Na maioria dos casos, o processo de enterramento de redes nessas cidades foi realizado de forma gradual, contando com um planejamento de longo prazo e motivado pelo alto adensamento urbano e/ou para minimizar as consequências de desastres naturais. Como exemplo, pode-se citar o caso de Tóquio, onde, a partir de 1985, o desenvolvimento da distribuição de energia elétrica na cidade foi realizado por meio de redes subterrâneas, elevando sua participação no total de redes de 17% em 1965 para 46% em 2010.

2.2.4 VANTAGENS PARA O USO DE REDES SUBTERRÂNEAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM BAIXA E MÉDIA TENSÃO

Apesar do custo mais elevado, os sistemas subterrâneos são justificados em áreas com grande densidade de carga, locais com congestionamento de equipamentos aéreos e locais onde os fatores estéticos têm de serem levados em consideração: nas cidades históricas, turísticas, bairros típicos, loteamentos e por desmandos de bairros de alto poder aquisitivo (NAKAGUISHI e HERMES, 2011).

Algumas vantagens das redes de distribuição subterrânea (RDS) em relação à redes distribuição aérea (RDA):

- Alto nível de segurança;
- Menor possibilidade de falhas;
- Continuidade de serviço;
- Proteção da rede contra tempestades e fenômenos naturais, resultando em menores custos de operação e de manutenção;
- Redução da gravidade de acidentes envolvendo veículos;
- Redução de acidentes nas redes elétricas (furtos, pipas, construções, etc.).
- Melhor convivência com o meio ambiente e baixa poluição visual;
- Aumento do movimento comercial nas regiões;
- Satisfação dos clientes pela qualidade de energia;
- Satisfação das partes interessadas (comunidade, prefeituras);

- Melhora significativa da acessibilidade das pessoas portadoras de necessidades especiais;
- Valorização da região e dos imóveis;

A Lei Federal nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos e estabelece, em seu art. 6º, que toda concessão ou permissão pressupõe a prestação de serviço adequado, sendo este definido como aquele que satisfaz as condições de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia na sua prestação e modicidade das tarifas.

A sociedade e as instituições governamentais têm interesse na implantação das RDS e criam leis que visam o enterramento das Redes de Distribuição Aérea (RDA); a seguir alguns destes projetos de leis:

1) Nota Técnica nº 0098/2014-SRD/ANEEL Redes subterrâneas de distribuição de energia: situação atual e avaliação da necessidade de aprimoramento da regulação associada (ANEEL, 2014).

2) Projeto de Lei Federal 2975/2008 – Câmara Federal – Dispõe sobre a obrigatoriedade de serem subterrâneas as instalações de distribuição de energia elétrica, quando realizadas em ruas das cidades que tenham setores de valor histórico, reconhecidos por órgãos estatais, especialmente os tombados pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

3) Projeto de Lei Municipal 14.023/2005 – Município de São Paulo – Determina que as concessionárias, empresas estatais e operadoras de serviço a enterrarem todo o cabeamento (de rede elétrica, telefonia, televisão e afins) instalado no município. A regulamentação da lei, em vigor desde 2006, prevê o enterramento de 250 km de fios e cabos por ano.

No entanto, cabe destacar que, de acordo com a AES Eletropaulo, é impossível enterrar 250 km de fios e cabos por ano, mas 10 km por ano já causaria um caos no trânsito. A grande São Paulo possui cerca de 30 mil km de fios e cabos, apenas 10% estão enterrados o equivalente a 3 mil km. Enterrar 250 km de fios e

cabos levaria cerca de 10 anos, e uma recuperação do investimento em tarifa levaria 300 anos.

A prefeitura de São Paulo em setembro de 2017, anunciou uma parceria com a AES Eletropaulo para enterrar fios e cabos em 66 km de ruas da cidade. A iniciativa faz parte do programa Cidade Linda - Redes Aéreas e pretende atender a 137 vias e eliminar mais de 3 mil postes. De acordo com Marcos Penido, secretário municipal de Serviços e Obras, a iniciativa irá cessar o problema de interrupções de luz devido a chuvas fortes ou queda de árvores.

As obras serão divididas em três etapas. Na primeira, serão feitas supressão de postes e enterramento de cabos na região central da cidade. Estima-se que sejam enterrados cabos de telecomunicação em 52 km de 117 vias. A segunda fase contempla 13 vias da região da Vila Olímpia. Serão retirados 321 postes e enterrados 4,2 km de fios de rede elétrica e 6 km de fios de telefonia. Já a terceira parte irá eliminar 584 postes em sete vias nas redondezas no mercado municipal (AECWEB, 2017).

2.2.5 – TIPOS DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA

Vários arranjos de redes subterrâneas foram desenvolvidos. A escolha da alternativa mais adequada depende de uma série de fatores, tais como: as características físicas da área ou região, as características das cargas a serem alimentados, os recursos financeiros disponíveis, a confiabilidade desejada, a disponibilidade de fontes de energia (subestações), etc.

A evolução das redes de distribuição subterrâneas possibilitou o surgimento de novas tecnologias, com maior confiabilidade e eficiência ao sistema; pode se comparar os diversos tipos de redes subterrâneas (AZEVEDO, 2010), (BELVEDERE, 2014), (COPEL, 2010) e (LIGHT, 2011).

2.2.5.1 - SISTEMA RADIAL SEM RECURSO

O **Sistema de Distribuição Subterrânea Radial sem Recurso (Radial Simples)** possui uma linha principal central em média tensão que alimenta o primário dos transformadores, dos circuitos derivadores; os secundários destes transformadores fornecem energia para cada consumidor /cliente com extensão máxima de 200 m.

Esse é um sistema pouco confiável, pois possui somente um alimentador, mas com um custo muito baixo de instalação, a Figura 4 apresenta o esquema representativo deste sistema. Em caso de defeito, é possível isolar o(s) trecho(s) com o chaveamento (NA e NF).

Figura 4 - Ilustração da Rede Radial Sem Recurso

Fonte: AUTOR

2.2.5.2 - SISTEMA RADIAL EM ANEL COM RECURSO

O **Sistema de Distribuição Subterrânea Radial com Recurso** este sistema é mais confiável que o anterior, pois o fornecimento de energia das cargas é realizado através de manobras/chaveamentos (NA e NF), com várias opções e recursos de alimentação.

No caso de defeito, cada trecho pode ser isolado com a manobra das chaves localizadas, conforme Figura 5. Também possui baixo custo de instalação. Locais em São Paulo que utilizam este sistema: Av. 9 de julho, Av. Rebouças, Av. Eusébio Matoso.

Figura 5 - Ilustração da Rede Radial com Recurso

Fonte: AUTOR

2.2.5.3 - SISTEMA RADIAL EM ANEL ABERTO OU FECHADO

O **Sistema de Distribuição Subterrânea Radial em Anel Aberto ou Fechado** é um sistema de distribuição de dois ou mais alimentadores radiais que podem ser interligados através do fechamento do contato NA do anel aberto.

Este sistema requer maiores investimentos, pois cada ramal deve suportar toda a carga do outro ramal, isso implica que o dimensionamento cada ramal deve suportar o outro em caso de necessidade ou emergência. A Figura 6 apresenta o desenho esquemático do anel aberto com o contato NA de fechamento.

Figura 6 - Ilustração da rede Radial em Anel

Fonte: AUTOR

2.2.5.4 - SISTEMA RADIAL COM O PRIMÁRIO SELETIVO

O **Sistema de Distribuição Subterrânea Radial com Primário Seletivo** possui um alimentador principal e um alimentador reserva (comum) para cada carga ou bloco de cargas, comutadas através de uma chave de transferência automática.

O circuito reserva tem capacidade de assumir as cargas do outro alimentador por tempo indeterminado. A transferência para o circuito reserva e retorno para o principal deve ser feita de acordo com as necessidades de fornecimento ou por uma estratégia de operação do sistema.

A Figura 7 ilustra o sistema Radial com Primário Seletivo, muito utilizado para alimentação de grandes consumidores tais como: Hospital Beneficência Portuguesa, Shopping Paulista entre outros.

Figura 7 - Ilustração da Rede Radial com o Primário Seletivo

Fonte: AUTOR

2.2.5.5 - SISTEMA RETICULADO SIMPLES

O **Sistema de Distribuição Subterrânea Reticulado Simples (ou Reticulado Generalizado ou Network)** é definido por um conjunto de condutores e os demais componentes elétricos interligados, que têm por finalidade a distribuição de energia elétrica subterrânea em tensão secundária.

Caracteriza-se por ter os circuitos de baixa tensão de todos os transformadores de distribuição de uma determinada área interligados entre si, formando, assim, uma única e extensa malha/rede. Destaca-se ainda Figura 8 que, neste sistema, vários alimentadores primários se conectam alternadamente a transformadores e estes à malha/rede secundária. (BELVEDERE, 2014).

Figura 8 - Figura ilustrativa da rede reticulada Simples (Network).

Fonte: AUTOR

2.2.5.6 - SISTEMA RETICULADO DEDICADO

O **Sistema de Distribuição Subterrânea Reticulado Dedicado** ou **Mini Reticulado** ou **Spot Network** é muito utilizado e também possui altíssima confiabilidade em grandes edifícios. Dois ou mais alimentadores secundários exclusivos são protegidos através do protetor de redes, que são ligados ao barramento central de um único edifício.

A estabilidade deste sistema baseia-se na possibilidade da falta de um dos ramais, em que os outros ramais assumem na totalidade da carga sem problemas. Este sistema é muito utilizado para consumidores que necessitam de continuidade no fornecimento de energia, por exemplo, edifícios comerciais, prédios informatizados, centro empresariais, bancos, localizados em região de alta densidade de cargas.

Neste sistema reticulado possui vários transformadores ligados a uma malha/rede secundária de (BT) protegida por um equipamento chamado protetor de rede - *network protector*, utilizado em redes subterrâneas de energia no sistema reticulado simples e no sistema dedicado, que permite a inserção ou sua retirada

automática e segura de um transformador de energia. A Figura 9 mostra a rede reticulada dedicada.

Figura 9 - Figura ilustrativa da rede Reticulada Dedicada (Mini Reticulado)

Fonte: AUTOR

2.2.5.7 - SISTEMA HÍBRIDO

O Sistema de Distribuição Subterrânea Híbrido é um sistema derivado do reticulado de altíssima confiabilidade para o fornecimento em baixa tensão (BT). Vários prédios apresentam diversidade de cargas, algumas não requerem altos níveis de continuidade e podem ser alimentadas por um sistema que possui dois alimentadores diferentes, comutados através de uma chave de transferência automática assegurando o fornecimento de energia.

Centrais de ar condicionado, apartamentos e iluminação podem ser ligados ao sistema híbrido. A Figura 10 ilustra a chave de transferência automática no sistema híbrido.

Figura 10 - Figura ilustrativa da rede de distribuição Híbrida

FONTE: AUTOR

2.2.5.8 - SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO RESIDENCIAL SUBTERRÂNEA

O sistema de Distribuição Residencial Subterrânea (DRS) com a rede primária (MT) ligada em anel aberto e conectada da rede de distribuição aérea, é indicado para o uso em condomínios e loteamentos com baixa densidade de carga. A Figura 11 a seguir ilustra o esquema do sistema DRS.

Figura 11 - Figura ilustrativa da rede de distribuição Residencial Subterrânea

Fonte: AUTOR

Os transformadores utilizados são do tipo pedestal instalados em uma base de concreto ao nível do solo, aptos para suportar as intemperes. De acordo com a norma são pintados na cor verde.

2.2.6 – EQUIPAMENTOS E INFRAESTRUTURAS

Os equipamentos e infraestruturas utilizadas em sistemas de distribuição subterrâneas são diferentes e específicos para o uso, a seguir, de modo elucidativo dos principais componentes utilizados.

2.2.6.1 - PROTETOR DE REDE (*NETWORK PROTECTOR*)

Este equipamento é utilizado em redes de distribuição reticuladas, é composto por um caixa que funciona basicamente com um seccionador de baixa tensão em comutação automática. A supervisão é comandada por dois relés (de ângulo de fase e de tensão). Os relés são pré-ajustados e configurados para nas condições de perceber o fluxo reverso de potência, do lado da malha ou dos consumidores para o lado da concessionária, então eles comandam a abertura do seccionador de baixa tensão em comutação automática. A mesma função ocorre em sentido inverso, quando a malha reticulada ou o lado do consumo necessitar de mais potência, os relés comandam o fechamento do seccionador de baixa tensão em comutação automática (FERNANDES JR; MARTINELLI E NUNES, 2012) A seguir, a Figura 12 apresenta os vários tipos e fabricantes de protetor de rede utilizados no Brasil.

Figura 12 - Fabricantes de protetor de rede (*network protector*)

CM-22 Westinghouse

CM-52 Eaton

MG-08 General Electric

NP-147 - Richards

Fonte: PEDREIRO (2012)

A seguir, a foto 13 apresenta a ligação do transformador ao protetor de rede dentro da câmara transformadora.

Foto 13 - Mostra Protetor de Rede acoplado ao Transformador

Fonte: AES ELETROPAULO (2011) e PEDREIRO (2012)

2.2.6.2 - CAIXA DE AUTOMAÇÃO E COMUNICAÇÃO

A caixa de automação e comunicação (CAC) é um equipamento que foi desenvolvido inicialmente para monitorar as câmaras transformadoras subterrâneas, que possuem protetor de redes. Projetada para monitorar: (a) a presença de água na câmara; (b) o controle de temperatura no transformador; (c) o estado do protetor de rede (aberto ou fechado); (d) a medição de grandezas elétricas; (e) o controle de operação do protetor de rede; (f) a medição da tensão (da malha e do transformador) e (g) a presença humana na câmara. Todos os dados monitorados são transmitidos via sinal de rádio *Mesh*¹ para a Central de Operações da AES Eletropaulo.

As fotos da Figura 14 mostram a CAC instalada na Câmara Transformadora, equipamento submersível (IP 68).

1. Rádio *Mesh* é uma rede de comunicação (sem fio) formada por ondas de rádio organizadas em uma dada topologia.

Figura 14 - As Imagens fotográficas mostram a instalação da CAC dentro da Câmara Transformadora Subterrânea

Fonte: PEDREIRO (2012)

2.2.6.3 – SUPERVISÃO E CONTROLE DAS CÂMARAS TRANSFORMADORAS SUBTERRÂNEAS

A AES Eletropaulo tem projeto de instalar as CAC em cerca de 2.300 Câmaras Transformadoras e já foi instalada em 650 CT's na primeira fase, a CAC possui a funções de supervisão e controle dos equipamentos à distância com a Central de Operações.

Esta nova tecnologia contribuirá com a eficiência operacional do sistema elétrico permitindo o gerenciamento da rede subterrânea por meio da localização de possíveis falhas, antes mesmo da interrupção de energia. Outro benefício é a supervisão de abertura das tampas, o que pode evitar roubo de cabos, através de sensores que acusam a violação do espaço e enviam aviso automático à Central de Operações da distribuidora. Os primeiros testes do sistema foram realizados ao final de 2010, com a implantação piloto em três CT's subterrâneas. O desafio foi alcançar um sinal de rádio *Mesh* dentro das câmaras e a solução foi à instalação de uma antena especial enviando os dados diretamente para um aparelho receptor.

A automação utiliza como meio de comunicação para esses dados a tecnologia de rádio frequência (RF) na faixa livre de 900 MHz com o recurso de roteamento *Mesh*, que possui inteligência distribuída, auto regenerativa quanto às rotas, e ações de otimização para tratamento de eventos nos pacotes de dados transportados. Esses dados, após trafegarem pela rede RF, entram em um canal digital localizado nas subestações da concessionária ligado fisicamente ao Centro de Operações (CO) da AES Eletropaulo.

O telecomando do Protetor de Rede evita o deslocamento das equipes da AES Eletropaulo na realização de manobras, o que diminui o tempo das interrupções de energia. Dois sensores monitoram o nível de água que controla a infiltração de água e efluentes.

O sistema é composto por três elementos principais:

- Supervisão das Câmaras – composto por uma Unidade Terminal Remota e sensores para as grandezas monitoradas, Figura 15.

Figura 15 - Figura ilustrativa os sensores de monitoramento

Fonte: PEDREIRO (2015)

- Redes de Comunicação – composto pelos rádios instalados nas câmaras e pelos rádios externos que permitem o tráfego das informações, Figura 16.

Figura 16 - Comunicação do Centro de Operações com a Rede RF Mesh

Fonte: AES ELETROPAULO (2012)

- Na segunda fase além de todas as detecções e medições da primeira fase está sendo instalado um novo equipamento o **Controlador de Automação Programável da marca Schweitzer Engineering Laboratories (SEL) modelo 2411** (SEL, 2015), que possui mais recursos, com este controlador é possível medir várias grandezas elétricas (Tabela 3):

Tabela 3 - Grandezas medidas pelo Controlador de Automação Programável da marca SEL modelo 2411

Padrão	
Fundamental	IA, IB, IC, VA, VB, VC
Energia	Ativa, Reativa, Aparente (Consumindo ou Fornecendo)
Máximos e Mínimos	Frequência, Tensões (VA, VB, VC), Correntes (IA, IB, IC, 3I2), Potência Ativa, Reativa e Aparente
Demanda e Demanda de Pico	IA, IB, IC, IG, 3I2
Entrada Analógica	AIx01–AIx08
Variável Matemática	MV01–MV32
Analógica Remota	RA001–RA128
Opcional	
Térmica (com a opção do Módulo de RTDs SEL-2600 externo ou RTDs internos ou TC)	

Fonte: Manual do equipamento SEL (2015)

A seguir, a fotografia da Figura 17 mostra à direita o novo painel interno da CAC em montagem e à esquerda mostra o equipamento Controlador de Automação Programável da marca SEL-2411:

Figura 17 - Caixa de Automação e Comunicação com o Controlador de Automação Programável marca SEL

Fonte: LAVILL (2015)

O Controlador de Automação Programável (SEL-2411) interno à CAC receberá as medições/dados do Relé Eaton (Figura 11) interno ao Protetor de Rede, que será o responsável em fornecer as grandezas elétricas de potências (ativa, reativa e fator de potência) do transformador da rede reticulada.

Possibilita também receber as correntes medidas nos Transformadores de Corrente (TC's) a serem instaladas nas linhas primárias do reticulado, utilizadas nesta tese.

Centro de Operações – composto pelos servidores que receberão as informações coletadas e as disponibilizarão para os operadores, bem como, pelo aplicativo de gerenciamento da rede de comunicação. A fotografia (Figura 18) técnicos e engenheiros no controle do Centro de Operações localizado no município de Barueri em São Paulo.

Figura 18 - Imagem do Centro de Operações da AES Eletropaulo em Barueri

Fonte: Imagem fotografada pelo autor em visita ao Centro de Operações

As imagens das Figuras 19 e 20 são das telas do sistema de supervisão de dados (SCADA), utilizadas pela AES Eletropaulo na operação e gerenciamento das Redes de Distribuição Subterrâneas (RDS).

Figura 19 - Imagem da tela do programa supervisor das Redes Subterrâneas no Centro de Operações da AES Eletropaulo – Região

Fontes: AES ELETROPAULO (2012)

Figura 20 - Imagem da tela do programa supervisor das Redes Subterrâneas no Centro de Operações da AES Eletropaulo - Local

Fonte: AES ELETROPAULO (2012)

3 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

3.1 ESCOPO

Problemas de perdas de energia relacionados à energia reativa proveniente do baixo fator de potência das cargas são comuns nos grandes centros urbanos de distribuição subterrânea. Após exaustivas pesquisas sobre o assunto, foram configuradas várias propostas. A partir delas, foi possível estabelecer uma nova linha de trabalho, que visa à automação destes sistemas, utilizando-se da inteligência artificial com controle de Bancos de Capacitores (BC's) distribuídos e localizados em pontos determinados. Após estudos bibliográficos e para atender ao escopo, foi eleito um modelo matemático computacional inspirado na estrutura neural humana, com grande capacidade de cálculos no reconhecimento de padrões da inteligência artificial, conhecido como RNA.

Para este trabalho, foi escolhido o **Sistema de Distribuição Subterrânea Reticulado Dedicado ou Mini Reticulado ou *Spot Network*** atualmente, o sistema mais utilizado e também o mais seguro na continuidade do fornecimento de energia, com maiores perspectivas de novas ampliações e crescimento, portanto o mais adequado ao nosso projeto.

Outra decisão importante tomada foi delimitar o espaço para o estudo, pois as redes de distribuição subterrâneas das grandes cidades são muito complexas e extensas, com várias configurações e topologias de redes diferentes.

Na Figura 21 a seguir é apresentado o fluxograma da metodologia utilizada, ilustrando os principais passos adotados que visaram à solução dos problemas que constituem a nossa hipótese.

Figura 21 - Fluxograma da metodologia utilizada

Fonte: AUTOR

O fluxograma acima apresenta todo o passo a passo da metodologia proposta; (1) o primeiro passo foi a utilização da pesquisa na escolha do tipo da RDS a ser utilizada, o sistema reticulado foi o escolhido e já comentado anteriormente; (2) o segundo passo foi a realização das medições elétricas nos diversos pontos da RDS com o objetivo de avaliar e mensurar o FP e a qualidade da energia (por exemplo as harmônicas) fornecendo dados importantes para este trabalho; (3) o próximo passo também com o auxílio da pesquisa, foi a escolha do tipo da RNA a ser utilizada; (4) o passo seguinte foi a definição e a escolha do local

de estudo, a opção pela limitação da área de trabalho é devido a RDS do centro de São Paulo ser muito extensa e com várias topologias; (5) o passo seguinte foi levantar junto a concessionária os dados reais da região escolhida (ETD Augusta), a concessionária forneceu toda a topologia da rede já na linguagem do simulador (SinapGrid), e também os dados de correntes dos alimentadores da rede (verão/dezembro e inverno/julho), todos os dados foram compilados e inseridos já com os devidos ajustes no simulador; (6) o passo seguinte foi iniciar os testes de inserção de BC's nos diversos intervalos de hora, durante toda a semana, nos meses de verão e inverno, todas as possíveis combinações de BC's foram ensaiadas; (7) o próximo passo foi analisar as diversas inserções de BC's, com auxílio do simulador, foi possível escolher as 10 melhores combinações (menores perdas na rede) por intervalo de hora e com as novas 36 combinações de corrente, todos os dados foram planilhados; (8) através dos dados planilhados o próximo passo foi a criação da RNA utilizando recurso computacionais do *MatLab* (ANEXO 3); (9) após a criação da RNA o passo seguinte foi o treinamento e os testes utilizando os dados do simulador; (10) o passo seguinte foi a análise dos resultados obtidos e os testes de validação (em bancada) com a comunicação da RNA com a rede; (11) este último passo foi a análise da infraestrutura necessária para a implantação da metodologia proposta.

3.2 MEDIÇÕES ELÉTRICAS E AVALIAÇÕES DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA

As medições elétricas realizadas no período de julho a dezembro de 2014, em vários consumidores da RDS tiveram grande importância, pois possibilitaram verificar as características e o comportamento das cargas, o fator de potência e os níveis de harmônicas, fatores fundamentais para o dimensionamento e proteção de BC's. Outra observação feita foi a análise dos possíveis locais para a instalação de BC's junto às cabines de barramentos, pois os espaços dentro das CT's são muito

reduzidos, e também são locais que exige equipamentos especiais com grau de proteção IP 68.

As medições elétricas foram realizadas nos cabos de BT que saem das CT's e chegam à cabine de barramentos da concessionária junto ao consumidor (barramento do reticulado) por equipamento de medição contínua com registro em memória de massa, ou seja, por analisadores de energia. Foram registradas as características das cargas, as potências (ativa, reativa e aparente) e os níveis de harmônicos.

Apesar de muitas dificuldades para as realizações das medições, devido à necessidade do acompanhamento de técnicos da concessionária local, elas registraram as características das cargas, potências (ativa, reativa e aparente) e os níveis de harmônicos nas redes subterrâneas nos 8 consumidores/clientes selecionados pelos técnicos da AES Eletropaulo dentro da região de distribuição subterrânea no centro de São Paulo, conforme a Figura 3.

Para as medições foram utilizados 6 analisadores da marca RMS modelo Marh-21. O equipamento é um medidor e registrador de grandezas em tempo real para sistemas elétricos monofásicos, bifásicos e trifásicos em BT. A partir dos sinais de entrada de tensão e corrente o equipamento calcula e indica continuamente no mostrador os valores de tensão, corrente, fator de potência, potências (ativa, reativa e aparente), energias, distorção harmônica total de tensão e corrente por fase. O equipamento indica os valores medidos, e também os armazena na sua memória de massa para que posteriormente os dados possam ser transferidos, via RS-232, para o computador, através do software chamado Anawin, onde podem ser analisados na forma de gráficos e relatórios.

Com as características das curvas de potência das regiões medidas, foi possível com a análise dos dados colhidos, concluir que existe a necessidade de correções nas perdas reativas e também o controle dos níveis das harmônicas nas RDS. Para garantir a privacidade e segurança dos dados dos consumidores envolvidos, seus nomes foram substituídos por letras: A, B, C, D, E, F, G, H.

3.2.1 - DIAGNÓSTICO SOBRE O FATOR DE POTÊNCIA

A análise do fator de potência foi motivada pela influência que este efeito pode causar nas redes como, por exemplo, o aumento das perdas de energia nas linhas com a elevação das correntes elétricas.

O FP do Consumidor A apresenta-se fora da faixa dos valores estipulados pela Resolução 414 da Aneel (2010), que é compreendida entre 0,92 reativo indutivo e 0,92 reativo capacitivo. O Gráfico 4 é dividido em duas partes a primeira, à esquerda, refere-se ao barramento de todo o prédio e a segunda, à direita, da administração.

É possível notar que em ambas existe a necessidade de correção. Verifica-se que há momentos em que o fator de potência chegou a 0,639, conforme Gráfico 4.

Gráfico 4 - Fator de Potência do Consumidor A (%FP/DIA)

Fonte: Figura obtida no software Anawin pelo autor

O Consumidor B apresentou durante alguns poucos momentos o fator de potência dentro da faixa definida, porém, a predominância é da não regularidade, conforme o Gráfico 5 aponta.

Gráfico 5 - Fator de Potência do Consumidor B (%FP/DIA)

Fonte: Figura obtida no software Anawin pelo autor

O Consumidor C é um exemplo de fator de potência controlado: todos os seus valores estão dentro dos limites recomendados pelo órgão regulador (neste consumidor existem bancos de capacitores reguladores instalados), Gráfico 6.

Gráfico 6 - Fator de Potência Consumidor C (%FP/DIA)

Fonte: Figura obtida no software Anawin pelo autor

O Consumidor D apresenta uma curva de fator de potência em que, na maior parte do período, os valores encontram-se dentro dos limites estipulados, contudo, existem 3 picos que extrapolam os limites capacitivos, Gráfico 7.

