

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Gustavo Victor Chávez Ortega

**Redes Neurais na Identificação de Perdas Comerciais
do Setor Elétrico**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientadora: Prof. Marley M. B. R. Vellasco
Co-orientadora: Prof. Karla T. Figueiredo Leite

Rio de Janeiro, abril de 2008



Gustavo Victor Chávez Ortega

Redes Neurais na Identificação de Perdas Comerciais do Setor Elétrico

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Profa. Marley Maria Bernades Rebuzzi Vellasco
Orientadora
Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Profa. Karla Tereza Figueiredo Leite
Co-Orientadora
UERJ

Prof. Luiz Biondi Neto
UERJ

Prof. Carlos Roberto Hall Barbosa
Programa de Pós-Graduação em Metrologia

Prof. Julio César Stacchini de Souza
UFF

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico

Rio de Janeiro, 11 de abril de 2008

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Gustavo Victor Chávez Ortega

Graduou-se em Engenharia Elétrica na UNSA (Universidad Nacional de San Agustín - Arequipa, Perú) em 2006. Dedicado a tempo integral à pesquisa em Sistemas de Energia Elétrica na PUC-Rio, Brasil.

Ficha Catalográfica

Chávez Ortega, Gustavo Victor

Redes neurais na identificação de perdas comerciais do setor elétrico / Gustavo Victor Chávez Ortega; orientadora: Marley M. B. R. Vellasco ; co-orientadora: Karla Figueiredo. – 2008.

184 f. : il.(col.) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Elétrica – Teses. 2. Perdas comerciais. 3. Redes neurais. 4. Filtragem. 5. Classificação. 6. Comitê. I. Vellasco, Marley M. B. R. II. Figueiredo, Karla. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD 621.3

Aos meus Pais, Gustavo e Juana,
pelo apoio incondicional em toda
minha caminhada.

Agradecimentos

A Deus por ter me guiado nesta jornada;

Muito especialmente, agradeço aos meus orientadores Dra. Marley Vellasco e Dra. Karla Figueiredo pelo permanente apoio nas diferentes etapas do desenvolvimento nesta dissertação, por sua atenção e paciência na discussão dos diferentes aspectos relacionados ao tema de pesquisa.

À CAPES e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

A Claudia Victoria e Ismael pelo apoio e amor incondicional.

Aos colegas do Laboratório de Inteligência Computacional ICA que de alguma forma contribuíram na confecção deste trabalho.

A todos os amigos do curso de Pós - Graduação em Engenharia Elétrica.

Aos professores doutores que participaram da Comissão Examinadora.

Resumo

Ortega, Gustavo Victor Chávez; Vellasco, Marley M. B. R. **Redes Neurais na Identificação de Perdas Comerciais do Setor Elétrico**. Rio de Janeiro, 2008. 184p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Atualmente, um dos maiores problemas das empresas brasileiras distribuidoras de energia elétrica é o de perdas comerciais, responsáveis pela maior parte das perdas do setor. A Light, por exemplo, é a terceira distribuidora com maiores perdas comerciais no Brasil, com 3,79 milhões de clientes de baixa tensão em 31 municípios do Estado do Rio de Janeiro. Estas perdas são causadas por fraudes nos medidores de energia, por equipamentos defeituosos e, principalmente, pelas ligações clandestinas, conhecidas por 'gatos', 'gambiarrras' ou 'macacos'. Uma forma tradicional de combate às Perdas Comerciais é a realização de inspeções nos consumidores. Entretanto, a seleção de quais consumidores devem ser inspecionados é uma tarefa árdua para os especialistas no assunto. As distribuidoras geralmente empregam um conjunto de metodologias heurísticas para identificar os clientes de baixa tensão suspeitos de estarem cometendo algum tipo de irregularidade. Todavia, a média de acertos dessas metodologias ainda é bastante inferior ao desejado, acarretando prejuízos elevados para as distribuidoras brasileiras. No caso específico da Light, a média de acerto na comprovação de clientes fraudadores é de apenas 25%. Verifica-se, portanto, que o processo adotado não é eficiente. Portanto, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia que identifique, com maior precisão, o perfil do cliente irregular (comprovada fraude no medidor, furto por ligação clandestina ou irregularidade técnica). O sistema inteligente resultante, denominado SIIPERCOM, baseia-se em Redes Neurais, para a 'filtragem' agrupando clientes com comportamentos semelhantes e 'classificação' dos clientes de cada grupo em '*normais*' ou '*irregulares*'.

Palavras-chave

Perdas Comerciais, Redes Neurais, Filtragem, Classificação, Comitê.