Gráfico 7 - Fator de Potência do Consumidor D (%FP/DIA)

Fonte: Figura obtida no software Anawin pelo autor

Conforme mencionado acima todos estes consumidores são de grande porte devido ao seu tamanho, sua interferência na qualidade da energia na região é expressiva, portanto, caso o fator de potência deles não seja corrigido, os efeitos serão repassados para a rede, prejudicando todos os Consumidores da região.

De quatro Consumidores selecionados somente um apresentou o FP conforme recomendado, como pode ser visto no Gráfico 8. Outros consumidores/clientes da região que não foram medidos, podem apresentar situação similar.

Gráfico 8 - Defasagem em Graus

Fonte: AUTOR

Verificou-se por extrapolação de dados que a região do centro da cidade de São Paulo necessita de correção do FP em decorrência dos dados expostos.

3.2.2 - DIAGNÓSTICO SOBRE O NÍVEL DE HARMÔNICOS

A motivação do diagnóstico dos níveis de harmônicos nas redes deu-se em decorrência da deterioração da qualidade de energia, das avarias ou até da destruição de equipamentos que eles podem causar se presentes em altos níveis. Outro motivo importante para análise das harmônicas é devido à interferência que elas podem causar no dimensionamento dos capacitores, pois os valores dos capacitores são alterados/modificados a fim de suportar a presença de harmônicas na linha (ABNT, 2010).

Um exemplo prático é elevar a especificação da tensão nominal dos capacitores utilizados com o objetivo de suportar as exigências das harmônicas (aumentando assim o grau de proteção), para isso é necessário corrigir a Potência Reativa com o intuito de manter a mesma impedância de correção da linha.

Por exemplo:

$Z_{220V} (\Omega) = Z_{380V} (\Omega)$ (igualdade das impedâncias dos capacitores)

$$U_{220V}^2 / Q_{220V} = U_{380V}^2 / Q_{380V} \Rightarrow (220V)^2 / Q_{220V} = (380V)^2 / Q_{380V} \Rightarrow \boxed{Q_{380V} = 3 \times Q_{220V} \text{ (kVAr)}}$$

(1)

Portanto:

Para substituir um Capacitores de 220V (Q_{220V}), deve-se triplicar a capacidade do Capacitores de 380V (Q_{380V}), quando ligados na tensão de 220V.

As características de diversos equipamentos instalados na rede causam um aumento dos níveis de harmônicas devido à presença de altas frequências utilizadas, por exemplo, um computador apresenta uma frequência de 3.10 GHz no processador, e o monitor por sua vez opera em 75 Hz, cada uma dessas frequências gera harmônicas na rede elétrica. Conforme apresentado em Kasinkci (2000), as tensões de alimentação sobrepostas a tensões induzidas podem resultar em altas correntes nos capacitores danificando-os ou até destruindo-os. Um segundo efeito retratado é a ressonância entre as frequências dos capacitores e dos harmônicos, que também pode levá-los à avaria permanente.

Na Figura 22 vê-se a condição dos harmônicos no consumidor E, onde se pode identificar em uma das fases do consumidor a presença de harmônicas além da própria frequência fundamental. A fase A apresenta corrente de 793,74 A e o DHT com valor de 3,04%, o que não é um valor expressivo.

Figura 22 - Análise dos Harmônicos na fase A do Consumidor E

Fonte: Figura obtida no software Anawin pelo autor

Na Figura 22 vê-se a condição dos harmônicos no consumidor E, onde se pode identificar em uma das fases do consumidor a presença de harmônicas além da própria frequência fundamental. A fase A apresenta corrente de 793,74 A e o DHT com valor de 3,04%, o que não é um valor expressivo.

A Figura 23 apresenta-se a distorção causada pelos harmônicos em todas as fases no Consumidor E, que também não é significativa.

Figura 23 - Consumidor E Análise de Harmônicos em todas as fases

Fonte: Figura obtida no software Anawin pelo autor

O Consumidor F apresentou o DHT em 9,25%. Sua fase A apresentava corrente de 1.512,54 A no momento da medição. O espectro de frequências harmônicas apresentou valores maiores em comparação com o Consumidor E, assim como a deformação presente na forma de onda, conforme a Figura 24.

Figura 24 - Análise dos Harmônicos na fase A do Consumidor F

Fonte: Figura obtida no software Anawin pelo autor

Os efeitos da presença de harmônicos no Consumidor F podem ser vistos em todas as fases conforme a Figura 25 onde nota-se presença acentuada da distorção das formas de onda nas correntes.

Figura 25 - Consumidor F Analise de Harmônicos em todas as fases

Fonte: Figura obtida no software Anawin pelo autor

Na Figura 26, a distorção presente no Consumidor G é causada pelo alto nível de harmônicos presentes na sua rede. A DHT de 13,20%, apresentada na Figura 25, para uma corrente de 540,04 A é um valor importante a ser considerado.

Figura 26 - Análise dos Harmônicos na fase A do Consumidor G

Fonte: Figura obtida no software Anawin pelo autor

A distorção maior em relação às anteriores é refletida em todas as fases conforme Figura 27.

Figura 27 - Cliente G Analise de Harmônicos em todas as fases

Fonte: Figura obtida no software Anawin pelo autor

O Consumidor H apresenta o caso mais grave de distorção da corrente medida causada pelas harmônicas, o DHT chega a 40,58%. Esta distorção torna a forma de onda da corrente irreconhecível, conforme Figura 28.

Figura 28 - Consumidor H Análise de Harmônicos na fase A

Fonte: Figura obtida no software Anawin pelo autor

As deformações são também presentes nas outras fases, conforme Figura 29.

Figura 29 - Consumidor H, formas de onda deformadas por harmônicas

Fonte: Figura obtida no software Anawin pelo autor

Os dados sobre o DHT mostraram que, dos 4 Consumidor/clientes analisados(E, F, G, e H), somente 2 (E e F) estavam com os níveis de harmônicos regulados.

Entre estes dois somente um possuía uma margem razoável de 6,94%. O Gráfico 9 apresenta os dados condensados.

Gráfico 9 - Clientes DHT

Fonte: AUTOR

Os resultados obtidos com as medições dos níveis das harmônicas deixa clara a necessidade de um estudo mais específico sobre este tema, com mais estudos e o modo de como as harmônicas serão tratadas. Deixa claro também a importância e os cuidados que devem ter no momento das instalações dos BC's.

3.3 CRIAÇÃO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL

Um dos destaques mais relevantes na criação da RNA está na capacidade de aprender a partir da apresentação de amostras (padrões) que exprimem o comportamento do sistema, sendo que, em seguida, após a rede ter aprendido o relacionamento entre as entradas e saídas, esta é capaz de generalizar as soluções. A rede será então capaz de produzir uma saída próxima daquela esperada a partir de quaisquer sinais inseridos em suas entradas (detalhes ANEXO 3).

Portanto, o processo de treinamento de uma RNA consiste da aplicação de passos ordenados que sejam necessários para sintonização dos pesos sinápticos e limiares de seus neurônios, tendo-se como objetivo final a generalização de soluções a serem produzidas pelas suas saídas, cujas respostas são representativas do sistema físico que estas estão mapeadas.

O conjunto desses passos ordenados visando o treinamento da rede é denominado de algoritmo de aprendizagem. Ao longo de sua aplicação, a rede será então capaz de extrair características discriminantes do sistema a ser mapeado por intermédio de amostras que foram retiradas de seu contexto.

Normalmente, o conjunto total das amostras disponíveis sobre o comportamento do sistema é dividido em dois subconjuntos, os quais são denominados de subconjunto de treinamento e subconjunto de teste. O subconjunto de treinamento, composto aleatoriamente com cerca de 60 a 90% das amostras do conjunto total, será usado essencialmente no processo de aprendizado da rede. Já o subconjunto de teste, cuja composição está entre 10% e 40% do conjunto total de amostras, será utilizado para verificar se os aspectos referentes à generalização de soluções por parte da rede já estão em patamares aceitáveis, possibilitando assim a

validação da topologia assumida. Contudo, o dimensionamento desses conjuntos deve também levar em consideração a caracterização estatística dos dados.

Durante o processo de treinamento de RNA, cada apresentação completa das amostras pertencentes ao subconjunto de treinamento, visando, sobretudo, o ajuste dos pesos sinápticos e limiares de seus neurônios, será denominada de época de treinamento.

O treinamento escolhido para a RNA foi o supervisionado (*Feedforward*), o que consiste em se ter disponível, considerando cada amostra dos sinais de entrada, as respectivas saídas desejadas, ou seja, cada amostra de treinamento é composta pelos sinais de entradas e suas correspondentes saídas. Desta forma, há então a necessidade de se disponibilizar uma tabela de dados Entradas/Saídas representativa do processo, também conhecida por tabela Atributos/Valores, sendo a partir de tais informações que as estruturas neurais formularão as hipóteses sobre aquilo a ser aprendido (SILVA, I. N.; SPATTI, D.H.; FLANZINO, R.A., 2010).

3.4 CARACTERÍSTICAS DO SIMULADOR DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO

O simulador computacional de redes de distribuição utilizado nos laboratórios de Redes Inteligentes (*Smart Grid*) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) possui a plataforma de desenvolvimento que possibilita a análise integrada de redes de energia elétrica de alta, média e baixa tensão. Este simulador computacional de redes de distribuição é um programa (*software*) desenvolvido na USP em conjunto com a empresa Sinapsis.

A proposta deste software é a flexibilidade para o estudo de qualquer conjunto de redes e, para atender a esta meta, sua principal característica é não impor restrições quanto a:

- Topologia de redes: malhas internas, malhas entre redes, geração distribuída, sistemas reticulados, etc;

- Número de patamares (intervalos) para cálculo de fluxo de potência;
- Número de pontos das curvas de demanda das cargas;
- Número de anos para estudos de mercado e planejamento;

3.5 INTRODUÇÃO DOS DADOS DA REDE NO SIMULADOR

A AES Eletropaulo forneceu o módulo da rede de distribuição subterrânea no centro da cidade de São Paulo, já com todas as informações e características necessárias da RDS, estes dados foram inseridos no simulador de rede.

Com a inclusão dos dados foi possível ter uma visão de toda a rede subterrânea com as suas diversas topologias. Para um bom desenvolvimento desta tese, foi necessário reduzir e delimitar a área de trabalho devido às diversas topologias de redes existentes. Após uma análise de viabilidade foi escolhida a região da ETD (Estação de Transmissão e Distribuição) Augusta, que inclui a Av. Paulista, com uma rede de distribuição subterrânea reticulada dedicada ideal para este trabalho.

A rede reticulada escolhida da ETD Augusta é alimentada por quatro circuitos elétricos distintos de MT, todos originados desta subestação e são apresentados na de cor vermelha na Figura 30.

Figura 30 – Área delimitada para os testes.

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

3.6 COLETA E ANALOGIA DOS DADOS

Com todas as redes e ramais ajustadas para os 7 dias da semana e 2 estações (verão e inverno) no simulador computacional de redes, chegou-se a etapa de coletas de dados para a criação da RNA.

Para tal foi desenvolvido um algoritmo no código-fonte (Toolkit do software do simulador) para ser acionado, $(2^{12}) = 4096$ possibilidades de BC's no mesmo patamar de horário, (sendo 4096 possibilidades x 24 horas x 7 dias da semanas x 2 estações = 1.376.256 possibilidades), para esta análise foi desenvolvido um programa em C++ e em conjunto com as funcionalidades do simulador, especificamente o fluxo de potência e o cálculo das perdas técnicas, e também a funcionalidade de inserir e retirar os bancos de capacitores nos locais pré-

determinados. Foi possível verificar quais eram as 10 melhores combinações de BC's em cada patamar horário, levando em consideração as perdas de energia ($R.I^2$) de toda a rede de cada combinação (patamar).

Esse processo gerou duas planilhas, uma denominada **Entrada** contendo: 2 estações, 7 dias na semana, 24 patamares de horas com 10 pacotes das leituras de correntes, totalizando 3360 variações e outra denominada **Saída** contendo: 2 estações, 7 dias na semana, 24 patamares de horas com as dez melhores combinações de 12 BC's acionados, totalizando 3360 variações.

Com uma entrada de dados contendo as variações de 36 leituras de correntes e uma saída contendo as variações dos dados de 12 BC's, pode-se então iniciar o treinamento da RNA. Os pesos sinápticos criados irão ponderar as 3360 variações de entradas, e irão deduzir qual combinação de 12 BC's será acionado na saída, baseado nas mais distintas leituras de corrente em tempo real.

Observando que o motivo de se ter 10 melhores resultados para cada patamar de horas é devido à busca pela efetividade, pois mesmo que a RNA não acerte ao não apontar o 1º melhor resultado em acionamentos de BC's para aquele patamar específico, ela optará por uma das outras das nove melhores combinações, gerando um resultado bem satisfatório considerando que foram selecionadas as 10 melhores combinações de acionamento de BC's em um universo de ($2^{12} = 4096$ possibilidades) para cada patamar, e melhor ainda ao consideramos que nestes 10 melhores acionamentos de BC's escolhidos a variação do FP entre eles não é muito expressivo.

3.7 SIMULAÇÃO DE INSERÇÃO E RETIRADA DE CAPACITORES NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA RETICULADA

A concessionária local forneceu os registros horários das correntes dos 4 circuitos distribuidores da saída da ETD Augusta, cuja medições foram realizadas nos meses de dezembro 2015 (verão) e junho 2016 (inverno). Estes dados mensais

foram compilados em uma planilha semanal horária para verão e outra para inverno; elaboradas para cada um dos 4 circuitos distribuidores da ETD.

Estas planilhas com os registros das correntes foram inseridos no simulador e as correntes distribuídos em toda a rede reticulada de estudo.

Posteriormente foram realizados ensaios de inserção e retirada de BC's, em toda a região da ETD Augusta distribuídos em 12 locais de inserção de BC's e 7 pontos de medições, de onde resultaram 36 leituras de medição de corrente primárias da rede (sendo 4 leituras de corrente para 6 pontos e, do ponto de medição de número 1 tem 12 leituras, totalizando 36 leituras de correntes).

O simulador de redes calcula e fornece o resultado das perdas de energia nas linhas de distribuição de cada ensaio. Cada ensaio simula a entrada/saída dos 12 BC's na rede e todas as combinações possíveis ($2^{12} = 4096$ combinações) para cada um dos 24 patamares de horas. Foram selecionados em cada patamar de horas os 10 ensaios que obtiveram menor perda de energia, ou seja, a cada patamar de hora, os resultados dos 10 ensaios mais eficientes foram registrados durante o dia todo e durante todos os dias da semana, nos meses de dezembro (verão) e de junho (inverno).

Visando uniformidade dos BC's, foram escolhidos dois valores fixos: 50 e 200 kVAr, ou seja, os que obtiveram os melhores resultados nos testes. Repetitivamente, foram ensaiadas várias situações sem BC's, e com BC's, 50 kVAr e 200 kVAr nos vários locais determinados da rede.

A Tabela 4 apresenta um exemplo do resultado de uma das 10 melhores leituras com menores perdas de energia e com os valores das correntes dos 36 pontos de medição da rede, registrados em cada patamar de horas durante 24 horas em uma quinta-feira de inverno. Os dados desta tabela foram utilizados na montagem da RNA. As colunas de 0 a 11 indicam a situação de cada um dos 12 bancos e as colunas RA0 a RA35 indicam as correntes (A) nos 36 pontos de leituras.

Tabela 4 - Dados dos ensaios de inserções de Bancos de Capacitores

INVERNO QUINTA FEIRA																						
RANKING												CORRENTES (A)										
PATAMAR	BANCO DE CAPACITORES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	P (KW)	RA0	RA1	RA2	RA3	ATÉ	RA33	RA34	RA35
0	Combinação 3051	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	52,200414	7,283224	41,38301	27,173811	68,556809		11,894456	7,422028	2,985394
1	Combinação 3051	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	47,132088	8,239811	41,2722	24,274098	65,541223		10,40957	6,743047	2,7894
2	Combinação 3051	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	43,704301	7,932258	39,964491	22,486327	62,440952		9,834287	6,312858	2,466215
3	Combinação 3051	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	44,157172	7,932929	40,886182	21,586645	62,452628		9,625174	6,324741	2,458408
4	Combinação 3051	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	57,380597	9,308593	47,001003	24,595255	71,574394		10,690946	7,021718	2,701836
5	Combinação 4075	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	84,914748	11,23564	56,413372	30,693411	87,103751		14,080851	9,411136	3,30041
6	Combinação 4095	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	175,54192	15,3666	80,017709	50,611742	130,6122		23,132605	15,4607	4,859703
7	Combinação 4095	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	248,82727	23,01825	105,49999	53,663323	159,16301		24,987796	17,0449	4,753963
8	Combinação 4095	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	276,41831	22,54474	114,04227	53,955597	167,99496		25,703037	17,50884	4,511151
9	Combinação 4095	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	307,13815	23,77542	119,54343	57,431408	176,97203		27,18466	17,96084	4,364769
10	Combinação 4095	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	327,93206	24,21524	121,8156	61,224631	183,03888		27,887018	17,67713	4,139015
11	Combinação 4095	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	341,36513	24,38668	123,49715	61,989899	185,48575		28,299557	17,86198	4,211957
12	Combinação 4095	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	353,77765	25,4272	125,50002	62,695602	188,19416		28,664445	18,20338	4,25525
13	Combinação 4095	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	368,0522	26,79189	128,80249	64,274337	193,07538		30,034165	19,14896	4,334506
14	Combinação 4095	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	360,33191	25,17222	125,48507	65,589487	191,07454		31,033175	19,65435	4,261392
15	Combinação 4095	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	355,85077	21,99459	120,44528	65,817234	186,2624		30,463928	19,92783	4,330905
16	Combinação 4095	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	326,73904	15,87517	114,35793	64,163644	178,51942		29,122116	18,7128	4,158699
17	Combinação 4095	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	274,37061	18,09538	103,90226	59,295042	163,19231		26,543755	16,57557	3,938408
18	Combinação 4095	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	201,57368	20,36802	88,196894	52,800086	140,98763		22,455852	14,81775	3,620257
19	Combinação 4095	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	155,37945	16,0036	74,112914	48,476529	122,56329		20,665577	13,42358	3,570154
20	Combinação 4095	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	126,98715	12,50758	60,268357	48,126815	108,29874		19,706991	12,6634	3,814046
21	Combinação 4075	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	100,68908	10,50755	52,821874	44,489077	97,266411		18,789581	12,18711	3,673854
22	Combinação 3051	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	82,989304	8,825643	49,34763	39,114012	88,4516		15,976032	10,03655	3,620471
23	Combinação 3051	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	70,727767	8,365925	47,361958	35,038341	82,397185		14,380048	8,975656	3,571205

Bancos de Capacitores: 0 – desligados e 1 – ligado

RA0 a RA35 – leituras de correntes (A) dos pontos da rede

Fonte: AUTOR

3.8 FORMATAÇÃO DOS RESULTADOS PARA USO NA REDE NEURAL ARTIFICIAL

Os dados obtidos nos testes de inserção de BC no simulador de redes foram todos conferidos e tratados para serem utilizados na criação da RNA.

A seguir, a Tabela 5 mostra os dados utilizados na criação da RNA, os dados das 36 correntes representaram dados de entradas da RNA, e as posições dos BC's (ligados ou desligados) as saídas da RNA. Os dados INV/VER, Semana, Patamar e as 10 Combinações foram utilizados como identificadores dos dados.

Tabela 5 - Dados dos ensaios de inserções de Bancos de Capacitores (c/10 combinações)

INV/VER	Semana	Patamar	Combinações	med0	med1	med2	med3	até	med34	med35	BC0	BC1	BC2	BC3	BC4	BC5	BC6	BC7	BC8	BC9	BC10	BC11
Inverno	Domingo	0	0	6.813.197	38.616.694	25.358.472	63.975.092		6.949.285	2.795.043	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
Inverno	Domingo	0	1	6.858.471	38.654.536	25.358.560	64.002.493		6.949.246	2.795.029	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
Inverno	Domingo	0	2	6.812.538	38.789.134	25.358.561	64.140.951		6.949.246	2.795.029	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
Inverno	Domingo	0	3	6.858.056	38.877.745	25.358.649	64.199.146		6.949.208	2.795.014	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
Inverno	Domingo	0	4	6.813.192	38.616.729	25.393.594	64.008.241		6.940.564	2.794.839	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0
Inverno	Domingo	0	5	6.858.480	38.654.584	25.393.690	64.043.932		6.940.547	2.794.824	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0
Inverno	Domingo	0	6	6.812.533	38.789.174	25.393.688	64.180.837		6.940.547	2.794.824	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0
Inverno	Domingo	0	7	6.813.192	38.616.727	25.402.683	64.017.593		6.954.077	2.802.292	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1
Inverno	Domingo	0	8	6.858.481	38.654.581	25.402.776	64.052.609		6.954.057	2.802.292	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1
Inverno	Domingo	0	9	6.858.066	38.877.794	25.393.784	64.247.274		6.940.531	2.794.810	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0

RA0 a RA35 – leituras dos pontos dos 36 medições de correntes (A)

Bancos de Capacitores: 0 – desligados e 1 – ligado

Combinações: 0 a 10 de bancos (como exemplo, domingo de inverno)

Fonte: AUTOR

3.9 TREINAMENTO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL

A criação da RNA foi realizada através de *Tool/Boxs* do programa de cálculos avançados *MatLab* (MATLAB, 2015), com base nas planilhas Entrada e Saída criadas no tópico coleta de dados (ANEXO 4).

A planilha Entrada contém as 3360 variações das 36 leituras das correntes elétricas, que serão importadas como *Input*. Valores de testes estarão importados no Sample (amostra). A planilha Saída contém as 3360 variações de 12 acionamentos de bancos de capacitores, que serão importados como *Target* (alvo).

O tipo de rede criada foi uma *Feedforward Backpropagation*, onde *Feedforward* traz as informações da RNA contendo erros e pesos, que são repassados para frente a cada camada e jamais voltarão para a camada anterior. Já o *Backpropagation* (calcula a contribuição de erro de cada neurônio após processar um lote de dados) mostra que a habilitação da rede é do tipo Supervisionado.

A Figura 31, apresenta o fluxograma de treinamento da RNA, comparando o estudo (atual) e proposto (novo trabalho) no programa *MatLab*.

Figura 31 - Fluxograma do treinamento de RNA da RDSR no programa *MatLab*

Fonte: AUTOR

Neste processo, têm-se as seguintes funções (*MatLab*, 2006):

- Função de treinamento *Levenberg-Marquardt* (*TrainLM*), que procura o mínimo da função, e converge mais rapidamente do que um algoritmo genético;
- Função de aprendizagem por adaptação (*LearnGDM*), através de descida de gradiente com função de aprendizagem de peso/desvio de momento, um variante da *Backpropagation*;

- Função de *Performance (MSE)*, com desempenho obtida através do erro médio quadrático;

- Função de Transferência logarítmica *sigmoidal (Logsig)* e tangente hiperbólica *sigmoidal (Tansig)*, a primeira calcula o valor da saída do neurônio a partir das entradas da rede de trabalho, ou seja, o valor que será transferido para a próxima camada utilizando uma função logarítmica *sigmoidal* que varia entre 0 e +1. Possui formato de S, sendo uma função não linear. A segunda apresenta a mesma definição da função anterior, entretanto, utiliza função de transferência que varia entre -1 e +1.

O número de camadas de cada neurônio em uma topologia, é 2 e 10 respectivamente, devido principalmente ao melhor aproveitamento da RNA ser através do menor número de camadas possíveis para o seu tipo de treinamento e o melhor valor de neurônios em cada camada ser um pouco abaixo do número de entradas, evitando *Underfitting* (não convergência das informações por camadas) e *Overfitting* (Simples memorização das entradas, como uma simples máquina de estados), respectivamente. Abaixo, na figura 32, a topologia da RNA criada.

Figura 32 - Tela do *MatLab Too Box* – botão *Create*

Fonte: Figura obtida no software *MatLab* pelo autor

A RNA foi criada, ao acionar a aba *Train* o treinamento será conduzido comparando os dados importados no *Input* e no *Target* até deduzir as relações matemáticas que os associem. Abaixo, na Figura 33, é mostrada a condução do treinamento.

Figura 33 - Tela do *MatLab Too Box* – botão *Train*

Fonte: Figura obtida no software *MatLab* pelo autor

Quando qualquer uma das quatro barras azuis se tornar verde, quer dizer que a RNA foi treinada com sucesso. Ao acionar o botão virtual *Regression* será mostrada a precisão da RNA criada e treinada. A Figura 34 mostra a precisão obtida através da topologia escolhida e do treinamento realizado.

Figura 34 - Tela do *MatLab Too Box* – botão *Regression*

Fonte: Figura obtida no software *MatLab* pelo autor

Média de precisão igual a **0.99555** de um valor até 1.00, mostrando o grande sucesso do treinamento e principalmente que a taxa de acerto no acionamento de bancos de capacitores está quase perfeita. O treinamento mais detalhado da RNA no *MatLab* pode ser visto no ANEXO 4.

3.10 TESTE INICIAL DE VALIDAÇÃO E PRECISÃO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL

Os valores binários adotados são: 400 equivalem a um banco de capacitor ligado e **100** equivalem a banco de capacitor desligado. Na linguagem da programação, é comum adotar **1** para verdadeiro ou ligado e **0** para falso ou desligado, mas em uma RNA esses valores são muito próximos, e ainda se soma o fato da RNA não fornecer **0** (zero) como uma saída, o que geraria dúvida na interpretação dos dados. Por isso na planilha Saída todos os valores **0** foram convertidos para **100** e todos os valores **50** e **200** (que equivalia à potência em kVar) foram alterados para **400**. Após o treinamento da RNA, em uma saída fornecida, a leitura da posição física entre os 12 bancos de capacitores indicaria a sua potência

em kVAr. Tendo **100** - como desligado e **400** - como ligado. Uma boa distância de valores foi alcançada, podendo determinar precisamente o status para o qual cada banco deverá passar. Os testes foram feitos jogando valores aleatórios retirados da planilha de Entrada e os anexando a planilha *Sample*, rodando a RNA criada e treinada e gerando 12 valores de saídas para cada 36 valores de entrada, correspondendo ao acionamento de bancos de capacitores e leitura de correntes, respectivamente.

Foram realizados 5 testes de inserção das 36 leituras (ANEXO 4) verificando o comportamento da RNA funcionado/validação, todos os resultados obtiveram taxas de acerto muito próximas a 100% comprovando o sucesso da RNA treinada.

3.11 ACOPLAMENTO DA RNA NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA RETICULADA

Após os testes de precisão da RNA, o próximo passo é o acoplamento da RNA com a infraestrutura existente da rede subterrânea. O Controlador de Automação Programável modelo SEL-2411 é o equipamento atualmente utilizado, pode ser personalizado com diversas opções de entradas e saídas (digitais e analógicas), de forma a atender aplicações de monitoramento, controle, proteção e automação. A realização dos testes práticos teve como objetivo demonstrar a comunicação de dados entre os pontos de medições feitos pelo SEL-2411 e a leitura e interpretação destes pela RNA treinada e acoplada, e por último o conjunto acionamento os BC's.

3.11.1 TESTES DE VALIDAÇÃO DA RNA ACOPLADA AO EQUIPAMENTO

A validação desta proposição foi realizada em bancada nos Laboratórios do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, (IFSP), onde foi montada uma bancada com dois Controladores de Automação Programáveis SEL-2411 cedidos pela empresa *Schweitzer Engineering Laboratories* (SEL) o mesmo utilizado concessionária nas câmaras transformadoras, acoplado aos bancos de cargas resistiva, indutiva e capacitiva. Cada um contém 4 estágios de carga, um

computador com o programa AcSELeator em conjunto com a RNA criada e treinada especificamente para estes testes e supervisionados por 3 voltímetros e 3 amperímetros para confirmação física dos valores lidos.

Desta forma, as cargas resistivas e indutivas foram sendo adicionadas manualmente através dos quatro estágios de carga supervisionadas pelo controlador SEL-2411, que realizava as medições elétricas das potências e das correntes e fornecendo os dados de saída, e enviados ao programa no computador. O programa AcSELeator, por sua vez, alimentava a RNA com dados de entrada (medições de correntes). A RNA analisa e opera, emitindo os respectivos dados de saída, indicando a melhor ordem física de acionamentos das cargas capacitivas em linguagem binária. O banco de cargas capacitivas possui 4 estágios automáticos que podem ser acionados através dos relés de saída, reproduzindo as determinações da RNA.

A Figura 35 mostra a bancada de teste utilizada para a validação do sistema de comunicação com a RNA e a atuação dos BC's.

Figura 35 - Bancada de simulações e testes do sistema

Fonte: Imagens fotografadas pelo autor

Durante os testes para a validação, diversos cenários de cargas foram simulados fisicamente através dos 4 estágios do banco de resistências e 4 estágios do banco de indutâncias, para testar a funcionalidade do programa acoplado à RNA, e principalmente, controlar a diminuição de perdas pelo acionamento inteligente dos BC's.

3.11.2 RESULTADOS DA VALIDAÇÃO NA INTEGRAÇÃO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL À INFRAESTRUTURA EXISTENTE

O desempenho apresentado foi satisfatório tanto na integração da RNA com o programa AcSELeRator quanto na diminuição das perdas de carga através do acionamento inteligente dos BC's. Apesar dos testes de bancada serem somente uma pequena parcela de representação da realidade, os testes foram desenvolvidos de forma a forçar a RNA a comunicar-se com os dois equipamentos SEL. O fato positivo é que a concessionária local possui um sistema bem formulado de comunicação (*Mesh*) entre as CT's e o CO, o que no caso da solução proposta neste trabalho, resultará em apenas a adição de mais um bloco de códigos no programa principal *SCADA*. A Figura 36 apresenta a proposta de inclusão do bloco de banco de capacitores abaixo a esquerda da tela para o *SCADA* do CO.

Figura 36 - Tela do programa SCADA atual do Centro de Operações da AES Eletropaulo

Fonte: AUTOR

3.13 ANÁLISES DA INFRAESTRUTURA DA REDE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA RETICULADA PARA IMPLEMENTAÇÃO DESTE PROJETO

Para a implementação deste projeto, é importante antes de tudo analisar a atual infraestrutura, verificando os equipamentos necessários e as soluções técnicas possíveis e economicamente viáveis.

3.13.1 COMUNICAÇÃO DOS DADOS COM A CENTRAL DE OPERAÇÕES

O Controlador de Automação Programável (SEL-2411) interno a CAC recebe os dados das medições através do Relé Eaton interno ao Protetor de Rede, será o responsável em fornecer as grandezas elétricas do transformador da rede reticulada, possibilita, também, receber as correntes medidas nos transformadores de corrente (TC's) a serem instaladas nas linhas primárias utilizadas neste projeto.

A análise de implantação foi baseada no projeto de comunicação da CAC com o CO, que utiliza a rede *Mesh* (rádio) para comunicação dos dados até as ETD's (Subestações) e, a partir desta via internet, os dados chegam ao CO, conforme apresentado na Figura 37.

Figura 37 - Comunicação do Centro de Operações com a Rede RF *Mesh*

Fonte: AES ELETROPAULO (2012)

3.13.2 - MEDIÇÕES DAS CORRENTES NECESSÁRIAS

Figura 38 - Esquema do local de instalação dos Transformadores de Corrente e do Banco de Capacitores na Rede Reticulada

65

Figura 39 - Modo de instalação do Transformador de Corrente no alimentador primário

Fonte: AES ELETROPAULO (2011)

Os cabos de medição do secundário dos TC's instalados no alimentador primário localizado na caixa de passagem, através dos dutos de reserva, seguem até a CAC, Figura 40.

Figura 40 - Instalação dos cabos de medição e comando

Fonte: AES ELETROPAULO (2011)

Quanto o comando dos BC's, a CAC dentro da CT's recebe da CO o comando de ligar e de desligar. Através de cabos de comando que utilizam também os dutos de reserva, o comando chega ao painel dos bancos de capacitores, localizado próximo da cabine de barramento do consumidor, para o devido acionamento.

3.13.3 – APLICAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES NA CORREÇÃO DA ENERGIA REATIVA

Usualmente se diz na análise de sistemas de distribuição que os Bancos de Capacitores (BC's) compensam a potência reativa das cargas indutivas, o que gera uma diminuição no módulo da corrente nos circuitos, ou seja, ocorre uma mudança no módulo da corrente que circula no circuito através do uso de técnicas de redução de perdas em sistemas de distribuição.

Ao analisarmos a corrente relativa à $I^2.R$, demonstra-se crer que as perdas ativas diminuem e isto de fato é uma abordagem de destaque bastante importante neste trabalho. A diminuição do que seria a perda de energia reativa $I^2.X$ não aparece como sendo um objetivo, no entanto, por ser uma parcela que está em função da potência fornecida pela subestação, das características dos circuitos e da carga, ela irá diminuir em função da redução da corrente no condutor relativa ao componente $(R+Xj)$, por causa da própria redistribuição dos fluxos de carga quando realizada a reconfiguração. A alocação dos BC's, feita conjuntamente com a reconfiguração e redistribuição dos fluxos de carga, suprirá localmente a necessidade de reativo vindo da subestação. Diminuem-se assim as correntes nos alimentadores e ocorre um alívio da corrente nestes alimentadores, pois isto acontece de forma conjunta e complementar, impactando diretamente e ao mesmo tempo na redução das perdas (MOREIRA, 2015).

A seguir Figura 41 a demonstração da relação do Fator de Potência (UNESP, 2015) com a variação das perdas:

Figura 41 – Circuito elétrico indutivo

Fonte: AUTOR

$$Z (P, Q, S, FP)$$

$$\text{Perdas} = R.I^2 \quad (2)$$

$$I = \frac{P}{U.FP} \quad (\text{circuitos monofásicos}) \quad (3)$$

a) Antes da correção: Perdas 1 = $R \cdot I_1^2 = R \left(\frac{P}{U \cdot FP_1} \right)^2$ (4)

b) Depois da correção: Perdas 2 = $R \cdot I_2^2 = R \left(\frac{P}{U \cdot FP_2} \right)^2$ (5)

c) Variação Percentual das Perdas:

$$\% \Delta P = \frac{\text{Perdas1} - \text{Perdas2}}{\text{Perdas1}} \times 100 = \left[\left(R \left(\frac{P}{U \cdot FP_1} \right)^2 - R \left(\frac{P}{U \cdot FP_2} \right)^2 \right) / R \left(\frac{P}{U \cdot FP_1} \right)^2 \right] \times 100 \quad (6)$$

$$\% \Delta P = \left[\left(\left(\frac{1}{FP_1} \right)^2 - \left(\frac{1}{FP_2} \right)^2 \right) / \left(\frac{1}{FP_1} \right)^2 \right] \times 100 \quad (7)$$

$$\% \Delta P = \left[1 - \left(\frac{FP_1}{FP_2} \right)^2 \right] \times 100 \quad (8)$$

Através da equação 8, pode-se concluir que a variação percentual de perdas é proporcional ao quadrado da variação do FP. A equação foi desenvolvida para circuitos monofásicos, a mesma equação é válida também para circuitos trifásicos.

O Gráfico 10 apresenta a relação da redução de perdas (em percentual) com a variação do FP de correção da carga.

Gráfico 10 – Redução percentual de perdas em função do FP

O Gráfico 10 está baseada na consideração de que a potência original da carga permanece constante. Se o fator de potência for melhorado para liberar capacidade do sistema e, em vista disso, for ligada a carga máxima permissível, a corrente total é a mesma, de modo que as perdas serão também as mesmas. Entretanto, a carga total em kW será maior e, portanto, a perda percentual no sistema será menor.

Fonte: WEG (2017)

Assim, visa-se à melhoria da confiabilidade e qualidade da energia com o controle do fluxo de energia recíproco entre as subestações e as cargas que provocam as perdas de energia por aquecimento ($R.I^2$) nos condutores elétricos. O controle de bancos de capacitores e, conseqüentemente, o controle a energia reativa capacitiva contribui para a redução das correntes nas linhas de distribuição. Outro fator importante é a redução das quedas de tensão na rede de distribuição, melhorando a estabilidade de todo o sistema.

O painel onde estão instalados os BC's fornece a energia reativa capacitiva para o sistema, necessário para a correção do FP (ABNT, 2010). As fotos da Figura 42 mostram os painéis de capacitores (banco de capacitores) utilizados para a correção do FP e, reduz das perdas decorrentes desta correção.

Figura 42 - Painéis de Bancos de Capacitores

Fonte: Imagens fotografadas pelo autor

As Câmaras Transformadoras Subterrâneas possuem um espaço confinado muito restrito, não sendo adequados para a instalação de um novo painel. A solução que está sendo proposta neste trabalho é a instalação do painel de capacitores em BT junto à cabine de barramento do consumidor.

4 CORREÇÃO DA ENERGIA REATIVA UTILIZANDO RNA NA REGIÃO DA ETD AUGUSTA NA CIDADE SÃO PAULO

ESTUDO DE CASO

4.1 ESCOPO

Para a validação de todo o sistema desenvolvido para a redução da energia reativa utilizando RNA nos sistemas RDSR, foram realizadas simulações no laboratório de Redes Inteligentes (*Smart Grid*) do Centro de Estudos em Regulação e Qualidade de Energia da Universidade de São Paulo, utilizado o programa computacional de análise integrada de redes de distribuição aéreas e subterrâneas em AT/MT/BT - SinapGrid versão 4.2.2 da empresa Sinapsis e utilizando o módulo de Redes Subterrâneas da Cidade de São Paulo, fornecido pela concessionária AES Eletropaulo.

Com o software específico e com os dados da rede subterrânea real foi possível realizar os testes de validação, que apresentaram resultados muito satisfatórios ao projeto de pesquisa.

4.2 AJUSTE DA REDE DE ESTUDO

A rede de distribuição subterrânea do centro da capital paulista possui vários sistemas de distribuição abastecidos todos eles por diferentes subestações. Para a RDSR, os circuitos são formados por quatro circuitos alimentadores distintos em MT de 21 kV. A rede conta com um total de 74,803 km de cabos de diferentes características. Na Tabela 6 são exibidos os diferentes tipos de cabos utilizados, com as respectivas impedâncias em Ω/km , valores inseridos nos cálculos do simulador SinapGrid.

Tabela 6 - Cabos utilizados na rede em estudo

Cabos	R1	X1
	(Ω/km)	(Ω/km)
Papel - 3x1x2/0 AWG (Cu) AT	0.00337	0.1685
Papel - 3x500 MCM (Cu) AT	0.00926	0.1182
XLPE - 3x1x240mm ² (Cu) BT	0.00995	0.0860
XLPE - 3x1x400mm ² (Cu) BT	0.0065	0.0841

Fonte: AUTOR

Para estes ensaios foi definida a região da ETD Augusta com a distribuição subterrânea reticulada dedicada. Na rede secundária deste sistema normalmente é utilizado 2 ou 3 ou 4 transformadores, com capacidade de 500 ou de 750 kVA distribuídos conforme a Figura 43 de acordo com a carga a ser alimentada.

Figura 43 - Sistema Mini Reticulado

(a) 4 transformadores

(b) 2 transformadores

Fonte: Imagens obtida no programador SinapGrid pelo autor

A Figura 44 mostra a região da ETD Augusta com os alimentadores da rede reticulada representados na cor vermelha e os transformadores do reticulado representados por pontos na cor preta, agrupados em 2, 3 e 4 transformadores.

Figura 44 - ETD Augusta com os agrupamentos dos mini-reticulados

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

A rede subterrânea reticulada da Augusta conta com um total de 56 mini reticulados, totalizando 173 Transformadores. No Gráfico 11 são apresentadas as quantidades de mini reticulados com 4, 3 e 2 transformadores respectivamente.

Gráfico 11 - Número de transformadores por mini reticulado

Fonte: AUTOR

Para os testes realizados na ETD Augusta, foram escolhidos os pontos de medição, levando-se em consideração as características e a concentração de corrente de cada ramo, garantindo que toda a rede fosse abrangida. No total, foram selecionados 7 pontos de medição em MT como ilustrado na Figura 45. Nestes pontos são obtidas as medições das correntes em cada um dos alimentadores, sendo 4 leituras de corrente por ponto de medição com exceção do ponto de medição de número 1 que tem 12 leituras de corrente, totalizando 36 leituras para as correntes elétricas dos alimentadores.

Figura 45 - Pontos de medição de corrente na rede subterrânea

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

A Tabela 7 são apresentadas as distâncias dos diferentes pontos de medição desde a ETD Augusta até o ponto de medição da rede.

Tabela 7 - Distância dos diferentes pontos de medição desde a ETD Augusta

Ponto de Medição	Comprimento (m)	Localização
1	0	ETD Augusta
2	573	Av. Paulista.
3	945	Av. Paulista.
4	1242	Av. Paulista.
5	859	Av. Nove de Julho
6	1859,3	Av. Nove de Julho
7	2293,5	Av. Nove de Julho

Fonte: AUTOR

Da mesma maneira, foram escolhidas as localizações para instalação dos BC's na rede de BT. O simulador de redes que apresenta na tela as regiões onde há maior consumo de energia, indicando-as com uma cor diferente. Por exemplo, na Figura 46 onde pode-se observar uma região de cor mais avermelhada (Av. Paulista), cuja densidade de carga é maior .

Figura 46 – Centro de Carga / Consumo de Energia da rede Augusta

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

O Gráfico 12 apresenta a curva de demanda total da rede reticulada na região da ETD Augusta, para um dia típico da semana, característica do consumo dos diversos consumidores separados por potência reativa, ativa e aparente.

Gráfico 12 - Curva Típica de Demanda de um dia da ETD Augusta

Fonte: AUTOR

As potências dos BC's a serem instalados foram definidas depois da análise da RNA sobre o comportamento das cargas da região. Posteriormente o simulador ensaia os BC's individualmente para verificar a sua contribuição no sistema. Com intuito também de unificar os valores BC's, foram realizados vários ensaios de potência de bancos, o que auxiliou na escolha e no estabelecimento de duas potências trifásicas, a de 200 e a de 50 kVAr, instaladas no lado da BT. Foi definido também que os BC's devam ser instalados nos mini reticulados com 4 transformadores, visando que a energia capacitiva injetada na rede pelos BC's seja distribuídas nos 4 ramos alimentadores da rede.

A Figura 47 apresenta os pontos escolhidos para a instalação dos 12 BC's, sendo que 8 BC's com potência reativa de 200 KVar e 4 BC's com potência de 50 KVar.

Figura 47 – Alocação dos Bancos de Capacitores.

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

Pode-se observar que os BC's com maior potência reativa (200 KVAR) estão concentrados na região da Avenida Paulista, onde está a maior densidade de cargas e, os bancos de menor potência reativa (50 KVAR) estão concentrados na região da Avenida Nove de Julho. Isto pode ser mais bem entendido pelo detalhamento apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Alocação dos Bancos de Capacitores.

Nº Banco de Capacitores	Potência (kVAr)	Localização	Nº do Reticulado
0	200	Av. Paulista	6
1	200	Av. Paulista	7
2	50	Av. Nove de Julho	104
3	50	Av. Nove de Julho	109
4	200	Av. Paulista	12
5	200	Av. Paulista	14
6	200	Av. Paulista	15
7	200	Av. Paulista	19
8	200	Av. Paulista	46
9	200	Av. Paulista	55
10	50	Av. Nove de Julho	69
11	50	Av. Nove de Julho	92

Fonte: AUTOR

4.3 DADOS DE MEDIÇÃO DAS CORRENTES NA REDE DE TESTES

Para desenvolvimento e treinamento da RNA foram utilizados os dados reais das medições da ETD Augusta, medições das correntes por fase e por circuitos.

Foram disponibilizadas as medições das correntes na saída da subestação (ETD Augusta) de cada alimentador. Os dados utilizados para os cálculos foram: o mês de Dezembro de 2015 (verão) e o mês de Junho de 2016 (inverno). Foi realizado o tratamento e a consolidação dos dados em uma curva padrão para cada dia da semana para as duas diferentes estações do ano. O Gráfico 13 apresenta como exemplo, as curvas das correntes elétricas para uma semana do Alimentador Augusta 202 (inverno cor azul e verão cor vermelho).

Gráfico 13 - Curvas Típicas (Inverno e Verão) do Alimentador Augusta - 202 para uma semana.
(Ampère x dia da semana)

Fonte: AUTOR

As curvas padrão caracterizam consumidores da área subterrânea, na maioria comercial, no sistema de BT.

Para a obtenção destas curvas acima, foi utilizado no simulador de redes (SinapGrid) o comando Ajuste de Demanda, através das medições das correntes fornecidas na saída de cada um dos alimentadores. Foram ajustadas todas as cargas da rede no simulador, visando que os valores das correntes estivessem próximos às medições fornecidas pela concessionária.

4.4 AÇÕES DA REDE NEURAL ARTIFICIAL TREINADA

Os dados de entrada compõe um pacote contendo 36 leituras das correntes fornecidas pelos pontos de medições distribuídas na região da ETD Augusta. Considerando que estão cadastradas no software de simulação SinapGrid as 14 redes ajustadas cada uma com seus 24 patamares de hora que estão ocorrendo ao mesmo tempo, com o interesse de identificar as leituras é necessário especificar a estação do ano, dia da semana e patamar de horário do evento.

Foram gerados 24 pacotes contendo 36 leituras de corrente cada. A metodologia seguida foi coletar o primeiro pacote (entre meia-noite e 1 hora da manhã) em horário do programa que é chamado de Patamar 0 e adicioná-lo à RNA. Com o seu treinamento já efetivado, a RNA tem capacidade de decidir quais são os acionamentos de BC's que trarão as menores perdas de energia no subsequente patamar de horário, no exemplo, entre 1 e 2 horas da manhã, e esses acionamentos são efetivados fisicamente no programador de redes neste horário, que, ao fim gerará mais um pacote chamado de Patamar 1. Então, o novo pacote será adicionado à RNA que indicará quais são os melhores acionamentos de BC's para o subsequente patamar de horário, no exemplo entre 2 e 3 horas da manhã, que serão efetivados fisicamente no programa SinapGrid neste horário, e assim sucessivamente até o fim do dia, reproduzindo o que é um programa de adaptação em tempo real para buscar o melhor resultado baseando-se no intervalo entre a leitura anterior e a atual.

4.5 DADOS DE ENTRADA DA REDE NEURAL ARTIFICIAL TREINADA

A elaboração das tabelas de dados de entrada da RNA foi realizada com o apoio do simulador de redes SinapGrid, as tabelas montadas em Excel contêm as 36 leituras de correntes dos 24 patamares de horário de segunda-feira a domingo no verão e no inverno. Tabelas foram utilizadas como dados de entrada na RNA treinada.

As Tabelas de 9 a 12, como exemplos, apresentam os dados compilados de entrada da RNA referente às 36 leituras das correntes (A) dos 24 patamares de uma segunda-feira de verão. O **P** vem da palavra Patamar e o número ao lado é referente ao horário da medição; pontos de medições, exemplo: Chave AUG_204_3; endereço no simulador, exemplo: ID 2768.

Tabela 9 - Dados de correntes (A) na entrada da RNA – Segunda - feira de Verão

Dados de Correntes nos Pontos de Medição									
SEGUNDA FEIRA DE VERÃO									
RA	0	1	2	3	4	5	6	7	8
CHAVE	AUG_204_3	AUG_204_0	AUG_204_4	DJAUG-204	AUG_204_1	AUG_204_2	AUG_204_5	AUG_204_6	AUG_204_7
ID	2768	2771	2772	2773	2774	2775	2776	2777	2778
P0	7.045[20.5]	39.241[25.1]	26.670[14.6]	65.645[20.9]	33.592[23.1]	10.295[24.1]	14.676[15.7]	9.933[16.1]	5.654[13.7]
P1	8.318[7.6]	40.048[17.2]	23.902[15.1]	63.940[16.4]	34.103[16.0]	11.398[8.1]	13.046[16.4]	9.164[16.6]	5.348[14.0]
P2	8.137[7.5]	39.392[17.3]	22.494[15.3]	61.877[16.6]	33.192[16.2]	11.159[8.1]	12.255[16.7]	8.598[17.0]	4.795[14.5]
P3	8.187[7.6]	40.569[17.1]	21.732[15.5]	62.296[16.5]	34.554[15.9]	11.107[8.1]	12.135[16.7]	8.667[16.9]	4.770[14.6]
P4	9.578[7.6]	46.620[16.2]	24.737[15.0]	71.354[15.8]	39.734[15.1]	12.871[8.1]	13.736[16.0]	9.838[16.1]	5.468[14.1]
P5	11.148[15.2]	55.492[17.8]	30.741[14.1]	86.192[16.5]	47.646[15.8]	15.385[13.5]	18.067[14.3]	13.203[14.2]	6.674[13.3]
P6	15.591[12.6]	80.476[16.7]	51.573[12.4]	131.959[15.0]	69.039[15.6]	21.625[14.8]	33.080[11.9]	24.753[11.8]	13.004[11.3]
P7	22.779[10.4]	103.754[14.7]	53.482[12.1]	157.202[13.8]	91.718[13.6]	30.633[12.3]	35.198[11.7]	26.914[11.5]	13.632[11.1]
P8	22.690[10.3]	114.028[14.0]	54.671[11.9]	168.674[13.3]	101.436[13.0]	33.156[11.8]	35.726[11.5]	27.583[11.3]	13.165[11.1]
P9	23.372[10.2]	116.774[13.8]	56.833[11.8]	173.584[13.1]	104.949[12.7]	34.866[11.6]	35.886[11.5]	27.148[11.3]	12.368[11.3]
P10	24.064[10.0]	120.314[13.6]	61.197[11.6]	181.487[12.9]	108.195[12.5]	35.659[11.4]	36.517[11.6]	26.889[11.5]	12.306[11.4]
P11	23.943[10.1]	120.497[13.6]	61.217[11.6]	181.689[12.9]	108.420[12.6]	35.864[11.4]	36.688[11.5]	26.907[11.4]	12.309[11.3]
P12	24.704[10.0]	121.205[13.6]	61.288[11.6]	182.468[12.9]	108.967[12.5]	36.813[11.3]	36.594[11.5]	26.896[11.4]	12.184[11.4]
P13	25.449[10.1]	121.651[13.6]	61.452[11.6]	183.078[12.9]	109.007[12.5]	37.331[11.4]	37.185[11.5]	27.265[11.4]	11.947[11.4]
P14	23.999[10.4]	118.913[13.8]	62.901[11.4]	181.780[13.0]	106.186[12.7]	35.696[11.7]	37.985[11.3]	28.123[11.2]	12.109[11.4]
P15	20.724[10.8]	112.658[14.0]	62.301[11.5]	174.921[13.1]	103.752[12.9]	32.235[12.0]	37.372[11.4]	28.450[11.2]	12.408[11.4]
P16	14.709[13.0]	104.922[14.7]	59.611[11.7]	164.479[13.6]	91.792[13.7]	25.571[13.8]	35.455[11.6]	26.625[11.5]	11.934[11.5]
P17	16.536[13.0]	94.170[15.6]	54.477[12.0]	148.578[14.3]	82.521[14.5]	25.432[14.3]	31.803[12.0]	23.593[11.8]	10.917[11.7]
P18	18.850[11.9]	81.035[16.5]	49.229[12.3]	130.178[14.9]	72.141[15.2]	25.584[14.0]	27.917[12.4]	21.774[12.0]	10.249[11.8]
P19	15.028[13.0]	68.972[17.9]	45.812[12.6]	114.663[15.8]	61.060[16.5]	21.312[15.2]	26.452[12.8]	20.355[12.4]	10.191[11.9]
P20	11.852[15.0]	56.525[20.0]	45.844[12.6]	102.159[16.7]	49.538[18.4]	16.898[17.5]	26.260[12.9]	19.894[12.6]	10.761[11.7]
P21	9.910[16.3]	49.690[17.3]	42.201[12.8]	91.821[15.2]	43.380[16.5]	14.326[14.0]	24.867[13.2]	18.769[12.9]	10.016[12.0]
P22	8.424[18.3]	46.801[17.9]	37.634[13.4]	84.369[15.9]	40.705[17.1]	12.598[15.1]	20.653[14.2]	14.815[14.2]	8.528[12.5]
P23	8.541[18.2]	48.103[17.7]	36.105[13.7]	84.157[16.0]	41.459[16.9]	12.731[15.1]	19.695[14.4]	13.669[14.6]	8.187[12.5]

Módulo (Corrente)

Ângulo (fase)

Fonte: AUTOR

Tabela 10 - Dados de correntes (A) entrada na RNA – Segunda - feira de Verão

Dados de Correntes nos Pontos de Medição									
SEGUNDA FEIRA DE VERÃO									
RA	9	10	11	12	13	14	15	16	17
CHAVE	DJAUG-202	AUG_202_3	AUG_202_0	AUG_202_4	AUG_202_1	AUG_202_2	AUG_202_5	AUG_202_6	AUG_202_7
ID	2779	2783	2786	2787	2788	2789	2790	2791	2792
P0	71.139[20.1]	7.041[21.6]	54.672[21.2]	16.511[16.5]	38.231[23.1]	8.962[28.1]	14.057[17.8]	8.779[20.4]	3.570[15.7]
P1	69.116[16.1]	7.507[13.4]	54.590[15.9]	14.528[17.0]	38.618[17.3]	9.367[12.6]	12.492[18.3]	7.832[20.9]	3.445[16.1]
P2	67.514[16.2]	7.217[13.5]	53.473[15.9]	14.045[17.2]	38.215[17.2]	9.122[12.6]	11.956[18.6]	7.565[21.1]	3.273[16.4]
P3	68.558[16.1]	7.288[13.5]	54.901[15.8]	13.661[17.3]	40.146[16.8]	9.228[12.6]	11.728[18.7]	7.598[20.9]	3.330[16.3]
P4	78.330[15.1]	8.736[13.3]	62.936[14.7]	15.402[16.8]	46.350[15.6]	10.987[12.5]	13.427[17.9]	8.833[19.9]	3.906[15.4]
P5	95.114[15.4]	10.348[18.7]	75.225[15.3]	19.890[15.6]	55.380[15.4]	13.256[16.6]	17.417[16.6]	11.797[18.2]	4.627[14.4]
P6	143.901[13.9]	14.301[16.9]	108.043[14.0]	35.858[13.5]	78.990[14.7]	18.098[19.6]	31.791[14.2]	23.457[15.0]	12.310[12.0]
P7	171.522[12.8]	19.314[15.5]	134.208[12.7]	37.314[12.9]	100.802[13.2]	24.865[17.1]	32.834[13.5]	23.961[14.1]	13.158[11.9]
P8	185.679[12.3]	19.674[15.6]	146.855[12.2]	38.825[12.6]	110.766[12.7]	27.511[16.3]	33.537[13.3]	24.097[14.0]	12.633[11.9]
P9	190.993[12.0]	19.835[15.7]	152.230[11.9]	38.765[12.5]	114.276[12.5]	28.664[16.0]	33.646[13.2]	23.815[14.0]	11.832[11.9]
P10	198.489[11.8]	20.295[15.6]	158.478[11.6]	40.014[12.4]	117.315[12.3]	29.333[15.9]	34.718[13.1]	24.350[13.9]	12.149[11.8]
P11	200.394[11.7]	20.459[15.6]	160.099[11.5]	40.298[12.4]	117.807[12.3]	29.762[15.8]	34.646[13.1]	24.421[13.9]	12.178[11.8]
P12	202.310[11.6]	21.727[15.3]	162.193[11.5]	40.122[12.4]	119.079[12.2]	31.308[15.5]	34.802[13.1]	24.345[13.9]	11.956[11.8]
P13	202.365[11.7]	22.400[15.2]	162.388[11.5]	39.980[12.3]	119.250[12.3]	31.794[15.4]	34.377[13.1]	24.115[13.8]	11.570[11.9]
P14	201.657[11.8]	21.137[15.3]	159.513[11.7]	42.147[12.4]	116.575[12.5]	30.340[15.6]	36.493[13.1]	25.563[14.0]	11.867[11.8]
P15	194.655[12.0]	17.796[16.5]	152.694[11.9]	41.963[12.5]	114.820[12.6]	27.037[16.4]	36.706[13.2]	25.818[14.0]	12.144[11.8]
P16	184.247[12.3]	13.399[17.8]	143.979[12.2]	40.268[12.7]	103.666[13.1]	22.056[17.4]	34.978[13.4]	24.541[14.2]	11.872[12.0]
P17	167.612[13.0]	15.407[16.2]	130.566[12.9]	37.047[13.1]	93.768[13.9]	22.263[17.2]	32.297[13.9]	22.436[14.8]	11.047[12.3]
P18	143.436[14.2]	16.591[16.1]	110.267[14.4]	33.172[13.6]	79.224[15.5]	21.588[18.0]	28.935[14.4]	20.960[15.2]	10.462[12.6]
P19	127.966[15.0]	13.403[17.5]	96.570[15.4]	31.407[13.7]	67.527[17.0]	17.822[19.7]	27.109[14.5]	19.115[15.4]	10.360[12.8]
P20	114.283[15.9]	11.460[18.3]	83.646[16.6]	30.664[13.8]	56.378[18.8]	14.516[21.9]	26.672[14.6]	18.781[15.5]	10.800[12.8]
P21	101.846[14.4]	9.939[19.2]	73.181[14.6]	28.666[14.1]	48.194[17.1]	12.298[17.2]	24.962[14.9]	17.453[15.9]	9.805[13.1]
P22	91.423[14.9]	8.945[19.7]	68.797[14.9]	22.626[14.6]	45.903[17.3]	11.133[17.6]	19.009[15.7]	12.043[17.5]	5.617[14.0]
P23	88.472[15.3]	8.948[19.5]	67.113[15.3]	21.360[15.0]	46.419[17.4]	11.257[17.4]	18.256[16.0]	11.431[18.1]	5.257[14.0]

Fonte: AUTOR

Tabela 11 - Dados de correntes (A) entrada na RNA – Segunda - feira de Verão

Dados de Correntes nos Pontos de Medição									
SEGUNDA FEIRA DE VERÃO									
RA	18	19	20	21	22	23	24	25	26
CHAVE	AUG_203_3	AUG_203_0	AUG_203_4	DJAUG-203	AUG_203_1	AUG_203_2	AUG_203_5	AUG_203_6	AUG_203_7
ID	2796	2799	2800	2801	2802	2803	2804	2805	2806
P0	7.013[23.4]	48.772[25.0]	23.922[12.1]	72.287[20.8]	36.482[24.4]	9.929[28.2]	12.788[14.2]	8.265[12.2]	1.465[22.0]
P1	7.565[12.6]	47.991[18.6]	20.935[12.7]	68.848[16.8]	36.056[17.9]	10.275[12.7]	10.856[15.5]	7.039[13.2]	1.413[22.4]
P2	7.347[12.5]	46.589[18.9]	20.202[13.0]	66.716[17.1]	35.167[18.3]	10.019[12.7]	10.397[16.0]	6.861[13.5]	1.426[22.3]
P3	7.418[12.5]	47.611[18.7]	19.472[13.1]	67.017[17.1]	36.669[18.0]	10.006[12.7]	10.283[16.1]	6.857[13.6]	1.510[21.3]
P4	8.868[12.4]	54.606[17.7]	22.283[12.4]	76.819[16.2]	42.324[17.0]	11.787[12.5]	11.921[14.9]	8.033[12.6]	1.700[19.7]
P5	10.533[19.4]	65.863[19.0]	27.908[11.5]	93.603[16.8]	51.106[17.5]	14.289[17.7]	16.002[13.0]	11.236[11.1]	1.970[17.8]
P6	14.542[16.9]	95.570[18.0]	44.160[10.0]	139.437[15.5]	74.069[17.4]	19.927[19.5]	27.017[10.6]	19.771[9.4]	5.737[11.5]
P7	21.064[14.8]	121.089[16.1]	42.922[10.1]	163.837[14.5]	97.238[15.3]	28.130[16.8]	25.367[10.9]	17.499[10.0]	5.758[11.1]
P8	20.239[14.9]	132.362[15.5]	43.501[10.0]	175.717[14.1]	106.990[14.7]	29.613[16.4]	25.467[10.9]	17.781[10.0]	5.491[11.1]
P9	20.327[14.8]	136.770[15.3]	43.137[10.1]	179.772[14.0]	109.883[14.5]	30.615[16.1]	25.620[10.9]	17.757[10.0]	5.103[11.3]
P10	20.727[14.7]	142.122[15.0]	45.782[9.9]	187.766[13.8]	112.901[14.3]	31.107[16.0]	26.096[10.9]	17.895[10.0]	5.258[11.1]
P11	20.581[14.7]	142.944[15.0]	46.073[9.9]	188.879[13.8]	112.896[14.3]	31.277[16.0]	26.245[10.8]	18.013[10.0]	5.318[11.1]
P12	21.079[14.6]	143.930[15.0]	46.071[9.9]	189.864[13.8]	113.239[14.3]	31.966[15.8]	26.338[10.8]	17.844[10.0]	5.215[11.2]
P13	22.041[14.4]	144.078[15.0]	45.657[10.0]	189.605[13.8]	113.863[14.3]	32.722[15.7]	26.102[10.9]	17.774[10.1]	5.029[11.3]
P14	21.081[14.5]	142.125[15.1]	48.243[9.8]	190.216[13.7]	111.961[14.4]	31.567[15.9]	28.225[10.6]	19.791[9.7]	5.123[11.3]
P15	18.151[15.0]	135.796[15.2]	48.124[9.8]	183.762[13.8]	109.844[14.4]	28.479[16.4]	28.437[10.6]	19.891[9.7]	5.114[11.3]
P16	13.754[16.2]	127.984[15.6]	46.357[10.0]	174.175[14.1]	99.201[14.9]	23.483[17.5]	27.004[10.9]	18.896[9.9]	5.027[11.5]
P17	15.496[15.9]	115.114[16.4]	44.000[10.0]	158.915[14.7]	88.880[15.7]	23.487[17.7]	25.529[11.0]	18.130[10.0]	4.915[12.0]
P18	16.572[16.2]	98.850[17.7]	41.574[9.9]	140.153[15.4]	76.395[17.0]	22.652[18.4]	22.830[11.4]	17.071[10.3]	4.706[12.6]
P19	13.108[17.6]	87.048[18.8]	36.894[10.7]	123.683[16.4]	65.785[18.1]	18.772[20.0]	20.572[11.9]	14.532[10.9]	4.662[12.6]
P20	10.734[19.0]	75.171[20.1]	36.450[10.8]	111.295[17.0]	55.101[19.6]	15.217[22.2]	20.030[12.1]	13.894[11.0]	4.884[12.6]
P21	9.430[20.3]	65.436[17.9]	32.998[11.1]	98.279[15.6]	46.992[17.7]	13.273[18.2]	18.915[12.4]	13.007[11.2]	4.395[13.1]
P22	8.448[21.6]	61.216[18.4]	28.001[11.6]	89.082[16.3]	44.263[18.3]	12.082[19.0]	14.191[13.5]	8.516[12.3]	1.414[20.9]
P23	8.717[21.2]	60.401[18.4]	28.931[11.4]	89.187[16.1]	45.119[18.1]	12.376[18.8]	14.791[13.2]	8.937[11.8]	1.602[19.8]

Fonte: AUTOR

Tabela 12 - Dados de correntes (A) entrada na RNA – Segunda - feira de Verão

Dados de Correntes nos Pontos de Medição									
SEGUNDA FEIRA DE VERÃO									
RA	27	28	29	30	31	32	33	34	35
CHAVE	DJAUG-201	AUG_201_3	AUG_201_0	AUG_201_4	AUG_201_1	AUG_201_2	AUG_201_5	AUG_201_6	AUG_201_7
ID	2807	2811	2814	2815	2816	2817	2818	2819	2820
P0	54.938[23.2]	7.484[20.8]	35.128[28.1]	20.158[14.7]	24.868[28.8]	10.335[25.4]	11.560[18.5]	7.191[19.3]	2.877[20.3]
P1	52.988[18.3]	7.747[11.3]	34.932[19.8]	18.096[15.2]	25.079[20.0]	10.451[11.6]	10.084[19.5]	6.511[20.4]	2.685[20.8]
P2	51.349[18.5]	7.487[11.3]	33.798[20.2]	17.594[15.2]	24.667[20.2]	10.139[11.7]	9.645[19.9]	6.161[20.9]	2.390[21.6]
P3	51.491[18.5]	7.611[11.2]	34.337[20.0]	17.192[15.4]	25.658[19.8]	10.166[11.6]	9.481[20.1]	6.208[21.0]	2.397[21.6]
P4	59.218[17.5]	8.950[11.1]	39.635[18.9]	19.620[14.6]	29.858[18.8]	11.817[11.5]	10.598[19.2]	6.943[19.8]	2.653[20.8]
P5	72.762[18.3]	10.791[18.0]	48.149[20.7]	24.733[13.7]	36.352[19.5]	14.477[16.6]	14.024[17.5]	9.360[17.9]	3.263[19.5]
P6	110.507[16.8]	15.201[15.3]	71.873[19.4]	38.837[12.1]	53.699[19.3]	20.489[17.9]	23.613[14.7]	15.769[14.8]	4.953[16.9]
P7	134.905[15.6]	22.579[13.4]	95.406[17.1]	39.604[12.1]	72.895[17.0]	29.417[15.5]	24.947[14.4]	17.002[14.3]	4.742[16.9]
P8	144.919[15.1]	22.733[13.1]	104.575[16.3]	40.426[12.1]	79.966[16.3]	31.667[15.0]	26.083[14.2]	17.751[14.1]	4.575[16.9]
P9	149.150[15.0]	23.502[12.9]	108.192[16.1]	41.033[12.0]	82.093[16.1]	33.251[14.7]	26.945[14.0]	17.791[14.1]	4.326[17.1]
P10	156.920[14.5]	24.393[12.6]	112.924[15.7]	44.082[11.5]	84.254[15.8]	34.201[14.4]	27.949[13.6]	17.718[13.6]	4.147[17.1]
P11	157.836[14.5]	24.445[12.5]	113.687[15.7]	44.233[11.5]	84.155[15.8]	34.559[14.3]	28.017[13.7]	17.685[13.7]	4.170[17.1]
P12	159.539[14.4]	25.624[12.2]	115.364[15.5]	44.256[11.5]	85.255[15.7]	35.889[14.0]	28.092[13.6]	17.841[13.6]	4.171[17.1]
P13	159.728[14.4]	25.643[12.2]	115.024[15.5]	44.785[11.5]	84.520[15.7]	35.727[14.0]	28.777[13.6]	18.347[13.6]	4.155[17.2]
P14	158.528[14.4]	24.419[12.3]	112.603[15.6]	46.011[11.5]	82.298[15.8]	34.322[14.2]	29.822[13.4]	18.889[13.4]	4.099[17.1]
P15	154.544[14.6]	21.666[12.7]	109.346[15.8]	45.292[11.5]	79.312[16.1]	31.380[14.7]	28.902[13.5]	18.900[13.5]	4.112[17.1]
P16	143.202[14.9]	18.934[12.7]	100.379[16.3]	42.922[11.7]	72.525[16.6]	28.081[15.0]	27.120[13.8]	17.423[13.8]	3.873[17.4]
P17	129.516[15.6]	19.716[13.1]	90.187[17.1]	39.435[12.1]	64.839[17.4]	27.290[15.4]	24.438[14.3]	15.260[14.5]	3.621[17.8]
P18	111.343[16.8]	17.962[14.5]	76.439[18.6]	35.022[12.9]	55.050[18.9]	23.793[16.9]	20.980[15.0]	13.832[15.1]	3.369[18.2]
P19	99.505[17.5]	14.591[15.6]	67.720[19.6]	31.933[12.9]	47.895[20.1]	20.054[18.2]	19.560[15.4]	12.696[15.6]	3.363[18.4]
P20	89.976[18.1]	12.219[16.3]	59.171[20.8]	30.987[13.1]	40.735[21.5]	16.596[19.5]	18.806[15.6]	12.075[15.9]	3.625[18.1]
P21	78.667[16.7]	10.796[17.2]	51.143[18.3]	27.579[13.8]	34.424[19.5]	14.672[15.9]	17.834[15.9]	11.557[16.2]	3.470[18.4]
P22	71.974[17.2]	9.638[17.9]	46.943[19.0]	25.095[13.9]	31.806[20.3]	13.319[16.4]	15.362[16.6]	9.643[17.0]	3.459[18.9]
P23	70.003[17.4]	9.561[18.2]	44.544[19.5]	25.541[13.7]	31.568[20.3]	13.250[16.5]	14.788[16.9]	9.220[17.2]	3.649[18.8]

Fonte: AUTOR

4.6 DADOS DE SAÍDA DA REDE NEURAL ARTIFICIAL TREINADA

A elaboração das tabelas de dados de saída da RNA também foi realizada com o apoio do simulador de redes SinapGrid, com a tratamento dos relatórios obtidos. Os dados foram inseridos em tabela Excel que contém os 12 acionamentos de BC's respectivamente para cada pacote das 36 leituras de correntes, em cada um dos 24 patamares de hora de segunda feira a domingo no verão e no inverno. As tabelas foram utilizadas como dados de saída da RNA treinada.

A Tabela 13, como exemplo, apresenta os dados compilados de saída da RNA referente aos 12 acionamentos de BC's dos 24 patamares de uma segunda-feira de verão. O P indica Patamar e o número ao lado é referente ao horário da medição; 400 e 100 foram convertidos para linguagem digital, sendo que 1 significa banco ligado e 0 desligado respectivamente. O identificador do capacitor no simulador, exemplo: capacitor BRAUGI-06R. Cada pacote de entrada gerou outros 9 pacotes através de programa (com as menores perdas elétricas), com o objetivo de testar a sensibilidade da RNA a mudanças.

TABELA 13 - Dados de acionamentos dos capacitores na saída da RNA – Segunda-feira de Verão

Bancos de Capacitores acionados pela RNA												
SEGUNDA FEIRA DE VERÃO												
BC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Capacitor	BRAUGI-06R	BRAUGI-07R	BRAUGI-104R	BRAUGI-109R	BRAUGI-12R	BRAUGI-14R	BRAUGI-15R	BRAUGI-19R	BRAUGI-46R	BRAUGI-55R	BRAUGI-69R	BRAUGI-92R
Q (VAr)	200.000	200.000	50.000	50.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	50.000	50.000
P0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
P2	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
P3	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
P4	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
P5	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
P6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P21	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
P22	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
P23	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1

Fonte: AUTOR

4.7 COMPORTAMENTO DOS BANCOS DE CAPACITORES ACIONADOS ATRAVÉS DA REDE NEURAL ARTIFICIAL

Utilizando do simulador de rede SinapGrid foi possível verificar o comportamento de cada BC ao longo de um dia (24h). A metodologia adota neste processo de validação consistem em inserir as 36 leituras de correntes medidas (no simulador) de cada patamar de horário na RNA treinada. Após a inserção das leituras, a RNA destaca as 10 melhores combinações de acionamentos de BC's, ou seja, as que apresentam as menores perdas de energia na rede. O início do próximo patamar de hora o simulador é atualizado e abre a nova combinação de acionamento dos 12 BC's na topologia, que altera o seu gráfico (própria do horário). Procedimento é repedido assim sucessivamente no início de um novo patamar de hora, seguindo as recomendações da RNA.

Os gráficos de 14 a 25 apresentam o comportamento individual dos BC's, no processo de validação em um dia de segunda-feira do verão.

Gráfico 14 - Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 0

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

Gráfico 15 - Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 1

Fonte: Figura obtida no programador SinapGrid pelo autor

Gráfico 16 - Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 2

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

Gráfico 17 - Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 3

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

Gráfico 18 - Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 4

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

Gráfico 19 - Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 5

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

Gráfico 20 - Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 6

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

Gráfico 21 - Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 7

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

Gráfico 22 - Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 8

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

Gráfico 23 - Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 9

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

Gráfico 24 - Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 10

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

Gráfico 25 - Verão – Segundas Feiras – Acionamento: BC: 11

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

4.8 RELATÓRIOS DE PERDAS DIÁRIAS

Para checar a efetividade dos acionamentos de BC's, ao fim de cada dia (no programa) era gerado um relatório de perdas no programa SinapGrid.

Para cada dia houve 2 relatórios de perdas, um com todos os bancos desligados, sem correção durante todo o dia e outro, com os bancos sendo acionados de forma inteligente ao longo do dia pela RNA. Abaixo, os resultados do dia de segunda – feira do Verão. Os demais dias da semana se encontram no ANEXO 7.

Tabela 14 - Relatório de perda total em uma Segunda-feira no Verão

Todos os bancos de capacitores desligados durante todo o dia		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	428,268	100
Fornecida (EF)	423,741	98,943
Perda (PT)	4,527	1,057
Bancos de capacitores acionados pela Rede Neural Artificial em tempo real seguindo as medições no período de uma hora		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	429,303	100
Fornecida (EF)	424,921	98,979
Perda (PT)	4,382	1,021

EI – Energia Injetada

EF – Energia Fornecida

PT – Perdas Totais

EI(%) – Percentual da Energia Injetada

Fonte: Imagem obtida no programador SinapGrid pelo autor

4.9 RELATÓRIOS DE PERDAS MENSAIS

Todos os dias da semana foram ajustados no SinapGrid, seguindo os parâmetros de valores reais de consumo fornecido pela concessionária, tanto no Verão quanto no Inverno. Através do programa SinapGrid e após a cada teste realizado, foi possível através do *software* calcular os valores de perdas de energia (MWh) diárias na rede e as perdas ao longo do mês multiplicando o valor de uma semana por 4, sendo possível exemplificar a quantidade de perdas de energia em um mês de 28 dias no Verão e no Inverno, conforme tabela 15.

Tabela 15 - Resultados das simulações de cálculos de perdas - Verão e Inverno

Semana	Verão (MWh)		Inverno (MWh)	
	CD (1)	C/RNA (2)	CD (3)	C/RNA (4)
Domingo	1,597	1,538	1,162	1,123
Segunda	4,527	4,382	2,850	2,749
Terça	4,337	4,195	2,803	2,703
Quarta	4,950	4,793	3,001	2,895
Quinta	4,618	4,469	3,005	2,899
Sexta	4,987	4,83	2,957	2,853
Sábado	2,279	2,194	1,450	1,399
Total	27,294	26,401	17,228	16,621
Semana (x 4)	109,176	105,604	68,912	66,484

(1) – CD - Todos os Capacitores Desligados (Verão)

(2) – C/RNA - Capacitores Acionados pela RNA (Verão)

(3) – CD - Todos os Capacitores Desligados (Inverno)

(4) – C/RNA - Capacitores Acionados pela RNA (Inverno)

Fonte: AUTOR

O gráfico 26 apresenta os resultados de perdas de energia mensais, comparativo entre as situações de todos os BC's desligados e os BC's acionados pela RNA, para verão e para inverno.

Gráfico 26 - Resultado Total de perdas mensais apresentadas com todos os capacitores desligados na rede e com os capacitores acionados pela RNA

CD - Capacitores Desligados (Todos)

C/RNA - Capacitores Acionados pela RNA

Fonte: Autor

O gráfico 26 apresenta os resultados comparativos entre a situação todos os Capacitores Desligados (CD) que representa a situação atual sem correções, e a situação proposta a Rede Neural Artificial Acionando os Capacitores (C/RNA). Os resultados das perdas de energia mensais demonstram o sucesso do acionamento inteligente de BC's pela RNA, pois, no mês de Verão a diminuição da perda da carga atingiu o valor de 3,572 MWh/mês o que equivale a 3,27% de redução, e no mês de Inverno atingiu o valor de 2,428 MWh/mês o que equivale a 3,52% de redução, calculados no simulador.

A escolha de duas estações do ano com temperaturas opostas (os dois extremos) possibilitou verificar as diferenças de perdas de energia na rede no decorrer dos meses no ano.

4.10 RESULTADO DA VALIDAÇÃO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL NO CONTROLE DA ENERGIA REATIVA NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEA RETICULADA

Observando-se também no Gráfico 26, que esta proposta obteve sucesso no acionamento inteligente de BC's, através da RNA na diminuição das perdas de energia, pois em um mês de Verão, a diminuição da perda de energia atingiu o valor de 3,572 MWh e no mês de Inverno atingiu o valor de 2,428 MWh. Somando-se os dois meses analisados, dividindo por 2, multiplicando por 12 (meses) e por 1,1 (30 dias), obtém-se uma estimativa extremamente conservadora que atinge de 40 MWh/ano.

A validação consiste em analisar o gráfico, e verificar o valor de redução das perdas de energia na RDSR em uma pequena área delimitada do estudo, esse valor de diminuição seria substancialmente maior ao se aplicar a RNA a toda a rede subterrânea da capital de São Paulo.

5 CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES

No início deste trabalho foram apresentados os problemas de perdas de técnicas nas RDS e o objetivo principal era apresentar uma proposta para a redução das perdas nas RDS. Com os resultados obtidos foi possível comprovar a eficiência e viabilidade desta proposta.

A forma convencional de correção do FP não analisa as perdas técnicas com a inserção de BC's, totalmente diferente desta proposta que insere os capacitores necessários para que haja melhor redução de perdas técnicas nas linhas de distribuição, buscando sempre a melhor eficiência do sistema de distribuição.

Baseado nos resultados obtidos pode-se concluir que a metodologia adotada foi muito satisfatória, pois os objetivos iniciais de redução de perdas técnicas foram alcançados. O ganho de energia² atingiu cerca de 40 MWh/ano (admitindo-se um valor de U\$136,00/MWh) totalizando cerca de U\$ 5.500,00/ano somente para a região subterrânea de estudo a ETD Augusta.

O setor elétrico de distribuição subterrânea representa cerca de 1% no Brasil, um valor muito baixo que pode inviabilizar muitos investimentos nesta área, o conceito aqui desenvolvido poderá ser ampliado para a rede de distribuição aérea que representa os 99% restantes das redes de distribuição, o que pode incrementar muito os ganhos obtidos nesta proposta.

2. Dados: R\$ 422,56/MWh - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (PLD/CCEE, jun. 2017), dólar U\$ 3,11.

As respostas extraídas da RNA com intervalos de 1 hora demonstraram-se eficientes, além de uma alta precisão de 99,555 % na taxa de acerto, o intervalo de 1 hora considerou também a variação das cargas de consumo e os possíveis desgastes de equipamentos com o chaveamento intermitente dos BC's. Este intervalo de tempo pode ser reduzindo facilmente, é apenas um item a ser alterado na programação.

Vários artigos nacionais e internacionais foram analisados para elaboração deste projeto, mas nenhum aborda diretamente os temas desta pesquisa. A energia reativa excedente nas RDSR, a falta de espaço para as inserções de BC's, as inserções sistemáticas de BC's, a utilização de inteligência artificial através da RNA, a utilização das redes inteligentes (*Smart Grid*) foram os diferenciais para a elaboração desta de pesquisa.

Este trabalho é uma contribuição acadêmica para as concessionárias de energia na redução das perdas técnicas em RDS. E propõe a utilização prática das redes inteligentes (*Smart Grid*) que vem sendo implantadas nos grandes centros urbanos, com o uso das comunicações das CT's com o CO. A RNA recebe os dados das correntes e opera remotamente em todos os BC's nos locais estudados e definidos pela própria concessionária.

6 SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS

6.1 SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS

As vantagens do uso de redes de distribuição subterrâneas de energia elétrica é um fato, e a sociedade espera mais investimentos neste setor, com a ampliação de toda a rede de distribuição subterrânea instalada. Baseando-se nesta tendência novos projetos e pesquisa devem surgir e inovar este mercado, a novidade é a área de inteligência artificial e, conseqüentemente, as redes inteligentes.

De acordo com este estudo, um dos problemas encontrados nas medições de análise de energia e não considerados neste trabalho, foi a existência de harmônicos nas RDS, um assunto complexo que necessita maior aprofundamento, visto que nas redes subterrâneas a falta de espaço é determinante para a solução dos problemas, o que cabe novos trabalhos focados neste tema.

Outra proposta de estudo é dar continuidade a esta tese é a inclusão de novos estágios nos BC's, o que aumentaria ainda mais a sensibilidade e a precisão na redução das perdas técnicas (energia reativa e quedas de tensão).

Outra questão é a análise dos investimentos necessários para a implantação deste projeto, apesar de usar toda a infraestrutura atual que reduz muito os custos, é necessária a instalação de novos equipamentos, tais como, cabos e painéis de BC's, sem esquecer os custos envolvidos de mão de obra. Também os custos relativos ao desenvolvimento do sistema computacional completo para toda a rede subterrânea de distribuição.

Outra sugestão é a análise aprimorada sob os aspectos de controle volt-var, verificando como as contribuições da inserção dos BC's atuam nos níveis de tensão.

Outra proposta inclui a inserção de alocação de reguladores de tensão e ajuste de tap's nos transformadores para o ajuste dos níveis de tensão após a alocação dos BC's.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5060**. Guia para Instalação e Operação de Capacitores de Potência: Procedimentos. São Paulo, 2010.

AECWEB - PORTAL DA ARQUITETURA, ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO. **Prefeitura e Eletropaulo vão enterrar fios em bairros de São Paulo**. Disponível: https://www.aecweb.com.br/cont/n/prefeitura-e-eletropaulo-vao-enterrar-fios-em-bairros-de-sao-paulo_16301. Acesso em: 07 set. 2017.

AES ELETROPAULO. **Automação de Câmaras Subterrâneas**. Palestras e Treinamentos São Paulo, 2011.

AES ELETROPAULO. Automação de Protetores de Rede Subterrânea. In **Seminário Nacional XX Sendi**. Anais... Rio de Janeiro. 2012.

AES ELETROPAULO. **Comunicado Técnico nº 60** Alteração de Tensão Secundária de Novos Empreendimentos no Sistema Reticulado Subterrânea (**network**). São Paulo. Disponível em: <https://www.aeseletropaulo.com.br/padros-e-normas-tecnicas/manuais-normas-tecnicas-e-de-seguranca/conteudo/comunicados-tecnicos>. Acesso em: 20 jun. 2015.

ANEEL AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Redes subterrâneas de distribuição de energia: situação atual e avaliação da necessidade de aprimoramento da regulação associada. **Nota Técnica nº 0098/2014-SRD/ANEEL, de 06 de nov. 2014**, Brasília Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/Nota%20T%C3%A9cnica%20n%C2%B0%200098-2014%20-%20SRD-ANEEL.pdf. Acesso: 15 jun. 2015

ANEEL AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Condição Geral de Fornecimento de Energia Elétrica. **Resolução Normativa 414 de 09 de set. 2010**, Brasília, DF. Acesso em: http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414_comp.pdf. Acesso: 15 jun. 2015.

ANEEL AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Aplicação do fator de potência para faturamento do excedente de reativos de unidades consumidoras. **Resolução Normativa 569, de 23 de jul. 2013**, Brasília Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/065/resultado/ren2013569.pdf>. Acesso: 15 jun. 2015.

AZEVEDO, F. A. **Otimização de rede de distribuição de energia elétrica subterrânea reticulada através de algoritmos genéticos**. 2010. 138p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2010.

BARONI JR., N. Projeto de P&D “Alternativas para viabilização da implementação de redes subterrâneas no Brasil”. 26 Set. 2013. In: **Seminário ANEEL de Sistemas Subterrâneos de Distribuição: Aspectos Regulatórios**. Anais... Brasília, 2013.

BARONI JR., N. **Underground System Management**. AES Eletropaulo, 2015. In: Company Overview G&W Electric. São Paulo, mai. 2015.

BELVEDERE, E. C. **Manual Técnico 8.007 - Sistemas Subterrâneos**. 2014. p. 33. AES Eletropaulo. São Paulo, nov. 2014.

BERGER, L.T.; INIEWSKI, K. **Redes Elétricas Inteligentes – aplicações, comunicações e segurança**.. Rio de Janeiro, Gen/LTC: 2015.

BRUNHEROTTO, P. A.; OLIVEIRA, J. J. S. Redes subterrâneas no mundo – história e números. Revista: **O Setor Elétrico**, n. 84, p. 36-39. Out. 2013.

ÇELTEKLIGIL, U. Capacitive power factor and power quality correction of a light rail transportation system. In: **International Symposium ELMAR-2008**, 50th. Anais: Zadar, Croatia, Sep. 2008.

COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Utilização e aplicação de redes de distribuição subterrânea**. Guia para municípios empreendedores - Copel. Curitiba, p. 1 - 48 – Nov. 2010.

DERBEL, H. B. J.; KESSENTINI, I. OLFA KANOUN, O. Investigation of the underground temperature using neural network. **IEEE Xplore**, n. 4632828, p. 978-984, 2008.

ELBULUK, M.E.; CHAN, H.W.; HUSAIN, I. Neural network controllers for power factor correction of AC/DC switching converters. **IEEE Xplore**, n. 78034943, p. 1617-1624, 1998.

FERNANDES JR, U.T.; MARTINELLI, M.; NUNES, E. Automação de protetores de rede subterrânea. 26 out. 2012. In: **XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica - Sendi**. Anais... Rio de Janeiro, 2012.

FERNEDA E. Redes neurais e sua aplicação em sistemas de recuperação de informação. **Ci. Inf.**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 25-30, jan./abr. 2006.

FERREIRA, S. C. **Aplicação de Filtros Adaptativos em Compensadores Híbridos de Reativo**. 2012. 151p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2012.

GARCIA, D. A. A; SILVA, H. A. P.; DUZZI JR, F. E. Smart Grid Aplicado às Redes de Distribuição Subterrâneas Secundárias. São Paulo, **O Setor Elétrico**, n.69, p. 48-55. Out. 2011.

GOEKING, W. De Olho nas Redes Subterrâneas. São Paulo, **O Setor Elétrico**, n. 54, p. 16-17. 2010. Jul. 2010. Acesso em: 20 jun. 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. **Divulga as estimativas populacionais dos municípios para 2017**. Disponível em: <http://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/16131-ibge-divulga-as-estimativas-populacionais-dos-municipios-para-2017.html>. Brasília, 2017. Acesso em: 08 set. 2017.

KASIKCI, I. A. New method for power factor correction and harmonic elimination in power systems. Alemanha, **IEEE Xplore**, n. 896833, p. 810-815, 2000.

LAVILL INDÚSTRIA E COMÉRCIO. **Registros fotográficos e desenhos**. São Paulo, 2015.

LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE. **Rede de Distribuição Subterrânea**. Rio de Janeiro, p. 13, 18 Abr. 2011.

THE MATHWORKS. **MATLAB**, Manual. Version 7.0,. Disponível em: <https://C:/Users/user/Documents/Doutorado/Pesquisa%20Doutorado/Normas%20Trabalho%20Escrito%20-%20Tese/Matlab.manual.pdf>. Acesso em: 06 set. 2015.

MELHOM, C. J.; HOFINANN, P; SAMOTYJ, M. Characterization of power quality problems associated with large commercial customers served from large underground distribution network systems. **IEEE Xplore**, n. 303662, P. 117-125. 1994.

MOREIRA, H. L. **Otimização da operação de sistemas de distribuição radiais usando um algoritmo genético especializado**. 2015. 91p. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira. 2015.

NAKAGUISHI M. I.; HERMES, P. G. **Estudo Comparativo Técnico/Financeiro para Implantação de Redes de Distribuição Subterrâneas**. 2011. 100p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2011.

PEDREIRO, M. S. **Práticas da AES Eletropaulo na manutenção e recuperação de protetores de redes do sistema reticulado**”. Mai. 2012. Treinamento AES Eletropaulo. São Paulo, 2012.

SEL- SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES. **Programmable automation controller SEL-2411**. Disponível em: https://cdn.selinc.com/assets/Literature/Product%20Literature/Data%20Sheets/2411_DS_20161205.pdf?v=20170111-083546. São Paulo, 2015. Acesso em: 20 mar. 2015.

SHAHIN, M.A. Smart Grid Self-Healing Implementation for Underground Distribution Networks. **IEEE Xplore**. Asia (ISGT Asia). 2013.

SILVA, A. S. **Desenvolvimento de um Protótipo Baseado em Redes Neurais Artificiais para o Monitoramento Remoto de Tensão**. 2014. 142p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de ABC. Santo André. 2014.

SILVA, I. N.; SPATTI, D.H.; FLANZINO, R.A. **Redes Neurais Artificiais para Engenharia e Ciências Aplicadas**. São Paulo, Artliber Editora, 2010.

SOUZA, F. P. **Correção do Fator de Potência para Instalações de Baixa Potência Empregando Filtros Ativos**. 2010. 210p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2010.

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL JÚLIO DE MESQUITA FILHO. **Definições de Fator de Potência**. http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenharia_eletrica/capitulo-4-2013-2s.pdf. Data 20 jan. 2015.

WEG – WEG AUTOMAÇÃO. **Manual para a correção do Fator de Potência**. <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf>. Data 20 jul. 2017.

REGULAMENTAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

A1.1 FATOR DE POTÊNCIA ATRAVÉS DO TEMPO

A primeira regulamentação do FP foi o Decreto Presidencial Nº. 62.724, de 17/05/1968, com a nova redação dada pelo Decreto Nº 75.887, de 20/06/75, as concessionárias de energia elétrica adotaram, desde então, o FP de 0,85 como referência para liminar o fornecimento de energia reativa.

O Decreto Presidencial Nº 479, de 20/03/1992, reiterou obrigatoriedade de se manter o fator de potência o mais próximo possível da unidade (1,00), tanto pelas concessionárias quando pelos consumidores, recomendando, ainda, ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE, o estabelecimento de um novo limite de referência para o FP indutivo e capacitivo, bem como a forma de avaliação e de critério de faturamento da energia reativa excedente a esse novo limite.

A Portaria DNAEE nº. 085 de 25/03/1992 estabeleceram diversas mudanças na forma de controle da energia reativa que circula pelo sistema. Em particular, o limite mínimo do FP foi aumentado para 0,92 e passou-se a ter a possibilidade de faturamento pelo excedente de energia reativa indutiva e a energia reativa capacitiva no período noturno para alguns consumidores.

Na Resolução ANEEL Nº. 456 29/11/2000, os quesitos relativos ao faturamento pelo baixo fator de potência (0,92) passaram a integrar as Condições Gerais de Fornecimento, sendo revogadas as Portarias do DNAEE acerca desse assunto. No entanto, a maior parte dos critérios relacionados ao controle da energia reativa permaneceu inalterada, havendo somente algumas modificações nas

definições. Em 2008, os Procedimentos de Distribuição – PRODIST complementaram os limites e definições constantes na Resolução nº. 456/2000 sem, contudo, abordar os aspectos relacionados à tarificação.

A Resolução Nº 414 de 09/09/2010, que estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica, incorporando a previsão de pagamento de excedentes reativos e substitui a Resolução Nº. 456/2000.

A Resolução Normativa da Aneel Nº. 569, de 23/07/2013. Modifica a abrangência na aplicação do fator de potência para faturamento do excedente de reativos de unidades consumidoras do grupo B e altera a Resolução Normativa nº. 414, de 09 de setembro de 2010. Em seu Parágrafo Único. As unidades consumidoras do grupo B não podem ser cobradas pelo excedente de reativos devido ao baixo FP. Para o grupo A manteve a cobrança de pagamento do excedente reativo nas unidades consumidoras o FP de referência **fr**, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, para as unidades consumidoras, **o valor de 0,92**.

A Aneel estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada na Resolução Normativa 414/10 e regulamenta o FP e do Reativo Excedente como são:

Art. 95. O FP de referência **f_R** , indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, para as unidades consumidoras, **o valor de 0,92**.

Parágrafo único. Aos montantes de energia elétrica e demanda de potência reativas que excederem o limite permitido, aplicam-se as cobranças estabelecidas nos Arts. 96 e 97.

Art. 96. Para unidade consumidora que possua equipamento de medição apropriado, incluída aquela cujo titular tenha celebrado o Contrato de Uso do Sistema de Distribuição (CUSD), os valores correspondentes à energia elétrica e demanda de potência reativas excedentes são apurados conforme as seguintes equações:

$$E_{RE} = \sum_{T=1}^n \left[EEAM_T \times \left(\frac{f_R}{f_T} - 1 \right) \right] \times VR_{ERE} \quad (1)$$

$$D_{RE}(p) = \left[MAX_{T=1}^n \left(PAM_T \times \frac{f_R}{f_T} \right) - PAF(p) \right] \times VR_{DRE}, \quad (2)$$

onde:

E_{RE} = valor correspondente à energia elétrica reativa excedente à quantidade emitida pelo fator de potência de referência f_R , no período de faturamento, em Reais (R\$);

$EEAM_T$ = montante de energia elétrica ativa medida em cada intervalo T de 1(uma) hora, durante o período de faturamento, em megawatt-hora (MWh);

f_R = fator de potência de referência igual a 0,92;

f_T = fator de potência da unidade consumidora, calculado em cada intervalo “T” de 1 (uma) hora, durante o período de faturamento, observadas as definições dispostas nos incisos I e II do § 1o deste artigo;

VR_{ERE} = valor de referência equivalente à tarifa de energia “TE” da tarifa de fornecimento, em Reais por megawatt-hora (R\$/MWh), considerando-se para os consumidores livres o seu valor equivalente aplicável ao nível de tensão no qual a unidade consumidora estiver localizada;

$D_{RE}(p)$ = valor, por posto horário p , correspondente à demanda de potência reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência f_R no período de faturamento, em Reais (R\$);

PAM_T = demanda de potência ativa medida no intervalo de integralização de 1 (uma) hora T , durante o período de faturamento, em quilowatt (kW);

$PAF(p)$ = demanda de potência ativa faturável, em cada posto horário “p” no período de faturamento, em quilowatt (kW);

VR_{DRE} = valor de referência equivalente às tarifas de demanda de potência das tarifas de fornecimento aplicáveis aos subgrupos do grupo A ou as Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) - Consumidores-Livres, conforme esteja em vigor o Contrato de Fornecimento ou o CUSD, respectivamente;

MAX = função que identifica o valor máximo da equação, dentro dos parênteses correspondentes, em cada posto horário p ;

T = indica intervalo de 1 (uma) hora, no período de faturamento;

p = indica posto horário ponta ou fora de ponta para as tarifas horossazonais;

n = número de intervalos de integralização T , por posto horário p , no período de faturamento.

§ 1º. Para a apuração do E_{RE} e $D_{RE}(p)$, deve-se considerar:

I – o período de 6 (seis) horas consecutivas, compreendido, a critério da distribuidora, entre 23h 30min e 6h 30min, apenas os fatores de potência f_T inferiores a 0,92 capacitivo, verificados em cada intervalo de 1 (uma) hora T ; e

II – o período diário complementar ao definido no inciso I, apenas os fatores de potência f_T inferiores a 0,92 indutivo, verificados em cada intervalo de 1 (uma) hora T .

§ 2º. O período de 6 (seis) horas, definido no inciso I do § 1º, deve ser informado pela distribuidora aos respectivos consumidores com antecedência mínima de 1 (um) ciclo completo de faturamento.

§ 3º. Na cobrança da demanda de potência reativa excedente, quando a componente absoluta de demanda de potência – que compõe as tarifas de fornecimento aplicáveis aos subgrupos do grupo A para a modalidade tarifária horossazonal azul e as TUSD-Consumidores-Livres – for nula, a distribuidora deve utilizar aquela correspondente ao nível de tensão imediatamente inferior.

Art. 97. Para unidade consumidora que não possua equipamento de medição que permita a aplicação das equações fixadas no art. 96, os valores correspondentes à energia elétrica e demanda de potência reativas excedentes são apurados conforme as seguintes equações:

$$E_{RE} = EEAM \times \left(\frac{f_R}{f_M} - 1 \right) \times VR_{ERE} \quad (3)$$

$$D_{RE} = \left(PAM \times \frac{f_R}{f_M} - PAF \right) \times VR_{DRE} \quad (4)$$

onde:

E_{RE} = valor correspondente à energia elétrica reativa excedente à quantidade permitida pelo FP de referência, no período de faturamento, em Reais (R\$);

$EEAM$ = montante de energia elétrica ativa medida durante o período de faturamento, em megawatt-hora (MWh);

f_R = fator de FP de referência igual a 0,92;

f_M = FP indutivo médio da unidade consumidora, calculado para o período de faturamento;

VR_{ERE} = valor de referência equivalente à tarifa de energia **TE** da tarifa de fornecimento, em Reais por megawatt-hora (R\$/MWh), considerando-se para os consumidores livres o seu valor equivalente aplicável ao nível de tensão no qual a unidade consumidora estiver localizada;

D_{RE} = valor correspondente à demanda de potência reativa excedente à quantidade permitida pelo FP de referência, no período de faturamento, em Reais (R\$);

PAM = demanda de potência ativa medida durante o período de faturamento, em quilowatt (kW);

PAF = demanda de potência ativa faturável no período de faturamento, em quilowatt (kW); e

VR_{DRE} = valor de referência equivalente às tarifas de demanda de potência das tarifas de fornecimento aplicáveis aos subgrupos do grupo A ou as **TUSD**-Consumidores-Livres, conforme esteja em vigor o Contrato de Fornecimento ou o CUSD, respectivamente.

CONCEITUAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

As definições utilizadas neste item foram baseadas em material didáticas usadas pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (UNESP, 2015) no departamento de engenharia elétrica.

Dados os valores de tensão e corrente instantâneo:

$$v(t) = V_m \cdot \sin \omega t + \theta \quad (1) \quad i(t) = I_m \cdot \sin \omega t + \gamma \quad (2) \quad V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (3) \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

Figura 1 – Circuito elétrico demonstrativo

Sendo,

V_m e I_m : Valores máximos (pico)

V e I : Valores eficazes (rms)

A potência instatânea absorvida pela carga será:

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = V_m \cdot I_m \cdot \cos(\omega t + \theta) \cdot \cos(\omega t + \gamma) \quad (5)$$

A relação trigonométrica absorvida na carga será:

$$\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta) = 2 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \quad (6)$$

Fazendo $\alpha = \omega t + \theta$ e $\beta = \omega t + \gamma$ e substituindo em (3 e 4) e a partir de (5) fica:

$$p(t) = \frac{V_m \cdot I_m}{2} \cdot \cos(\omega t + \theta - \omega t - \gamma) + \cos(\omega t + \theta + \omega t + \gamma) \quad (6)$$

$$p(t) = V \cdot I \cdot \cos(\theta - \gamma) + \cos(2\omega t + \theta + \gamma) = \underbrace{V \cdot I \cdot \cos(\theta - \gamma)}_{\text{Potência Ativa}} + \underbrace{V \cdot I \cdot \cos(2\omega t + \theta + \gamma)}_{\text{Potência Pulsante}} \quad (7)$$

O FP é definido a partir de (7) como:

$$FP = \cos(\theta - \gamma) = \cos(\varphi) \quad (8) \quad \varphi: \text{Defasagem angular entre tensão e corrente.}$$

Transformando a tensão e a corrente em fasores temos:

$$\dot{V} = V \angle \theta \quad (9) \quad \text{e} \quad \dot{I} = I \angle \gamma \quad (10)$$

$$\bar{S} = \dot{V} \cdot \dot{I}^* = V \cdot I \angle \theta - \gamma = VI \cdot \cos(\theta - \gamma) + j \cdot VI \cdot \sin(\theta - \gamma) = \underbrace{S \cdot \cos(\theta - \gamma)}_P + j \cdot \underbrace{S \cdot \sin(\theta - \gamma)}_Q = P + jQ \quad (11)$$

Por definição, temos:

$\bar{S}$ = Potência Aparente Complexa (VA);

$|\bar{S}| = S$ = Potência Aparente (VA);

P = Potência Ativa (W)

Q = Potência Reativa (VAr)

O ângulo da potência complexa é igual ao ângulo da impedância que consome esta potência :

$$\dot{V} = \bar{Z} \cdot \dot{I} \Rightarrow V \angle \theta = \bar{Z} \cdot I \angle \gamma \Rightarrow \bar{Z} = \frac{V \angle \theta}{I \angle \gamma} = \frac{V}{I} \angle \theta - \gamma = |\bar{Z}| \angle \varphi \quad \text{sendo } \theta - \gamma = \varphi \quad (12)$$

Figura 2 – Triângulo de Potências

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$\sin \varphi = \frac{Q}{S}$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

Potência trifásica – Ligação Δ ou Y

$$\rightarrow \bar{S}_{3\phi} = P + jQ = 3 \dot{V}_F \dot{I}_F^*$$

$$\rightarrow S_{3\phi} = 3 V_F I_F = \sqrt{3} V_L I_L$$

$$\rightarrow P_{3\phi} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi$$

$$\rightarrow Q_{3\phi} = \sqrt{3} V_L I_L \sin \varphi$$

Figura 3 – Grandezas Vetoriais

Figura 4 – Diferença da Potência Reativa

$$FP = \cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (13)$$

$$Q_c = P(\tan \varphi - \tan \varphi') \quad (14)$$

Sendo: φ - Ângulo antes da correção
 φ' - Ângulo depois da correção

Na Figura seguir, apresenta o conceito de equilíbrio das potências reativas indutivas e capacitivas, afim de manter o FP próximo a 1,0.

Figura 5 – Equilíbrio de Potências Reativas

2.3.1 Distorções Harmônicas em Fator de Potência

As distorções harmônicas são fenômenos associados com deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental.

O FP de Deslocamento (FP_D) considera apenas a defasagem entre a corrente e a tensão na frequência fundamental. Em regime permanente senoidal o FP é entendido como sendo um fator que representa o quanto da potência aparente é transformada em potência ativa (cobrado pela concessionária): $FP_D = \cos \varphi_1$.

O Gráfico 1 apresenta duas frequências de tensões diferentes em azul ($H1= 60\text{Hz}$ e $H5= 300\text{Hz}$) e o Gráfico 2 apresenta em vermelho o gráfico de frequência resultante das duas frequências azuis. Gráficos desenvolvidos em *excel*. Os gráficos demonstram a distorção harmônica na forma de onda resultante.

Gráfico 1 – O gráfico de duas frequências de tensões diferentes

Gráfico 2 – O gráfico resultante das duas frequências de tensões diferentes

Com a presença de harmônicos nas redes de distribuição, o $FP = \cos \varphi$ (14) sofre alteração, com a introdução da distorção harmônica de potência aparente (H) e passa a ser $FP' = \cos \varphi_1 \cdot \cos \gamma$ (15).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (16)$$

$$FP = \cos \varphi \quad (17)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + H^2} \quad (18)$$

$$FP' = \cos \varphi_1 \cdot \cos \gamma \quad (19)$$

A Figura 6 mostra o triângulo de potência sem a presença da distorção harmônica

A Figura 7 mostra o tetraedro de potências com a presença da distorção harmônica

Sendo:

P = Potência Ativa (W)

Q = Potência Reativa (VAr)

S = Potência Aparente (VA)

H = Distorção Harmônica de Potência (VA)

Fator de Distorção = $\cos \gamma$

$$\cos \gamma = \frac{(1 + TDH_p)}{\sqrt{1 + TDH_T^2} \cdot \sqrt{1 + TDH_C^2}}$$

(20)

Desprezando TDH_T , temos:

$$\cos \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 + TDH_C^2}} \quad (21)$$

$$H = S \cdot \operatorname{tg} \gamma \quad (22)$$

Perante a presença de harmônicas, as grandezas elétricas passam a não mais ser expressas matematicamente por funções senoidais puras e lineares, o que incorre no surgimento de um desvio entre o FP e o $\cos \varphi$. Nesse caso, o FP é expresso pela relação entre a potência ativa e a potência aparente relativa ao sinal distorcido (sinal periódico não senoidal) e o $\cos \varphi$ corresponde à relação entre a potência ativa e a potência aparente relativa à componente fundamental da tensão e da corrente. Quando há distorções geradas por harmônicas, as reatâncias indutivas elevam-se proporcionalmente com a elevação da frequência e o triângulo de potências é alterado (transformado em um “tetraedro de potências”), introduzindo-se uma nova (terceira) dimensão H, necessários para sustentar a distorção do sinal.

2.3.2 Determinações do FP na presença de harmônicos

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_{ef} \cdot I_{ef}} \quad (23)$$

Sendo:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v \cdot i \cdot dt \quad \text{e} \quad I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) \cdot dt} \quad (24)$$

$$V_{ef} = \sqrt{V_{1ef}^2 + V_{2ef}^2 + V_{3ef}^2 + \dots} \quad (25) \quad \text{e} \quad I_{ef} = \sqrt{I_{1ef}^2 + I_{2ef}^2 + I_{3ef}^2 + \dots} \quad (26)$$

$$FP = \frac{V_{1ef} \cdot I_{1ef} \cdot \cos \varphi_1 + \dots}{V_{1ef} \cdot \sqrt{I_{1ef}^2 + I_{2ef}^2 + I_{3ef}^2 + \dots}} \Rightarrow FP = \frac{I_{1ef}}{\sqrt{I_{1ef}^2 + I_{2ef}^2 + I_{3ef}^2 + \dots}} \cdot \cos \varphi_1 \quad (27)$$

2.3.3 Determinação da Taxa Distorção Harmônica – TDH (Tensão ou Corrente)

$$TDH_{(Tensão)} = TDH_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \times 100 \quad (28)$$

V_n = Tensão da harmônica “n”

V_1 = Tensão fundamental (RMS)

$$TDH_{(Corrente)} = TDH_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \times 100 \quad (29)$$

I_n = Corrente da harmônica “n”

I_1 = Corrente fundamental (RMS)

2.3.4 Determinação da Taxa Distorção Harmônica – TDH (Potência)

$$TDH_{(potência)} = TDH_P = \sum_{n=2}^{\infty} \frac{V_{n\ ef} \cdot I_{n\ ef} \cdot \cos \varphi_n}{V_{1\ ef} \cdot I_{1\ ef} \cdot \cos \varphi_1} \quad (30)$$

$$P = V_{1\ ef} \cdot I_{1\ ef} \cdot \cos \varphi_1 \cdot (1 + TDH_P) \quad (31)$$

$$FP = \frac{(V_{1\ ef} \cdot I_{1\ ef} \cdot \cos \varphi_1 \cdot (1 + TDH_P))}{V_{1\ ef} \cdot I_{1\ ef} \cdot \sqrt{1 + TDH_V^2} \cdot \sqrt{1 + TDH_I^2}} = \frac{(1 + TDH_P) \cdot \cos \varphi_1}{\sqrt{1 + TDH_V^2} \cdot \sqrt{1 + TDH_I^2}} \quad (32)$$

Para tensão de alimentação senoidal cujo TDH_V for igual à zero ou muito próximo a zero temos o Fator de Potência Total :

$$FP = \frac{\cos \varphi_1}{\sqrt{1 + TDH_C^2}} \quad (33)$$

REDE NEURAL ARTIFICIAL

A3.1 CONCEITOS

Redes Neurais Artificiais (RNA) constituem um campo da ciência da computação ligado à inteligência artificial, buscando implementar modelos matemáticos que se assemelhem às estruturas neurais humanas. Nesse sentido, apresentam capacidade de adaptar os seus parâmetros como resultados da interação com o meio externo, com vistas à solução de um determinado problema. RNA é uma técnica de inteligência artificial dotada de imenso poder de processamento baseado em inúmeras entradas sem uma correlação direta com determinadas saídas. A relação direta entre a entrada e a saída é realizada pela RNA, com uma boa porcentagem de acerto.

As RNA's são inspiradas no comportamento do cérebro que é composto de bilhões de neurônios. Um neurônio é uma célula formada por três seções com funções específicas e complementares: corpo, dendritos e axônio. A Figura 1 ilustra de forma simplificada as partes de um neurônio humano.

Figura 1 - Representação de um neurônio humano (cérebro)

Fonte: SILVA I.N.; SPATTI, D.H.; FLANZINO,R.A. (2010).

Os dendritos captam os estímulos recebidos em um determinado período de tempo e os transmitem ao corpo do neurônio, onde são processados.

Quando tais estímulos atingem determinado limite, o corpo da célula envia novo impulso que se propaga pelo axônio e é transmitido às células vizinhas por meio de sinapses. Este processo pode se repetir em várias camadas de neurônios,

como resultado, a informação de entrada é processada, podendo levar o cérebro a comandar reações físicas (Ferneda, 2006). Baseado neste referencial apresenta-se o paralelo artificial.

A3.2 NEURÔNIO ARTIFICIAL

Inicialmente proposto em um artigo de 1943, escrito pelos norte americanos Warren McCulloth, neurofisiologista do MIT, e Walter Pitts, matemático da Universidade Illinois.

O neurônio artificial possui um conjunto de entradas (em semelhança aos dendritos), uma saída (em semelhança ao axônio) e uma função não linear chamada de função de ativação (em semelhança ao limiar de disparo do neurônio biológico).

Fonte: SILVA I.N.; SPATTI, D.H.; FLANZINO,R.A. (2010).

Assim, considerando-se a figura, verifica-se que o neurônio artificial é constituído de sete elementos básicos, ou seja:

a) Sinais de entrada [$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$] - São os sinais ou medidas advindas do meio externo e que representam os valores assumidos pelas variáveis de uma aplicação específica. Os sinais de entrada são usualmente normalizados visando incrementar a eficiência computacional dos algoritmos de aprendizagem.

b) Pesos sinápticos [$w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$] - São os valores que servirão para ponderar cada uma das variáveis de entrada da rede, permitindo-se quantificar os seus relevâncias em relação à funcionalidade do respectivo neurônio.

c) Combinador linear [Σ] - Sua função é agregar todos os sinais de entrada que foram ponderados pelos respectivos pesos sinápticos a fim de produzir um valor de potencial de ativação.

d) Limiar de ativação $[\theta]$ - É uma variável que especifica qual será o patamar apropriado para que o resultado produzido pelo combinador linear possa gerar um valor de disparo em direção à saída do neurônio.

e) Potencial de ativação $[u]$ - É a diferença do valor produzido entre o combinador linear e o limiar de ativação. Se tal valor é positivo, ou seja, se $u \geq \theta$, então o neurônio produz um potencial excitatório; caso contrário, o potencial será inibitório.

f) Função de ativação $[g]$ - Seu objetivo é limitar a saída do neurônio dentro de um intervalo de valores razoáveis a serem assumidos pela sua própria imagem funcional.

g) Sinal de saída $[y]$ - Consiste do valor final produzido pelo neurônio em relação a um determinado conjunto de sinais de entrada, podendo ser também utilizado por outros neurônios que estão sequencialmente interligados.

As duas expressões ao lado sintetizam o resultado produzido pelo neurônio artificial proposto por McCulloch e Pitts:

$$u = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i - \theta$$
$$y = g(u) \quad (1)$$

Assim, pode-se resumir o funcionamento de um neurônio artificial por meio dos seguintes passos:

- Apresentação de um conjunto de valores que representam as variáveis de entrada do neurônio;
- Multiplicação de cada entrada do neurônio pelo seu respectivo peso sináptico;
- Obtenção do potencial de ativação produzido pela soma ponderada dos sinais de entrada, subtraindo-se o limiar de ativação;
- Aplicação de uma função de ativação apropriada, tendo-se como objetivo limitar a saída do neurônio;

- Compilação da saída a partir da aplicação da função de ativação neural em relação ao seu potencial de ativação.

A seguir, os motivos que levaram, dentre todas as técnicas de inteligências artificiais, à escolha da RNA para o acionamento de BC's.

- Adaptação por experiências dos parâmetros internos da rede. Tipicamente seus pesos sinápticos, são ajustadas a partir da apresentação sucessiva de exemplos (padrões, amostras, medidas) relacionados ao comportamento do processo, possibilitando a aquisição do conhecimento por experimentação. Fonte: SILVA I.N.; SPATTI, D.H.; FLANZINO, R.A. (2010).

- Capacidade de aprendizado por intermédio da aplicação de um método de treinamento, a rede consegue extrair o relacionamento existente entre as diversas variáveis que compõem a aplicação.

- Habilidade de generalização após o processo de treinamento da rede, essa é capaz de generalizar o conhecimento adquirido, possibilitando estimar soluções que eram até então desconhecidas.

- Organização de dados baseada em características intrínsecas envolvendo determinado conjunto de informações a respeito de um processo, a rede é capaz de realizar a sua organização interna visando possibilitar o agrupamento de padrões que apresentam particularidades em comum.

- Tolerância a falhas devido ao elevado nível de interconexões entre os neurônios artificiais, a rede neural torna-se um sistema tolerante a falhas quando parte de sua estrutura interna é sensivelmente corrompida (falta de algum dado);

- Armazenamento distribuído o conhecimento a respeito do comportamento de determinado processo dentro de uma arquitetura neural é realizado de forma distribuída entre as diversas sinapses de seus neurônios artificiais, permitindo um incremento da robustez da arquitetura frente a eventuais neurônios que se tornaram inoperantes;

- Facilidade de prototipagem a implementação da maioria das arquiteturas neurais pode ser facilmente, dependendo da especificidade da aplicação, prototipagem em hardware ou em software, pois, após o processo de treinamento, os seus resultados são normalmente obtidos por algumas operações matemáticas elementares.

A3.3 PRINCIPAIS ARQUITETURAS DAS REDES NEURAIIS

Basicamente, uma rede neural artificial pode ser dividida em três partes, denominadas de camadas, as quais são nomeadas da seguinte forma:

a) Camada de entrada

É a camada responsável pelo recebimento de informações (dados), sinais, características ou medições advindas do meio externo, sendo que tais entradas (amostras ou padrões) são geralmente normalizadas em relação às faixas de variações dinâmicas produzidas pelas funções de ativação. Esta normalização implica numa melhor precisão numérica frente às operações matemáticas realizadas pela rede.

b) Camadas escondidas, intermediárias, ocultas ou invisíveis.

São aquelas compostas de neurônios que possuem a responsabilidade de extrair as características associadas ao processo ou sistema a ser inferido. Quase todo o processamento interno da rede é realizado nessas camadas.

c) Camada de saída

Esta camada é também constituída de neurônios, sendo responsável pela produção e apresentação dos resultados finais da rede, os quais são advindos dos processamentos efetuados pelos neurônios das camadas anteriores.

As principais arquiteturas de redes neurais artificiais, considerando a disposição de seus neurônios, assim como suas formas de interligação entre eles e a constituição de suas camadas, podem ser divididas em: redes *feedforward*

(alimentação à frente) de camada simples, redes *feedforward* de camadas múltiplas e redes recorrentes. Fonte: SILVA I.N.; SPATTI, D.H.; FLANZINO, R.A. (2010).

A3.4 ARQUITETURA *FEEDFORWARD* DE CAMADA SIMPLES

Para este tipo de arquitetura de redes neurais artificiais, tem-se apenas uma camada de entrada e uma única camada de neurônios, que é a própria camada de saída.

A Figura 3 ilustra uma rede *Feedforward* de camada simples composta de n entradas e m saídas.

Figura 3 - Rede *Feedforward* de Camada Simples

Fonte: Fonte: SILVA I.N.; SPATTI, D.H.; FLANZINO, R.A. (2010).

O fluxo de informações segue sempre numa única direção (unidirecional), ou seja, da camada de entrada em direção à camada de saída. Ainda pela análise da figura acima, observa-se que a quantidade de saídas nas redes pertencentes à arquitetura sempre coincidirá com o número de neurônios. Essas redes são tipicamente empregadas em problemas envolvendo classificação de padrões e filtragem linear.

Entre os principais tipos de redes com arquitetura *Feedforward* de camada simples estão o *Perceptron* e o *Adaline*.

A3.5 ARQUITETURA *FEEDFORWARD* DE CAMADAS MÚLTIPLAS

Diferentemente das redes pertencentes à arquitetura anterior, as redes *Feedforward* de camadas múltiplas são constituídas pela presença de uma ou mais camadas escondidas de neurônios, conforme Figura 4.

São empregadas na solução de diversos tipos de problemas, tais como aqueles relacionados à aproximação de funções, classificação de padrões, identificação de sistemas, otimização, robótica, controle de processos, etc.

A figura 4 acima ilustra uma rede *Feedforward* de camadas múltiplas formada por uma camada de entrada composta de n sinais, duas camadas neurais escondidas constituídas respectivamente de n_1 e n_2 neurônios e, finalmente, uma camada neural de saída composta de m neurônios representando os respectivos valores de saída da aplicação.

Figura 4 - Redes *Feedforward* de Camadas Múltiplas

Fonte: Fonte: SILVA I.N.; SPATTI, D.H.; FLANZINO, R.A. (2010).

Assim é possível abstrair que a quantidade de neurônios que compõem a primeira camada escondida é normalmente diferente do número de sinais que compõem a camada de entrada da rede. De fato, o número de camadas escondidas e seus respectivos neurônios constituintes dependem, sobretudo, do tipo e da complexidade do problema a ser mapeado pela rede, como também da quantidade e da qualidade dos dados disponíveis sobre o problema. Entretanto, conforme acontece nas redes *Feedforward* de camada simples, a quantidade de sinais de saídas sempre coincidirá com o número de neurônios daquela respectiva camada.

Fonte: SILVA I.N.; SPATTI, D.H.; FLANZINO, R.A. (2010).

A3.6 ARQUITETURA RECORRENTE OU REALIMENTADA

São redes em que as saídas dos neurônios são realimentadas como sinais de entrada para outros neurônios. A característica da realimentação qualifica tais redes para processamento dinâmico de informações, isto é, estas podem ser utilizadas em sistemas variantes em relação ao tempo, como previsão de séries temporais, otimização e identificação de sistemas, controle de processos, etc.

Entre os principais tipos de redes que possuem realimentação estão a rede de *Hopfield* e a rede *Perceptron* multicamadas com realimentação entre neurônios situados em camadas distintas.

A figura 5 ilustra um exemplo de rede *Perceptron* com realimentação, tendo-se um dos sinais da camada de saída realimentando a camada intermediária.

Assim, por intermédio do processo de realimentação, as redes com este tipo de arquitetura produzem as saídas atuais levando-se também em consideração os valores das saídas anteriormente obtidas.

Figura 5 - Rede *Perceptron* com Realimentação

Fonte: Fonte: SILVA I.N.; SPATTI, D.H.; FLANZINO,R.A. (2010).

TREINAMENTO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL

A4.1 PROGRAMAÇÃO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL

Para a montagem de uma RNA foi usado uma **Tool Box** do programa de cálculos avançados *MatLab*.

Figura 1 – Comando nntool

Com as planilhas **Entrada** e **Saída** criadas no tópico Coleta de dados adicionadas a área de trabalho do *MatLab*, o comando **nntool** foi acionado.

Fonte: Figura obtida no software *MatLab* pelo autor (2016)

Figura 2 – Tela do *MatLab* Too Box

Abrindo o **Tool Box** responsável pelo treinamento de uma RNA.

Fonte: Figura obtida no software *MatLab* pelo autor (2016)

Figura 3 – Tela do *MatLab Too Box*

O botão virtual **Import** deverá ser acionado, abrindo a tela abaixo.

Fonte: Figura obtida no software *MatLab* pelo autor (2016)

Onde a planilha **Entrada** será importada como **Input**, contendo as 3360 variações das 36 leituras. Valores de testes estarão importados como **Sample** e a planilha **Saída** contendo as 3360 variações de 12 acionamentos de BC's será importada como **Target**. Após essas reclassificações, as alterações deverão ser confirmadas.

Figura 4 – Tela do *MatLab Too Box* – botão **New**

Voltando a área de trabalho da **Tool Box** com as importações feitas anteriormente nos seus respectivos segmentos, o botão **New** deverá ser acionado desta vez, abrindo a tela abaixo.

Fonte: Figura obtida no software *MatLab* pelo autor (2016)

O tipo de rede é **Feedforward Backpropagation**, onde **Feedforward** traz que as informações da RNA contendo erros e pesos são repassados para frente em cada camada e jamais voltará para camada anterior e **Backpropagation** que o treinamento é supervisionado;

Função de treinamento **TrainLM** - Método de função de treinamento **Levenberg-Marquardt** que procura o mínimo local em uma função e converge mais rapidamente do que um algoritmo genético;

Função de aprendizagem da adaptação **LearnGDM** - Descida de gradiente com função de aprendizagem de peso / desvio de momentum variante da **Back Propagation**;

Função de **performance MSE** - **Performance** através do erro médio quadrático;

Função de Transferência **Logsig** e **Tansig**.

Logsig: função de transferência logarítmica **sigmoidal**, calcula o valor da saída do neurônio a partir das entradas do **net** (rede de trabalho), ou seja, o valor que será transferido para a próxima camada utilizando uma função logarítmica **sigmoidal** que varia entre 0 e +1. Possui formato de S, sendo uma função não linear;

Tansig: função de transferência tangente hiperbólica **sigmoidal**, apresenta a mesma definição da função anterior, entretanto utiliza como função de transferência a tangente hiperbólica **sigmoidal**, que varia entre -1 e +1;

O número de camadas e neurônios em cada camada são 2 e 10 respectivamente, devido principalmente ao melhor aproveitamento da RNA ser através do menor número de camadas possíveis e o melhor valor de neurônios em cada camada, ser um pouco abaixo do número de entradas, evitando **Underfitting** (não convergência das informações por camadas) e **Overfitting** (Simples memorização das entradas, como uma simples máquina de estados) respectivamente.

Figura 5 – Tela do MatLab Too Box – botão Create

Ao clicar no botão virtual **Create** a rede será efetivada segundo os parâmetros desejados descritos acima.

Fonte: Figura obtida no software *MatLab* pelo autor (2016)

A Rede Neural foi criada, mas ainda falta o conteúdo (relações matemáticas), o que demanda o seu treinamento.

Figura 6 – Tela do MatLab Too Box – botão “Train”

Ao clicar na aba **Train** o treinamento será conduzido comparando os dados importados no **Input** e no **Target** até deduzir as relações matemáticas que os associem.

Fonte: Figura obtida no software *MatLab* pelo autor (2016)

Quando qualquer uma das quatro barras azuis se tornar verde, quer dizer que a Rede Neural Artificial foi treinada com sucesso. Ao clicar no botão virtual **Regression** será mostrada a precisão da RNA criada e treinada.

Figura 7 – Tela do *MatLab Too Box* – botão **Regression**

Fonte: Figura obtida no software *MatLab* pelo autor (2016)

Média de precisão igual a **0.99555** de um valor até 1.00, mostrando o grande sucesso do treinamento e principalmente que a taxa de acerto no acionamento de BC's será quase perfeita.

A4.1 TESTE INICIAL DE VALIDAÇÃO E PRECISÃO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL

Os valores binários adotados são: 400 equivalem a um banco de capacitor ligado e **100** equivalem a banco de capacitor desligado. Na linguagem da programação, é comum adotar **1** para verdadeiro ou ligado e **0** para falso ou desligado, mas em uma RNA esses valores são muito próximos, e ainda se soma o fato da RNA não fornecer **0** (zero) como uma saída, o que geraria dúvida na interpretação dos dados. Por isso na planilha Saída todos os valores **0** foram convertidos para **100** e todos os valores **50** e **200** (que equivalia à potência em kVAr) foram alterados para **400**. Após o treinamento da RNA, em uma saída fornecida, a leitura da posição física entre os 12 bancos de capacitores indicaria a sua potência em kVAr. Tendo **100** - como desligado e **400** - como ligado. Uma boa distância de valores foi alcançada, podendo determinar precisamente o status para o qual cada

banco deverá passar. Os testes foram feitos jogando valores aleatórios retirados da planilha de Entrada e os anexando a planilha *Sample*, rodando a RNA criada e treinada e gerando 12 valores de saídas para cada 36 valores de entrada, correspondendo ao acionamento de bancos de capacitores e leitura de correntes, respectivamente.

- **Primeiro teste**

Os seguintes 36 valores medidos foram digitados, correspondendo cada um a uma leitura da corrente em um ponto de medição, conforme segue: [6813192; 38616727; 25402683; 64017593; 32952604; 10082049; 13991077; 9508206; 5449435; 69084693; 6828503; 53544309; 15733018; 37378460; 8671219; 13464732; 8476186; 3415615; 6835213; 47754206; 22547085; 70290319; 35634942; 9732791; 12078667; 7752098; 1400306; 53643985; 7244515; 34500619; 19144282; 24426063; 10159653; 11134838; 6954077; 2802292].

A melhor saída teórica desejada do acionamento dos 12 bancos de capacitores é: [400; 100; 100; 400; 400; 400; 400; 100; 400; 100; 400; 400].

A saída dada pela RNA para o acionamento dos 12 bancos de capacitores foi: [400; 100; 100; 400; 400; 400; 400; 100; 399.9997; 100; 400; 399.9999].

Como a saída é binária, onde 400 é igual a ligado e 100 é igual a desligado, no banco de capacitor, a taxa de acerto foi de 100%.

- **Segundo teste**

Os seguintes 36 valores medições foram digitados, correspondendo cada um a uma leitura da corrente em um ponto de medição, conforme segue: [7593788; 43093830; 31793193; 74886977; 36937394; 11225247; 17317063; 12069052; 7295431; 78666896; 7963763; 60159591; 18697825; 41461752; 9955170; 16083648; 10128480; 4652477; 7799825; 54145912; 25189347; 79334337; 40286056; 11005928; 128

66851;7725867;1405076;62326884;8499079;39960686;22367894;28200219;11728804;13072742;8172685;3265201].

A melhor saída teórica desejada do acionamento dos 12 bancos de capacitores é: [100; 100; 100; 400; 400; 400; 400; 100; 400; 100; 400; 400].

A saída dada pela Rede Neural Artificial para o acionamento dos 12 bancos de capacitores foi: [100; 100; 100; 400; 400; 400; 400; 100; 400; 100; 400; 400].

Como a saída é binária, onde 400 é igual a ligado e 100 é igual a desligado, no banco de capacitor, a taxa de acerto foi de 100%.

- **Terceiro teste**

Os 36 valores de medidos foram digitados, correspondendo cada um a uma leitura da corrente em um ponto de medição, conforme segue: [14795017; 68496769;44970209;113415390;60588604;21012275;25951741;20097208;10096291;126629409;13257307;95994395;30664795;67101741;17655034;26657422;18877798;10260187;12955720;86623717;35932131;122464541;65393270;18607988;20026150;14191207;4550896;98518451;14411762;67357040;31189964;47610377;19847701;19210118;12518754;3333534].

A melhor saída teórica do acionamento dos 12 bancos de capacitores é: [400; 400; 100; 400; 400; 400; 400; 400; 400; 400; 400; 100].

A saída dada pela Rede Neural Artificial para o acionamento dos 12 bancos de capacitores foi: [400; 400; 100.0014; 400; 400; 400; 400; 400; 400; 400; 400; 100].

Como a saída é binária, onde 400 é igual a ligado e 100 é igual a desligado, no banco de capacitor, a taxa de acerto foi de 100%.

- **Quarto teste**

Os 36 valores de medidos foram digitados, correspondendo cada um a uma leitura da corrente em um ponto de medição, conforme segue: [20849671;105445878;49980905;155426440;93798063;30472354;32645267;25240099;12070009;171174032;18135564;135981454;35299120;102522993;25350499;30681771;22057173;11584337;18644943;122636126;39451741;162072875;99067427;27307587;23062276;16070924;4945936;133593786;20947113;96804132;36790821;73981224;29187833;23836458;16191946;4175145].

A melhor saída teórica do acionamento dos 12 bancos de capacitores é: [400; 400; 400; 400; 400; 400; 400; 400; 400; 400; 100; 400].

A saída dada pela Rede Neural Artificial para o acionamento dos 12 bancos de capacitores foi: [400; 400; 399,9997; 400; 400; 400; 400; 400; 400; 400; 100; 400].

Como a saída é binária, onde 400 é igual a ligado e 100 é igual a desligado, no banco de capacitor, a taxa de acerto foi de 100%.

- **Quinto teste**

Os 36 valores de medidos foram digitados, correspondendo cada um a uma leitura da corrente em um ponto de medição, conforme segue: [14627068;67973704;44321856;112283706;60191890;20772991;25523621;19715335;9893428;125338862;13106847;95200959;30223232;66597581;17456592;26249947;18561341;10071881;12812648;85770786;35403454;121147896;64792657;18403633;19705065;13910543;4460869;97506673;14248640;66795682;30712751;47255935;19623162;18897558;12276297;3271302].

A melhor saída teórica do acionamento dos 12 bancos de capacitores é: [400; 400; 400; 400; 400; 400; 400; 100; 400; 400; 400; 400].

A saída dada pela Rede Neural Artificial para o acionamento dos 12 bancos de capacitores foi: [400; 400; 400; 400; 400; 400; 400;100; 400; 400; 400; 400].

Como a saída deve é binária, onde 400 é igual a ligado e 100 é igual a desligado, no banco de capacitor, a taxa de acerto foi de 100%.

TABELAS UTILIZADAS NA ENTRADA DA REDE NEURAL ARTIFICIAL

As tabelas utilizadas na entrada dos dados da RNA foram todas elaboradas para inverno e para verão, com todos os dias da semana, com os intervalos de 24 horas do dia e contendo as 36 leituras de correntes obtidas no simulador SinapGrid. Para não ser repetitivo neste anexo, são apresentadas as planilhas de inverno e de verão contendo como exemplo, os dados de uma segunda feira.

A5.1 DADOS DE ENTRADA DA RNA – INVERNO / SEGUNDA FEIRA

ESTACÃO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO
DIA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA
RA	3	9	10	11	12	13	14	15
CHAVE	MEDICÃO_AUG_204_7	DIAUG_202	MEDICÃO_AUG_202_3	MEDICÃO_AUG_202_4	MEDICÃO_AUG_202_4	MEDICÃO_AUG_202_1	MEDICÃO_AUG_202_2	MEDICÃO_AUG_202_5
ID	2778	2779	2783	2786	2787	2788	2789	2790
TIPO	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador
P0	5.188[14.0]	65.258[21.2]	6.449[22.4]	50.163[22.4]	15.149[16.9]	35.099[24.4]	8.232[29.6]	12.897[18.3]
P1	4.752[14.4]	61.686[19.7]	6.684[13.4]	48.793[15.2]	12.903[17.7]	34.318[18.5]	8.340[12.6]	11.094[19.1]
P2	4.134[15.2]	58.492[16.0]	6.240[13.6]	46.396[15.5]	12.106[18.1]	32.965[18.6]	7.888[12.7]	10.305[19.7]
P3	3.959[15.5]	57.190[16.2]	6.072[13.6]	45.865[15.6]	11.336[18.6]	33.347[18.6]	7.688[12.7]	9.731[20.1]
P4	3.997[15.4]	57.523[16.2]	6.423[13.4]	46.287[15.5]	11.251[18.8]	33.902[18.4]	8.078[12.6]	9.806[20.2]
P5	4.701[14.6]	67.425[16.3]	7.590[13.3]	53.426[16.0]	14.003[17.5]	39.276[17.1]	9.668[12.4]	12.258[18.7]
P6	7.867[12.7]	87.043[16.3]	8.567[20.1]	65.378[16.5]	21.668[15.5]	47.936[16.6]	10.974[17.7]	19.201[16.3]
P7	8.836[12.3]	110.671[15.9]	12.446[17.8]	86.519[16.2]	24.161[14.5]	65.012[16.8]	16.021[20.8]	21.250[15.3]
P8	9.174[12.2]	128.954[14.7]	13.647[17.5]	101.920[14.9]	27.037[14.0]	76.900[15.5]	19.082[19.1]	23.344[14.8]
P9	9.015[12.3]	138.848[14.1]	14.405[17.3]	110.604[14.2]	28.245[13.7]	83.051[14.8]	20.815[18.3]	24.506[14.5]
P10	8.976[12.4]	144.425[13.8]	14.753[17.2]	115.246[13.9]	29.180[13.6]	85.331[14.6]	21.319[18.2]	25.308[14.4]
P11	9.214[12.3]	149.664[13.6]	15.267[17.1]	119.507[13.6]	30.157[13.4]	87.953[14.4]	22.205[17.8]	25.918[14.3]
P12	9.119[12.3]	151.091[13.5]	16.217[16.8]	121.068[13.5]	30.023[13.5]	88.901[14.3]	23.361[17.5]	26.033[14.3]
P13	8.928[12.3]	150.908[13.5]	16.695[16.5]	121.036[13.6]	29.872[13.4]	88.899[14.4]	23.689[17.4]	25.676[14.2]
P14	9.105[12.3]	151.311[13.6]	15.847[16.7]	119.622[13.7]	31.690[13.4]	87.437[14.6]	22.741[17.6]	27.430[14.2]
P15	9.529[12.2]	149.172[13.7]	13.621[17.9]	116.950[13.8]	32.222[13.5]	87.965[14.5]	20.696[18.4]	28.178[14.2]
P16	9.590[12.2]	147.791[13.8]	10.727[19.2]	115.435[13.8]	32.356[13.4]	88.123[14.8]	17.669[19.4]	28.098[14.2]
P17	9.617[12.1]	147.494[13.8]	13.547[16.9]	114.860[13.9]	32.634[13.6]	82.494[14.9]	19.577[18.3]	28.446[14.3]
P18	10.028[11.9]	140.326[14.3]	16.230[16.2]	107.870[14.5]	32.459[13.7]	77.504[15.7]	21.118[18.2]	28.312[14.5]
P19	10.231[11.8]	128.478[15.0]	13.457[17.5]	96.957[15.4]	31.532[13.7]	67.797[16.9]	17.894[19.7]	27.217[14.5]
P20	10.844[11.7]	115.427[15.1]	11.552[18.3]	84.536[15.6]	30.903[13.8]	57.004[17.2]	14.784[16.2]	26.880[14.6]
P21	10.806[11.8]	109.949[14.0]	10.739[18.7]	79.018[14.0]	30.931[13.8]	52.036[16.4]	13.286[16.8]	26.936[14.6]
P22	8.665[12.4]	92.909[14.7]	9.093[19.5]	69.918[14.8]	22.992[14.5]	46.649[17.2]	11.316[17.5]	19.316[15.6]
P23	7.298[12.9]	78.787[16.1]	7.955[20.4]	59.756[16.3]	19.032[15.5]	41.339[18.5]	10.012[18.1]	16.265[16.6]

ESTAÇÃO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO
DIA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA
RA	0	1	2	3	4	5	6	7
CHAVE	MEDICÃO_AUG_204_3	MEDICÃO_AUG_204_0	MEDICÃO_AUG_204_4	DIAUG_204	MEDICÃO_AUG_204_1	MEDICÃO_AUG_204_2	MEDICÃO_AUG_204_5	MEDICÃO_AUG_204_6
ID	2768	2771	2772	2773	2774	2775	2776	2777
TIPO	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador
P0	6.469[21.7]	36.004[26.5]	24.481[14.9]	60.189[21.8]	30.810[24.3]	9.453[25.6]	13.461[16.2]	9.109[16.7]
P1	7.406[7.7]	35.846[16.1]	21.245[15.5]	57.091[15.9]	30.268[16.8]	10.149[8.2]	11.581[17.1]	8.134[17.4]
P2	7.037[7.6]	34.220[16.4]	19.406[16.0]	53.626[16.3]	28.586[17.2]	9.650[8.2]	10.556[17.7]	7.405[18.1]
P3	6.822[7.7]	33.925[16.5]	18.053[16.3]	51.977[16.4]	28.647[17.2]	9.256[8.2]	10.061[18.1]	7.184[18.3]
P4	7.045[7.8]	34.290[16.5]	18.102[16.3]	52.392[16.4]	28.985[17.2]	9.466[8.3]	10.019[18.1]	7.174[18.4]
P5	8.139[7.8]	39.365[17.3]	21.679[15.3]	61.036[16.6]	33.658[16.1]	11.153[8.3]	12.701[16.2]	9.280[16.2]
P6	9.386[16.9]	48.708[19.1]	31.211[13.9]	79.842[17.0]	41.971[16.8]	13.273[14.6]	19.964[13.9]	14.937[13.8]
P7	14.718[13.1]	66.742[18.4]	34.675[13.5]	101.332[16.7]	59.069[16.9]	19.725[15.8]	22.772[13.4]	17.413[13.1]
P8	15.771[12.5]	79.002[16.9]	38.109[13.0]	117.054[15.6]	70.352[15.5]	22.988[14.5]	24.860[12.9]	19.195[12.6]
P9	17.003[12.1]	84.715[16.2]	41.449[12.7]	126.113[15.1]	76.211[14.9]	25.314[13.8]	26.131[12.7]	19.768[12.5]
P10	17.522[11.9]	87.361[16.0]	44.672[12.6]	131.982[14.8]	78.639[14.7]	25.911[13.6]	26.611[12.8]	19.593[12.7]
P11	17.892[11.8]	89.821[15.8]	45.853[12.5]	135.625[14.7]	80.892[14.5]	26.752[13.4]	27.439[12.6]	20.122[12.5]
P12	18.462[11.7]	90.346[15.7]	45.904[12.5]	136.201[14.6]	81.297[14.5]	27.462[13.3]	27.367[12.6]	20.112[12.5]
P13	18.994[11.8]	90.545[15.7]	45.959[12.5]	136.454[14.6]	81.206[14.5]	27.810[13.4]	27.769[12.6]	20.359[12.5]
P14	18.019[12.1]	89.049[15.9]	47.332[12.3]	136.321[14.7]	79.587[14.6]	26.753[13.7]	28.542[12.4]	21.130[12.3]
P15	15.885[12.5]	86.168[16.1]	47.874[12.4]	133.977[14.8]	79.429[14.6]	24.669[14.0]	28.679[12.4]	21.832[12.2]
P16	11.797[14.9]	84.031[16.5]	47.928[12.4]	131.879[15.0]	73.558[15.3]	20.482[15.7]	28.473[12.5]	21.381[12.3]
P17	14.555[14.0]	82.790[16.7]	48.005[12.4]	130.709[15.1]	72.573[15.4]	22.365[15.4]	28.004[12.4]	20.774[12.3]
P18	18.442[12.1]	79.264[16.7]	48.173[12.3]	127.348[15.1]	70.568[15.4]	25.027[14.1]	27.315[12.5]	21.305[12.1]
P19	15.088[13.0]	69.251[17.9]	45.993[12.5]	115.123[15.8]	61.306[16.4]	21.397[15.2]	26.557[12.8]	20.436[12.4]
P20	11.945[15.0]	57.226[18.6]	46.199[12.6]	103.286[15.9]	50.224[16.8]	17.379[13.0]	26.465[12.9]	20.049[12.6]
P21	10.699[15.6]	53.670[16.7]	45.524[12.6]	99.130[14.8]	46.849[15.9]	15.465[13.5]	26.838[12.9]	20.257[12.6]
P22	8.560[18.1]	47.566[17.8]	38.239[13.3]	85.741[15.8]	41.369[17.0]	12.803[15.0]	20.988[14.2]	15.055[14.2]
P23	7.610[19.5]	42.815[18.7]	32.193[14.0]	74.947[16.7]	36.907[17.9]	11.341[16.0]	17.544[15.0]	12.174[15.2]

ESTAÇÃO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO
DIA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA
RA	16	17	18	19	20	21	22	23
CHAVE	MEDICÃO_AUG_202_6	MEDICÃO_AUG_202_7	MEDICÃO_AUG_203_3	MEDICÃO_AUG_203_4	MEDICÃO_AUG_203_4	DIAUG_203	MEDICÃO_AUG_203_1	MEDICÃO_AUG_203_2
ID	2791	2792	2796	2799	2800	2801	2802	2803
TIPO	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador
P0	8.055[21.0]	3.275[16.3]	6.435[24.4]	44.770[26.2]	21.956[12.5]	66.302[21.7]	33.476[25.6]	9.123[29.7]
P1	6.957[21.9]	3.060[16.9]	6.736[12.5]	42.837[17.5]	18.602[13.3]	61.404[16.2]	32.012[18.7]	9.150[12.8]
P2	6.522[22.4]	2.821[17.5]	6.355[12.6]	40.362[17.9]	17.424[13.7]	57.753[16.6]	30.300[19.3]	8.665[12.8]
P3	6.307[22.6]	2.764[17.7]	6.183[12.7]	39.712[18.0]	16.170[14.1]	55.855[16.9]	30.416[19.3]	8.339[12.8]
P4	6.455[22.4]	2.853[17.5]	6.523[12.6]	40.091[17.8]	16.295[14.0]	56.360[16.7]	30.894[19.1]	8.670[12.7]
P5	8.305[20.4]	3.256[16.5]	7.687[12.5]	46.730[18.8]	19.670[13.1]	66.329[17.1]	36.144[18.1]	10.361[12.6]
P6	14.172[17.1]	7.451[13.7]	8.751[21.0]	57.801[20.0]	26.702[11.9]	84.319[17.4]	44.887[18.3]	12.182[18.7]
P7	15.510[16.0]	8.533[13.3]	13.606[17.4]	78.110[19.5]	27.802[11.7]	105.721[17.5]	62.707[18.5]	18.137[20.4]
P8	16.775[15.6]	8.806[13.1]	14.062[17.1]	91.897[18.2]	30.301[11.4]	122.041[16.5]	74.274[17.2]	20.550[19.3]
P9	17.346[15.3]	8.627[13.0]	14.782[16.7]	99.404[17.6]	31.436[11.3]	130.697[16.1]	79.855[16.6]	22.240[18.5]
P10	17.750[15.2]	8.865[12.9]	15.085[16.6]	103.384[17.3]	33.395[11.1]	136.633[15.8]	82.117[16.4]	22.615[18.4]
P11	18.269[15.1]	9.119[12.8]	15.374[16.5]	106.731[17.0]	34.487[11.0]	141.073[15.6]	84.283[16.2]	23.341[18.1]
P12	18.211[15.1]	8.952[12.8]	15.746[16.4]	107.464[17.0]	34.483[11.0]	141.804[15.6]	84.535[16.2]	23.855[18.0]
P13	18.011[15.1]	8.650[12.9]	16.442[16.1]	107.413[17.0]	34.123[11.1]	141.399[15.6]	84.876[16.2]	24.384[17.8]
P14	19.214[15.1]	8.926[12.8]	15.820[16.2]	106.606[17.1]	36.281[10.9]	142.728[15.5]	83.968[16.2]	23.666[18.0]
P15	19.820[15.0]	9.329[12.7]	13.907[16.8]	104.029[17.1]	36.960[10.8]	140.822[15.5]	84.142[16.2]	21.804[18.5]
P16	19.714[15.1]	9.543[12.7]	11.024[18.0]	102.631[17.2]	37.235[10.8]	139.712[15.5]	79.535[16.5]	18.817[19.5]
P17	19.761[15.3]	9.733[12.7]	13.634[16.8]	101.280[17.4]	38.763[10.5]	139.840[15.5]	78.188[16.6]	20.657[18.8]
P18	20.509[15.3]	10.238[12.7]	16.214[16.3]	96.704[17.9]	40.681[10.0]	137.114[15.5]	74.735[17.1]	22.160[18.6]
P19	19.191[15.4]	10.401[12.8]	13.161[17.5]	87.397[18.7]	37.041[10.7]	124.178[16.3]	66.049[18.1]	18.847[20.0]
P20	18.927[15.5]	10.884[12.7]	10.818[18.9]	76.003[19.0]	36.734[10.7]	112.479[16.3]	55.793[18.1]	15.577[17.0]
P21	18.833[15.5]	10.577[12.8]	10.182[19.7]	70.649[17.4]	35.603[10.8]	106.095[15.2]	50.750[17.2]	14.329[17.7]
P22	12.238[17.4]	5.707[13.9]	8.585[21.4]	62.212[18.3]	28.453[11.5]	90.529[16.2]	44.986[18.1]	12.278[18.9]
P23	10.183[18.8]	4.685[14.6]	7.763[22.4]	53.786[19.2]	25.788[11.9]	79.429[16.8]	40.161[19.0]	11.023[19.7]

ESTAÇÃO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO
DIA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA
RA	24	25	26	27	28	29	30	31
CHAVE	MEDICÃO_AUG_203_5	MEDICÃO_AUG_203_6	MEDICÃO_AUG_203_7	DIAUG_201	MEDICÃO_AUG_201_3	MEDICÃO_AUG_201_0	MEDICÃO_AUG_201_4	MEDICÃO_AUG_201_1
ID	2804	2805	2806	2807	2811	2814	2815	2816
TIPO	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador
P0	11.728[14.9]	7.582[12.7]	1.345[23.4]	50.372[24.4]	6.862[21.9]	32.250[29.6]	18.499[15.1]	22.832[30.4]
P1	9.636[16.5]	6.249[14.1]	1.257[24.4]	47.318[17.6]	6.898[11.3]	31.254[18.6]	16.077[15.8]	22.247[21.0]
P2	8.956[17.4]	5.912[14.6]	1.232[24.8]	44.502[18.0]	6.475[11.4]	29.345[19.0]	15.171[16.0]	21.231[21.5]
P3	8.526[17.9]	5.688[15.0]	1.255[24.5]	42.958[18.2]	6.342[11.4]	28.696[19.2]	14.273[16.3]	21.254[21.4]
P4	8.695[17.6]	5.864[14.8]	1.245[24.7]	43.459[18.2]	6.583[11.3]	29.128[19.1]	14.343[16.2]	21.751[21.3]
P5	11.246[15.4]	7.909[13.0]	1.387[22.9]	51.526[18.4]	7.907[11.1]	34.139[20.0]	17.427[15.3]	25.701[19.8]
P6	16.285[13.1]	11.945[11.4]	3.458[14.6]	66.798[19.0]	9.129[19.3]	43.464[21.7]	23.475[13.9]	32.574[20.3]
P7	16.385[13.2]	11.323[11.9]	3.719[13.7]	86.896[18.8]	14.576[16.0]	61.392[21.0]	25.651[13.7]	46.899[20.8]
P8	17.698[12.8]	12.375[11.5]	3.814[13.4]	100.508[17.7]	15.789[15.2]	72.460[19.3]	28.157[13.4]	55.406[19.2]
P9	18.634[12.5]	12.932[11.3]	3.709[13.3]	108.304[17.1]	17.087[14.6]	78.499[18.6]	29.904[13.1]	59.558[18.3]
P10	18.997[12.5]	13.042[11.3]	3.825[13.1]	114.053[16.6]	17.750[14.3]	82.006[18.2]	32.155[12.6]	61.177[18.3]
P11	19.609[12.3]	13.474[11.2]	3.971[12.9]	117.761[16.4]	18.257[14.1]	84.756[17.9]	33.110[12.5]	62.729[18.0]
P12	19.678[12.3]	13.346[11.2]	3.893[13.0]	119.029[16.3]	19.139[13.7]	86.004[17.8]	33.126[12.5]	63.547[17.9]
P13	19.472[12.4]	13.274[11.3]	3.748[13.2]	118.991[16.3]	19.125[13.7]	85.619[17.8]	33.473[12.5]	62.901[17.9]
P14	21.191[12.0]	14.875[10.9]	3.843[13.1]	118.823[16.3]	18.321[13.9]	84.325[17.8]	34.602[12.5]	61.619[18.0]
P15	21.808[11.9]	15.269[10.7]	3.918[13.0]	118.319[16.3]	16.596[14.2]	83.649[17.9]	34.784[12.4]	60.660[18.2]
P16	21.674[12.0]	15.179[10.8]	4.032[12.9]	114.765[16.4]	15.176[14.1]	80.390[18.1]	34.493[12.4]	58.070[18.4]
P17	22.474[11.7]	15.968[10.5]	4.325[12.8]	113.908[16.5]	17.346[13.9]	79.287[18.2]	34.740[12.5]	56.994[18.5]
P18	22.336[11.5]	16.704[10.4]	4.604[12.7]	108.918[17.0]	17.573[14.6]	74.769[18.8]	34.269[13.0]	53.846[19.1]
P19	20.654[11.9]	14.589[10.9]	4.680[12.6]	99.905[17.4]	14.649[15.5]	67.994[19.6]	32.059[12.9]	48.088[20.0]
P20	20.187[12.0]	14.002[10.9]	4.922[12.5]	90.994[17.3]	12.314[16.2]	59.894[19.5]	31.228[13.1]	41.304[19.6]
P21	20.419[12.0]	14.036[10.9]	4.744[12.7]	84.951[16.2]	11.662[16.6]	55.244[17.7]	29.759[13.5]	37.193[18.9]
P22	14.422[13.4]	8.654[12.3]	1.437[20.7]	73.149[17.1]	9.796[17.8]	47.712[18.9]	25.501[13.8]	32.328[20.1]
P23	13.168[14.0]	7.959[12.4]	1.427[21.6]	62.307[18.2]	8.507[19.3]	39.632[20.5]	22.764[14.2]	28.082[21.5]

ESTAÇÃO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO
DIA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA
RA	32	33	34	35
CHAVE	MEDICÃO_AUG_201_2	MEDICÃO_AUG_201_5	MEDICÃO_AUG_201_6	MEDICÃO_AUG_201_7
ID	7817	7818	7819	7820
TIPO	Religador	Religador	Religador	Religador
P0	9.452[26.8]	10.604[19.1]	6.596[20.1]	2.638[20.9]
P1	9.396[11.7]	8.994[20.5]	5.782[21.6]	2.384[21.7]
P2	8.768[11.8]	8.311[21.2]	5.312[22.5]	2.059[22.8]
P3	8.471[11.7]	7.866[21.8]	5.154[23.0]	1.988[23.1]
P4	8.692[11.7]	7.736[21.9]	5.073[23.1]	1.933[23.3]
P5	10.527[11.6]	9.863[20.0]	6.585[20.8]	2.293[21.8]
P6	12.538[17.5]	14.239[17.3]	9.506[17.7]	2.982[19.6]
P7	18.939[18.9]	16.127[16.5]	10.988[16.7]	3.060[19.3]
P8	21.954[17.6]	18.141[15.9]	12.343[16.0]	3.176[19.0]
P9	24.138[16.9]	19.619[15.5]	12.947[15.7]	3.142[18.9]
P10	24.848[16.6]	20.361[15.1]	12.901[15.3]	3.014[19.0]
P11	23.775[16.3]	20.947[15.0]	13.214[15.3]	3.111[18.8]
P12	26.769[16.0]	21.002[14.9]	13.332[15.1]	3.111[18.8]
P13	26.608[16.0]	21.484[14.9]	13.691[15.1]	3.095[18.9]
P14	25.716[16.2]	22.403[14.7]	14.184[14.9]	3.072[18.9]
P15	24.009[16.6]	22.174[14.7]	14.495[14.8]	3.148[18.7]
P16	22.488[16.7]	21.774[14.8]	13.984[14.9]	3.104[18.7]
P17	23.994[16.4]	21.516[14.9]	13.433[15.2]	3.185[18.6]
P18	23.274[17.1]	20.527[15.1]	13.533[15.3]	3.296[18.4]
P19	20.194[18.2]	19.638[15.4]	12.747[15.6]	3.377[18.4]
P20	17.045[19.1]	18.959[15.0]	12.170[15.8]	3.654[18.1]
P21	15.842[19.4]	19.230[15.0]	12.475[15.8]	3.747[18.0]
P22	13.536[16.3]	15.612[16.5]	9.799[16.9]	3.515[18.8]
P23	11.798[17.4]	13.172[17.6]	8.211[18.0]	3.250[19.5]

A5.2 DADOS DE ENTRADA DA RNA – VERÃO – SEGUNDA FEIRA

ESTAÇÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO
DIA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA
RA	0	1	2	3	4	5	6	7
CHAVE	MEDICÃO_AUG_204_3	MEDICÃO_AUG_204_0	MEDICÃO_AUG_204_4	DIAUG_204	MEDICÃO_AUG_204_1	MEDICÃO_AUG_204_2	MEDICÃO_AUG_204_5	MEDICÃO_AUG_204_6
ID	2768	2771	2772	2773	2774	2775	2776	2777
TIPO	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador
P0	7.045[20.5]	39.241[25.1]	26.670[14.6]	65.645[20.9]	33.592[23.1]	10.295[24.1]	14.676[15.7]	9.933[16.1]
P1	8.318[7.6]	40.048[17.2]	23.902[15.1]	63.940[16.4]	34.103[16.0]	11.398[8.1]	13.046[16.4]	9.164[16.6]
P2	8.137[7.5]	39.392[17.3]	22.494[15.3]	61.877[16.6]	33.192[16.2]	11.159[8.1]	12.255[16.7]	8.598[17.0]
P3	8.187[7.6]	40.569[17.1]	21.732[15.5]	62.296[16.5]	34.554[15.9]	11.107[8.1]	12.135[16.7]	8.667[16.9]
P4	9.578[7.6]	46.620[16.2]	24.737[15.0]	71.354[15.8]	39.734[15.1]	12.871[8.1]	13.736[16.0]	9.838[16.1]
P5	11.148[15.2]	55.492[17.8]	30.741[14.1]	86.192[16.5]	47.646[15.8]	15.385[13.5]	18.067[14.3]	13.203[14.2]
P6	15.591[12.6]	80.476[16.7]	51.573[12.4]	131.959[15.0]	69.039[15.6]	21.625[14.8]	33.080[11.9]	24.753[11.8]
P7	22.779[10.4]	103.754[14.7]	53.482[12.1]	157.202[13.8]	91.718[13.6]	30.633[12.3]	35.198[11.7]	26.914[11.5]
P8	22.690[10.3]	114.028[14.0]	54.671[11.9]	168.674[13.3]	101.436[13.0]	33.156[11.8]	35.726[11.5]	27.583[11.3]
P9	23.372[10.2]	116.774[13.8]	56.833[11.8]	173.584[13.1]	104.949[12.7]	34.866[11.6]	35.886[11.5]	27.148[11.3]
P10	24.064[10.0]	120.314[13.6]	61.197[11.6]	181.487[12.9]	108.195[12.5]	35.659[11.4]	36.517[11.6]	26.889[11.5]
P11	23.948[10.1]	120.497[13.6]	61.217[11.6]	181.689[12.9]	108.420[12.6]	35.864[11.4]	36.688[11.5]	26.907[11.4]
P12	24.704[10.0]	121.205[13.6]	61.288[11.6]	182.468[12.9]	108.967[12.5]	36.813[11.3]	36.594[11.5]	26.896[11.4]
P13	25.449[10.1]	121.651[13.6]	61.452[11.6]	183.078[12.9]	109.007[12.5]	37.331[11.4]	37.185[11.5]	27.265[11.4]
P14	23.999[10.4]	118.913[13.8]	62.901[11.4]	181.780[13.0]	106.186[12.7]	35.696[11.7]	37.983[11.3]	28.123[11.2]
P15	20.724[10.8]	112.658[14.0]	62.301[11.5]	174.921[13.1]	103.752[12.9]	32.235[12.0]	37.372[11.4]	28.450[11.2]
P16	14.709[13.0]	104.922[14.7]	59.611[11.7]	164.479[13.6]	91.792[13.7]	25.571[13.8]	35.455[11.6]	26.625[11.5]
P17	16.536[13.0]	94.170[15.6]	54.477[12.0]	148.578[14.3]	82.521[14.5]	25.432[14.3]	31.803[12.0]	23.593[11.8]
P18	18.850[11.9]	81.035[16.5]	49.229[12.3]	130.178[14.9]	72.141[15.2]	25.584[14.0]	27.917[12.4]	21.774[12.0]
P19	15.028[13.0]	68.972[17.9]	45.812[12.6]	114.663[15.8]	61.060[16.5]	21.312[15.2]	26.452[12.8]	20.355[12.4]
P20	11.852[15.0]	56.525[20.0]	45.844[12.6]	102.159[16.7]	49.538[18.4]	16.898[17.5]	26.260[12.9]	19.894[12.6]
P21	9.910[16.3]	49.690[17.3]	42.201[12.8]	91.821[15.2]	43.380[16.5]	14.326[14.0]	24.867[13.2]	18.769[12.9]
P22	8.424[18.3]	46.801[17.9]	37.634[13.4]	84.369[15.9]	40.705[17.1]	12.598[15.1]	20.653[14.2]	14.815[14.2]
P23	8.541[18.2]	48.103[17.7]	36.105[13.7]	84.157[16.0]	41.459[16.9]	12.731[15.1]	19.695[14.4]	13.669[14.6]

ESTACÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO
DIA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA
RA	8	9	10	11	12	13	14	15
CHAVE	MEDICÃO_AUG_204_7	DIAUG_202	MEDICÃO_AUG_202_3	MEDICÃO_AUG_202_4	MEDICÃO_AUG_202_4	MEDICÃO_AUG_202_1	MEDICÃO_AUG_202_2	MEDICÃO_AUG_202_5
ID	2778	2779	2783	2786	2787	2788	2789	2790
TIPO	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador
P0	5.654[13.7]	71.139[20.1]	7.041[21.5]	54.672[21.2]	16.511[16.5]	38.231[23.1]	8.962[28.1]	14.057[17.8]
P1	5.348[14.0]	69.116[16.1]	7.507[13.4]	54.590[15.9]	14.528[17.0]	38.618[17.3]	9.367[12.6]	12.492[18.3]
P2	4.795[14.5]	67.514[16.2]	7.217[13.5]	53.473[15.9]	14.045[17.2]	38.215[17.2]	9.122[12.6]	11.956[18.6]
P3	4.770[14.6]	68.558[16.1]	7.288[13.5]	54.901[15.8]	13.661[17.3]	40.146[16.8]	9.228[12.6]	11.728[18.7]
P4	5.468[14.1]	78.330[15.1]	8.736[13.3]	62.936[14.7]	15.402[16.8]	46.350[15.6]	10.987[12.5]	13.427[17.9]
P5	6.674[13.3]	95.114[15.4]	10.348[18.7]	75.225[15.3]	19.890[15.6]	55.380[15.4]	13.256[16.6]	17.417[16.6]
P6	13.004[11.3]	143.901[13.9]	14.301[16.9]	108.043[14.0]	35.858[13.5]	78.990[14.7]	18.098[19.6]	31.791[14.2]
P7	13.632[11.1]	171.522[12.8]	19.314[15.5]	134.208[12.7]	37.314[12.9]	100.802[13.2]	24.865[17.1]	32.834[13.5]
P8	13.165[11.1]	185.679[12.3]	19.674[15.6]	146.855[12.2]	38.825[12.6]	110.766[12.7]	27.511[16.3]	33.537[13.3]
P9	12.368[11.3]	190.993[12.0]	19.835[15.7]	152.230[11.9]	38.765[12.5]	114.276[12.5]	28.664[16.0]	33.646[13.2]
P10	12.306[11.4]	198.489[11.8]	20.295[15.6]	158.478[11.6]	40.014[12.4]	117.315[12.3]	29.333[15.9]	34.718[13.1]
P11	12.309[11.3]	200.394[11.7]	20.459[15.6]	160.099[11.5]	40.298[12.4]	117.807[12.3]	29.762[15.8]	34.646[13.1]
P12	12.184[11.4]	202.310[11.6]	21.727[15.3]	162.193[11.5]	40.122[12.4]	119.079[12.2]	31.308[15.5]	34.802[13.1]
P13	11.947[11.4]	202.365[11.7]	22.400[15.2]	162.388[11.5]	39.980[12.3]	119.250[12.3]	31.794[15.4]	34.377[13.1]
P14	12.109[11.4]	201.637[11.8]	21.137[15.3]	159.513[11.7]	42.147[12.4]	116.575[12.5]	30.340[15.6]	36.499[13.1]
P15	12.408[11.4]	194.635[12.0]	17.796[16.5]	152.694[11.9]	41.968[12.5]	114.820[12.6]	27.037[16.4]	36.706[13.2]
P16	11.934[11.5]	184.247[12.3]	13.399[17.8]	143.979[12.2]	40.268[12.7]	103.666[13.1]	22.056[17.4]	34.978[13.4]
P17	10.917[11.7]	167.612[13.0]	15.407[16.2]	130.966[12.9]	37.047[13.1]	93.768[13.9]	22.263[17.2]	32.297[13.9]
P18	10.249[11.8]	143.436[14.2]	16.591[16.1]	110.267[14.4]	33.172[13.6]	79.224[15.5]	21.588[18.0]	28.935[14.4]
P19	10.191[11.9]	127.966[15.0]	13.403[17.5]	96.570[15.4]	31.407[13.7]	67.527[17.0]	17.822[19.7]	27.109[14.5]
P20	10.761[11.7]	114.283[15.9]	11.460[18.3]	83.646[16.6]	30.664[13.8]	56.378[18.8]	14.516[21.9]	26.672[14.6]
P21	10.016[12.0]	101.846[14.4]	9.939[19.2]	73.181[14.6]	28.666[14.1]	48.194[17.1]	12.298[17.2]	24.962[14.9]
P22	8.528[12.5]	91.423[14.9]	8.945[19.7]	68.797[14.9]	22.626[14.6]	45.903[17.3]	11.133[17.6]	19.009[15.7]
P23	8.187[12.5]	88.472[15.3]	8.948[19.5]	67.113[15.3]	21.360[15.0]	46.419[17.4]	11.257[17.4]	18.256[16.0]

ESTACÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO
DIA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA
RA	16	17	18	19	20	21	22	23
CHAVE	MEDICÃO_AUG_202_6	MEDICÃO_AUG_202_7	MEDICÃO_AUG_203_3	MEDICÃO_AUG_203_4	MEDICÃO_AUG_203_4	DIAUG_203	MEDICÃO_AUG_203_1	MEDICÃO_AUG_203_2
ID	2791	2796	2799	2800	2800	2801	2802	2803
TIPO	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador
P0	8.779[20.4]	3.570[15.7]	7.013[23.4]	48.772[25.0]	23.922[12.1]	72.287[20.8]	36.482[24.4]	9.929[28.2]
P1	7.832[20.9]	3.445[16.1]	7.565[12.6]	47.991[18.6]	20.935[12.7]	68.848[16.8]	36.056[17.9]	10.275[12.7]
P2	7.565[21.1]	3.273[16.4]	7.347[12.5]	46.589[18.9]	20.202[13.0]	66.716[17.1]	35.167[18.3]	10.019[12.7]
P3	7.598[20.9]	3.330[16.3]	7.418[12.5]	47.611[18.7]	19.472[13.1]	67.017[17.1]	36.669[18.0]	10.006[12.7]
P4	8.833[19.9]	3.906[15.4]	8.868[12.4]	54.606[17.7]	22.283[12.4]	76.819[16.2]	42.324[17.0]	11.787[12.5]
P5	11.797[18.2]	4.627[14.4]	10.533[19.4]	65.863[19.0]	27.908[11.5]	93.603[16.8]	51.106[17.5]	14.289[17.7]
P6	23.457[15.0]	12.310[12.0]	14.542[16.9]	95.570[18.0]	44.160[10.0]	139.437[15.5]	74.069[17.4]	19.927[19.5]
P7	23.961[14.1]	13.158[11.9]	21.064[14.8]	121.089[16.1]	42.922[10.1]	163.837[14.5]	97.238[15.3]	28.130[16.8]
P8	24.097[14.0]	12.633[11.9]	20.239[14.9]	132.362[15.5]	43.501[10.0]	175.717[14.1]	106.990[14.7]	29.613[16.4]
P9	23.815[14.0]	11.832[11.9]	20.327[14.8]	136.770[15.3]	43.137[10.1]	179.772[14.0]	109.883[14.5]	30.615[16.1]
P10	24.350[13.9]	12.149[11.8]	20.727[14.7]	142.122[15.0]	45.782[9.9]	187.766[13.8]	112.901[14.3]	31.107[16.0]
P11	24.421[13.9]	12.178[11.8]	20.581[14.7]	142.944[15.0]	46.079[9.9]	188.879[13.8]	112.896[14.3]	31.277[16.0]
P12	24.345[13.9]	11.956[11.8]	21.079[14.6]	143.930[15.0]	46.071[9.9]	189.864[13.8]	113.239[14.3]	31.966[15.8]
P13	24.115[13.8]	11.570[11.9]	22.041[14.4]	144.078[15.0]	45.657[10.0]	189.605[13.8]	113.863[14.3]	32.722[15.7]
P14	25.563[14.0]	11.867[11.8]	21.081[14.5]	142.125[15.1]	48.243[9.8]	190.216[13.7]	111.961[14.4]	31.967[15.9]
P15	25.818[14.0]	12.144[11.8]	18.151[15.0]	135.796[15.2]	48.124[9.8]	183.762[13.8]	109.844[14.4]	28.479[16.4]
P16	24.541[14.2]	11.872[12.0]	13.754[16.2]	127.984[15.6]	46.357[10.0]	174.175[14.1]	99.201[14.9]	23.483[17.5]
P17	22.436[14.8]	11.047[12.3]	15.496[15.9]	115.114[16.4]	44.000[10.0]	158.913[14.7]	88.880[15.7]	23.487[17.7]
P18	20.960[15.2]	10.462[12.6]	16.572[16.2]	98.850[17.7]	41.574[9.9]	140.153[15.4]	76.395[17.0]	22.652[18.4]
P19	19.115[15.5]	10.360[12.8]	13.108[16.7]	87.048[18.8]	36.894[10.7]	123.683[16.4]	65.785[18.1]	18.772[20.0]
P20	18.781[15.5]	10.800[12.8]	10.734[19.0]	75.171[20.1]	36.450[10.8]	111.295[17.0]	55.101[19.6]	15.217[22.2]
P21	17.453[15.9]	9.805[13.1]	9.430[20.3]	65.436[17.9]	32.998[11.1]	98.279[15.6]	46.992[17.7]	13.273[18.2]
P22	12.043[17.5]	5.617[14.0]	8.448[21.6]	61.216[18.4]	28.001[11.6]	89.082[16.3]	44.263[18.3]	12.082[19.0]
P23	11.431[18.1]	5.257[14.0]	8.717[21.2]	60.401[18.4]	28.931[11.4]	89.187[16.1]	45.119[18.1]	12.376[18.8]

ESTACÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO
DIA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA
RA	24	25	26	27	28	29	30	31
CHAVE	MEDICÃO_AUG_203_5	MEDICÃO_AUG_203_6	MEDICÃO_AUG_203_7	DIAUG_201	MEDICÃO_AUG_201_3	MEDICÃO_AUG_201_0	MEDICÃO_AUG_201_4	MEDICÃO_AUG_201_1
ID	2804	2805	2806	2807	2811	2814	2815	2816
TIPO	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador	Religador
P0	12.788[14.2]	8.265[12.2]	1.465[22.0]	54.938[23.2]	7.484[20.8]	35.128[28.1]	20.158[14.7]	24.868[28.8]
P1	10.856[15.5]	7.039[13.2]	1.413[22.4]	52.988[18.3]	7.747[11.3]	34.932[19.8]	18.096[15.2]	25.079[20.0]
P2	10.397[16.0]	6.861[13.5]	1.426[22.3]	51.349[18.5]	7.487[11.3]	33.798[20.2]	17.594[15.2]	24.667[20.2]
P3	10.283[16.1]	6.857[13.6]	1.510[21.3]	51.491[18.5]	7.611[11.2]	34.337[20.0]	17.192[15.4]	25.658[19.8]
P4	11.921[14.9]	8.033[12.6]	1.700[19.7]	59.218[17.5]	8.950[11.1]	39.635[18.9]	19.620[14.6]	29.858[18.8]
P5	16.002[13.0]	11.236[11.1]	1.970[17.8]	72.762[18.3]	10.791[18.0]	48.149[20.7]	24.733[13.7]	36.352[19.5]
P6	27.017[10.6]	19.771[9.4]	5.737[11.5]	110.507[16.8]	15.201[15.3]	71.873[19.4]	38.837[12.1]	53.699[19.3]
P7	25.367[10.9]	17.499[10.0]	5.758[11.1]	134.905[15.6]	22.579[13.4]	95.406[17.1]	39.604[12.1]	72.895[17.0]
P8	25.467[10.9]	17.781[10.0]	5.491[11.1]	144.919[15.1]	22.733[13.1]	104.575[16.3]	40.426[12.1]	79.966[16.3]
P9	25.620[10.9]	17.757[10.0]	5.103[11.3]	149.150[15.0]	23.502[12.9]	108.192[16.1]	41.033[12.0]	82.093[16.1]
P10	26.096[10.9]	17.895[10.0]	5.258[11.1]	156.920[14.5]	24.393[12.6]	112.924[15.7]	44.082[11.5]	84.254[15.8]
P11	26.245[10.8]	18.013[10.0]	5.318[11.1]	157.836[14.5]	24.445[12.5]	113.687[15.7]	44.233[11.5]	84.155[15.8]
P12	26.338[10.8]	17.844[10.0]	5.215[11.2]	159.539[14.4]	25.624[12.2]	115.364[15.5]	44.256[11.5]	85.255[15.7]
P13	26.102[10.9]	17.774[10.1]	5.029[11.3]	159.728[14.4]	25.643[12.2]	115.024[15.5]	44.785[11.5]	84.520[15.7]
P14	28.225[10.6]	19.791[9.7]	5.123[11.3]	158.528[14.4]	24.419[12.3]	112.603[15.6]	46.011[11.5]	82.298[15.8]
P15	28.437[10.6]	19.891[9.7]	5.114[11.3]	154.544[14.6]	21.666[12.7]	109.346[15.8]	45.292[11.5]	79.312[16.1]
P16	27.004[10.9]	18.896[9.9]	5.027[11.5]	143.202[14.9]	18.934[12.7]	100.379[16.3]	42.922[11.7]	72.525[16.6]
P17	25.529[11.5]	18.130[10.0]	4.915[12.0]	129.516[15.6]	19.716[13.1]	90.187[17.1]	39.435[12.1]	64.839[17.4]
P18	22.830[11.4]	17.071[10.3]	4.706[12.6]	111.343[16.8]	17.962[14.5]	76.439[18.6]	35.022[12.9]	55.050[18.9]
P19	20.572[11.9]	14.532[10.9]	4.662[12.6]	99.505[17.5]	14.591[15.6]	67.720[19.6]	31.933[12.9]	47.895[20.1]
P20	20.030[12.1]	13.894[11.0]	4.884[12.6]	89.976[18.1]	12.219[16.3]	59.171[20.8]	30.987[13.1]	40.735[21.5]
P21	18.915[12.4]	13.007[11.2]	4.395[13.1]	78.667[16.7]	10.796[17.2]	51.143[18.3]	27.579[13.8]	34.424[19.5]
P22	14.191[13.5]	8.516[12.3]	1.414[20.9]	71.974[17.2]	9.638[17.9]	46.943[19.0]	25.095[13.9]	31.806[20.3]
P23	14.791[13.2]	8.937[11.8]	1.602[19.8]	70.093[17.4]	9.561[18.2]	44.544[19.5]	25.541[13.7]	31.568[20.3]

ESTAÇÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO	VERÃO
DIA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA
RA	32	33	34	35
CHAVE	MEDICÃO_AUG_201_2	MEDICÃO_AUG_201_5	MEDICÃO_AUG_201_6	MEDICÃO_AUG_201_7
ID	2817	2818	2819	2820
TIPO	Religador	Religador	Religador	Religador
P0	10.335[25.4]	11.560[18.5]	7.191[19.3]	2.877[20.3]
P1	10.451[11.6]	10.084[19.5]	6.511[20.4]	2.685[20.8]
P2	10.139[11.7]	9.645[19.9]	6.161[20.9]	2.390[21.6]
P3	10.166[11.6]	9.481[20.1]	6.208[21.0]	2.397[21.6]
P4	11.817[11.5]	10.598[19.2]	6.943[19.8]	2.653[20.8]
P5	14.477[16.6]	14.024[17.5]	9.360[17.9]	3.263[19.5]
P6	20.489[17.9]	23.613[14.7]	15.769[14.8]	4.953[16.9]
P7	29.417[15.5]	24.947[14.4]	17.002[14.3]	4.742[16.9]
P8	31.667[15.0]	26.083[14.2]	17.751[14.1]	4.575[16.9]
P9	33.251[14.7]	26.945[14.0]	17.791[14.1]	4.326[17.1]
P10	34.201[14.4]	27.949[13.6]	17.718[13.6]	4.147[17.1]
P11	34.559[14.3]	28.017[13.7]	17.685[13.7]	4.170[17.1]
P12	35.889[14.0]	28.092[13.6]	17.841[13.6]	4.171[17.1]
P13	35.727[14.0]	28.777[13.6]	18.347[13.6]	4.155[17.2]
P14	34.322[14.2]	29.822[13.4]	18.889[13.4]	4.099[17.1]
P15	31.380[14.7]	28.902[13.5]	18.900[13.5]	4.112[17.1]
P16	28.081[15.0]	27.120[13.8]	17.423[13.8]	3.873[17.4]
P17	27.290[15.4]	24.438[14.3]	15.260[14.5]	3.621[17.8]
P18	23.793[16.9]	20.980[15.0]	13.832[15.1]	3.369[18.2]
P19	20.054[18.2]	19.560[15.4]	12.696[15.6]	3.363[18.4]
P20	16.596[19.5]	18.806[15.6]	12.075[15.9]	3.625[18.1]
P21	14.672[15.9]	17.834[15.9]	11.557[16.2]	3.470[18.4]
P22	13.319[16.4]	15.362[16.6]	9.643[17.0]	3.459[18.9]
P23	13.250[16.5]	14.788[16.9]	9.220[17.2]	3.649[18.8]

TABELAS UTILIZADAS NA SAÍDA DA REDE NERUAL ARTIFICIAL

As tabelas obtidas na saída da RNA foram todas elaboradas para inverno e para verão, com todos os dias da semana, com de 24 intervalos de hora do dia e contendo todas as posições de acionamento (0 desligado e 1 ligado) dos 12 BC's obtidas no simulador SinapGrid. Para não ser repetitivo neste anexo, são apresentadas as planilhas de inverno e de verão contendo como exemplo, os dados de uma segunda feira.

A6.1 DADOS DE SAÍDA DA RNA – INVERNO – SEGUNDA FEIRA

ESTACAO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO	INVERNO
DIA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA	SEGUNDA
BC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CAPACITOR	BRAUG1-06R	BRAUG1-07R	BRAUG1-104R	BRAUG1-105R	BRAUG1-12R	BRAUG1-14R	BRAUG1-15R	BRAUG1-19R	BRAUG1-46R	BRAUG1-55R	BRAUG1-69R	BRAUG1-92R
Q (kVar)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
P0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
P2	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
P3	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
P4	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
P5	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
P6	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
P7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
P21	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
P22	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
P23	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1

A6.2 DADOS DE SAÍDA DA RNA – VERÃO – SEGUNDA FEIRA

ESTAÇÃO DIA	VERÃO SEGUNDA	VERÃO SEGUNDA	VERÃO SEGUNDA	VERÃO SEGUNDA	VERÃO SEGUNDA	VERÃO SEGUNDA	VERÃO SEGUNDA	VERÃO SEGUNDA	VERÃO SEGUNDA	VERÃO SEGUNDA	VERÃO SEGUNDA	VERÃO SEGUNDA
DC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CAPACITOR Q (kVar)	BRAUG1-06R 200	BRAUG1-07R 200	BRAUG1-104R 200	BRAUG1-109R 200	BRAUG1-12R 200	BRAUG1-14R 200	BRAUG1-15R 200	BRAUG1-19R 200	BRAUG1-46R 200	BRAUG1-55R 200	BRAUG1-69R 200	BRAUG1-92R 200
P0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
P2	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
P3	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
P4	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
P5	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
P6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P21	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
P22	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
P23	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1

RELATÓRIOS DE PERDAS POR DIA

A7.1 INVERNO - DOMINGO

Todos os bancos de capacitores desligados durante todo o dia		
Balanco Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	227,927	100
Fornecida (EF)	423,741	99,49
Perda (PT)	1,162	0,51
Bancos de capacitores acionados pela Rede Neural Artificial em tempo real seguindo as medições no período de uma hora		
Balanco Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	228,317	100
Fornecida (EF)	227,195	99,508
Perda (PT)	1,123	0,492

A7.2 INVERNO – SEGUNDA FEIRA

Todos os bancos de capacitores desligados durante todo o dia		
Balanco Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	344,983	100
Fornecida (EF)	342,133	99,174
Perda (PT)	2,85	0,826
Bancos de capacitores acionados pela Rede Neural Artificial em tempo real seguindo as medições no período de uma hora		
Balanco Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	345,803	100
Fornecida (EF)	343,054	99,205
Perda (PT)	2,749	0,795

A7.3 INVERNO – TERÇA FEIRA

Todos os bancos de capacitores desligados durante todo o dia		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	343,338	100
Fornecida (EF)	340,535	99,184
Perda (PT)	2,803	0,816
Bancos de capacitores acionados pela Rede Neural Artificial em tempo real seguindo as medições no período de uma hora		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	344,154	100
Fornecida (EF)	341,451	99,215
Perda (PT)	2,703	0,785

A7.4 INVERNO – QUARTA FEIRA

Todos os bancos de capacitores desligados durante todo o dia		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	354,642	100
Fornecida (EF)	351,642	99,154
Perda (PT)	3,001	0,846
Bancos de capacitores acionados pela Rede Neural Artificial em tempo real seguindo as medições no período de uma hora		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	355,497	100
Fornecida (EF)	352,602	99,186
Perda (PT)	2,895	0,814

A7.5 INVERNO – QUINTA FEIRA

Todos os bancos de capacitores desligados durante todo o dia		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	354,602	100
Fornecida (EF)	351,597	99,153
Perda (PT)	3,005	0,847
Bancos de capacitores acionados pela Rede Neural Artificial em tempo real seguindo as medições no período de uma hora		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	355,448	100
Fornecida (EF)	352,549	99,184
Perda (PT)	2,899	0,816

A7.6 INVERNO – SEXTA FEIRA

Todos os bancos de capacitores desligados durante todo o dia		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	352,019	100
Fornecida (EF)	349,061	99,16
Perda (PT)	2,957	0,84
Bancos de capacitores acionados pela Rede Neural Artificial em tempo real seguindo as medições no período de uma hora		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	352,859	100
Fornecida (EF)	350,007	99,192
Perda (PT)	2,853	0,808

A7.7 INVERNO – SÁBADO

Todos os bancos de capacitores desligados durante todo o dia		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	254,306	100
Fornecida (EF)	252,856	99,43
Perda (PT)	1,45	0,57
Bancos de capacitores acionados pela Rede Neural Artificial em tempo real seguindo as medições no período de uma hora		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	254,844	100
Fornecida (EF)	253,445	99,451
Perda (PT)	1,399	0,549

A7.8 VERÃO – DOMINGO

Todos os bancos de capacitores desligados durante todo o dia		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	267,432	100
Fornecida (EF)	265,835	99,403
Perda (PT)	1,596	0,597
Bancos de capacitores acionados pela Rede Neural Artificial em tempo real seguindo as medições no período de uma hora		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	268,059	100
Fornecida (EF)	266,521	99,426
Perda (PT)	1,538	0,574

A7.9 VERÃO – SEGUNDA FEIRA

Todos os bancos de capacitores desligados durante todo o dia		
Balanco Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	428,268	100
Fornecida (EF)	423,741	98,943
Perda (PT)	4,527	1,057
Bancos de capacitores acionados pela Rede Neural Artificial em tempo real seguindo as medições no período de uma hora		
Balanco Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	429,303	100
Fornecida (EF)	424,921	98,979
Perda (PT)	4,382	1,021

A7.10 VERÃO – TERÇA FEIRA

Todos os bancos de capacitores desligados durante todo o dia		
Balanco Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	424,804	100
Fornecida (EF)	420,467	98,979
Perda (PT)	4,337	1,021
Bancos de capacitores acionados pela Rede Neural Artificial em tempo real seguindo as medições no período de uma hora		
Balanco Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	425,825	100
Fornecida (EF)	421,641	99,015
Perda (PT)	4,195	0,985

A7.11 VERÃO – QUARTA FEIRA

Todos os bancos de capacitores desligados durante todo o dia		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	450,018	100
Fornecida (EF)	445,068	98,9
Perda (PT)	4,95	1,1
Bancos de capacitores acionados pela Rede Neural Artificial em tempo real seguindo as medições no período de uma hora		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	451,109	100
Fornecida (EF)	446,316	98,937
Perda (PT)	4,793	1,063

A7.12 VERÃO – QUINTA FEIRA

Todos os bancos de capacitores desligados durante todo o dia		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	433,775	100
Fornecida (EF)	429,157	98,935
Perda (PT)	4,618	1,065
Bancos de capacitores acionados pela Rede Neural Artificial em tempo real seguindo as medições no período de uma hora		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	434,833	100
Fornecida (EF)	430,36	98,972
Perda (PT)	4,469	1,028

A7.13 VERÃO – SEXTA FEIRA

Todos os bancos de capacitores desligados durante todo o dia		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	448,833	100
Fornecida (EF)	443,846	98,889
Perda (PT)	4,987	1,111
Bancos de capacitores acionados pela Rede Neural Artificial em tempo real seguindo as medições no período de uma hora		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	449,926	100
Fornecida (EF)	445,095	98,926
Perda (PT)	4,83	1,074

A7.14 VERÃO – SÁBADO FEIRA

Todos os bancos de capacitores desligados durante todo o dia		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	317,422	100
Fornecida (EF)	315,143	99,282
Perda (PT)	2,279	0,718
Bancos de capacitores acionados pela Rede Neural Artificial em tempo real seguindo as medições no período de uma hora		
Balanço Total de Energia diária (MWh)		
	Energia	EI (%)
Injetada (EI)	318,194	100
Fornecida (EF)	316	99,425
Perda (PT)	2,194	0,689

TERMOS E CONCESSIONÁRIAS

A8.1 TERMOS EM INGLÊS

<i>Adaline.</i>	Adaptive Linear Element - Arquitetura de RNA Única unidade de processamento não linear.
<i>AMD</i>	Circuitos integrados, processador (fabricante de)
<i>Backpropagation</i>	Propagação para trás (Método de aprendizagem de RNA.
<i>Bits</i>	Dígito binário
<i>CompactDAQ</i>	Plataforma de aquisição de dados
<i>CompactRIO</i>	Plataforma de aquisição de dados
<i>Data flow</i>	Fluxo de dados
<i>Downgrade</i>	Versão inferior
<i>Drivers</i>	Programa que permite ao sistema operacional usar as funcionalidades de um dispositivo.
<i>Ethernet</i>	Interconexão para redes locais
<i>Excel</i>	Programa computacional de criação de planilhas
<i>Feedforward</i>	Avante para frente (alimentação à frente)
<i>Firmwares</i>	Programa permanente armazenado na memória
<i>Framework</i>	Estrutura
<i>Hopfield</i>	Licença de campo
<i>Input</i>	Entrada

<i>Labview</i>	Programa computacional de linguagem gráfica
<i>LearnGDM</i>	Função de aprendizagem por adaptação
<i>Load Flow</i>	Fluxo de Potência
<i>Matlab</i>	Programa computacional voltado para cálculo
<i>Network</i>	Rede, rede de comunicação
<i>Network protector</i>	Protetor de Rede
<i>Overfitting</i>	sobre ajuste (superação)
<i>Perceptron</i>	Percepção
<i>Performance</i>	Desempenho
<i>sigmoidal (Logsig)</i>	Função de treinamento logarítmica
<i>sigmoidal (Tansig)</i>	Tangente hiperbólica signoidal
<i>Smart Grid</i>	Redes inteligentes
<i>Software</i>	Programa de computador
<i>Spot Network</i>	Rede local
<i>Standard</i>	padrão
<i>Status</i>	Estado
<i>Regression</i>	Regressão
<i>Targets</i>	Alvos
<i>ToolBoxes</i>	Caixa de ferramenta - conjuntos abrangentes de funções MATLAB
<i>TrainLM</i>	Função treinamento (Levenberg-Marquardt)
<i>Underfitting</i>	Sub ajuste (subordinado)
<i>Windows</i>	Sistema computacional operacional da empresa Microsoft

A8.2 CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA ELÉTRICA

AES Eletropaulo

AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S.A.

AES Tietê S/A

Ampla Energia e Serviços S.A.

Caiuá Distribuição de Energia S.A.

CEA - Companhia de Eletricidade do Amapá

CEB Distribuição S.A.

CEEE-D - Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica

Celesc-Dis - Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.

Celg Distribuição S.A.

Celpe - Centrais Elétricas do Pará S.A.

Celpe - Companhia Energética de Pernambuco

Celtins - Companhia de Energia Elétrica do Estado do Tocantins

Cemar - Companhia Energética do Maranhão

Cemat - Centrais Elétricas Matogrossenses S.A.

Cemig-D - Companhia Energética de Minas Gerais S.A.

Cerr - Companhia Energética de Roraima

CESP - Companhia Energética de São Paulo

CFLO - Companhia Força e Luz do Oeste

CHESF - Companhia Hidrelétrica do São Francisco

Chesp - Companhia Hidroelétrica São Patrício

CNEE - Companhia Nacional de Energia Elétrica

Cocel - Companhia Campolarguense de Energia

Coelba - Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia

Coelce - Companhia Energética do Ceará

Cooperaliança - Cooperativa Aliança

Copel-Dis - Companhia

Cosern - Companhia Energética do Rio Grande do Norte

CPFL Jaguari

CPFL Leste Paulista

CPFL Mococa

CPFL Paulista

CPFL Piratininga

CPFL Santa Cruz

CPFL Sul Paulista

CTEEP - Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista

Demei - Departamento Municipal de Energia Elétrica de Ijuí

DMED - DME Distribuição S.A.

EBO - Energisa Borborema S.A.

EDP Bandeirante

EDP Escelsa

EFLJC - Empresa Força e Luz João Cesa

Eflul - Empresa Força e Luz de Urussanga Ltda.

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A

Eletrobras Amazonas Energia

Eletrobras Distribuição Acre
Eletrobras Distribuição Alagoas
Eletrobras Distribuição Piauí
Eletrobras Distribuição Rondônia
Eletrobras Distribuição Roraima
Eletrocar - Centrais Elétricas de Carazinho S.A.
Elektro Eletricidade e Serviços S.A.
ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A
ELETRONUCLEAR - Eletrobrás Termonuclear S/A
ELETROSUL - Eletrosul Centrais Elétricas S/A
ELFSM - Empresa Luz e Força Santa Maria S.A.
EMG - Energisa Minas Gerais
Empresa de Distribuição de Energia Vale Paranapanema S.A.
Empresa Elétrica Bragantina S.A.
Enersul - Empresa Energética de Mato Grosso do Sul S.A.
ENF - Energisa Nova Friburgo Distribuidora de Energia S.A.
EPB - Energisa Paraíba S.A.
ESE - Energisa Sergipe Distribuidora de Energia S.A.
FURNAS - Furnas Centrais Elétricas S.A
GEAM - Grupo de Empresas Associadas Machadinho
Grupo Rede - Holding que controla as Concessionárias
Hidropan - Hidroelétrica Panambi S.A.
Iguaçu Distribuidora de Energia Elétrica Ltda

ITAIPU - Binacional

Light Serviços de Eletricidade S.A.

Muxfeldt, Marin & Cia. Ltda.

Nova Palma Energia

RGE - Rio Grande Energia S.A.

Sulgipe - Companhia Sul Sergipana de Eletricidade