Abstract

Ortega, Gustavo Victor Chávez; Vellasco, Marley M. B. R. **Neural Networks in the Identification of Commercial Losses of the Electrical Sector**. Rio de Janeiro, 2008. 184p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Currently, one of the biggest problems of Brazilian companies distributing electrical power is the loss commercial, responsible for most of the losses in the sector. The Light, for example, is the third largest distributor with commercial losses in Brazil, with 3.79 million clients of low voltage in 31 municipalities in the State of Rio de Janeiro. These losses are caused by fraud in the energy meters, for defective equipment, and principally by illegal connections, known as 'cats', 'stage lights' or 'monkeys'. The traditional form to combat to the commercial losses is the realization of inspections on consumers. However, the selection of which consumers should be inspected is an arduous task to specialists in the subject. The distributors usually employ a range of methodologies heuristics to identify customers with low voltage suspected to be committing some type of irregularity. However, the average of correct these methodologies is still much lower than desired, causing heavy losses to Brazilian distributors. In the specific case of Light, the average hit the evidence of customers fraudsters is only 25%. It appears therefore that the process adopted is not efficient. Therefore, this study aims to develop a methodology to identify, with greater precision, the irregular profile of the customer (meter was proven fraud, theft by illegal connection or technical irregularity). The resulting intelligent system, called SIIPERCOM, based on Neural Networks, for the 'filtering' grouping customers with similar behaviors and 'classification' of the customers of each group in 'normal' or 'irregular'.

Keywords

Commercial Losses, Neural Networks, Filtering, Classification, Committee.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	22
1.1. Motivação	22
1.2. Objetivos do Trabalho	24
1.3. Descrição do Trabalho	24
1.4. Organização da Dissertação	25
2 PERDAS DE ENERGIA	27
2.1. Classificação das Perdas Comerciais	28
2.1.1. Perdas Comerciais por ligações clandestinas (Furto de Energia)	29
2.1.2. Perdas Comerciais por Fraudes nos medidores	30
2.1.3. Perdas Comerciais por Irregularidades Técnicas	32
2.1.4. Perdas Comerciais Administrativas	33
2.2. Cálculo das Perdas Comerciais	34
2.3. Perdas Comerciais no Brasil	34
2.4. Perdas Comerciais no Rio de Janeiro	37
2.4.1. Área de Atuação da Light	37
2.4.2. Características Operacionais da Light	40
2.4.3. Perdas Comerciais na Light	41
2.5. Perdas Comerciais e a Violência	42
2.6. Perdas Comerciais e a Inadimplência	44
2.6.1. Inadimplência na Baixa Tensão	45
2.6.2. Inadimplência na Média e Alta Tensão	46
2.7. Perdas Comerciais e o custo da Energia Elétrica	47
2.8. Perdas Comerciais e os Aspectos Culturais	48
3 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	50
3.1. O que é uma Rede Neural Artificial	50
3.2. Modelo do neurônio	52
3.3. Tipos de Função de Ativação	55
3.4. Arquitetura de Redes Neurais	57
3.4.1. Redes feedforward de Camada Única	57
3.4.2. Redes feedforward de Múltiplas Camadas	57
3.4.3. Redes Recorrentes	58
3.5. Paradigmas de Aprendizagem	59
3.5.1. Aprendizado Supervisionado (com professor)	59

3.5.2. Aprendizado Não-supervisionado	60
3.6. Redes Neurais Artificiais Multilayer Perceptron	61
3.6.1. Algoritmo de Aprendizagem Back Propagation	61
3.6.2. Generalização em RNAs	63
3.6.3. Parada antecipada do treinamento	64
3.7. Sistemas Multi-Net	66
3.7.1. Formação de comitês	67
3.7.2. Métodos de variação no conjunto de treinamento	68
3.7.2.1. Replicação Dirigida de Padrões (RDP)	68
3.7.2.2. Bootstrap	70
3.7.2.3. Arc-x4	71
3.8. Combinação de Classificadores	72
3.8.1. Métodos de Combinação	73
3.8.1.1. Votação Majoritária	74
3.8.1.2. Votação por Pluralidade	75
3.8.1.3. Borda Count	75
4 SISTEMA INTELIGENTE PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PERDAS COMERCIAIS (SIIPERCOM)	76
4.1. Fase de Treinamento	79
4.1.1. Módulo 1: Pré-Processamento da Base de Dados	79
4.1.1.1. Limpeza da Base de Dados	80
4.1.1.2. Seleção de atributos de entrada	82
4.1.1.3. Codificação da Base de Dados	84
4.1.1.4. Normalização da Base de Dados	85
4.1.2. Módulo 2: Filtragem de dados	87
4.1.2.1. Construção da base de dados para a Filtragem	88
4.1.3. Módulo 3: Classificação	96
4.1.3.1. Construção de base de dados para a Classificação	96
4.2. Fase de Classificação	97
4.2.1. Módulo 4: Indicação de Possíveis Irregularidades	97
4.2.1.1. Métricas de Análise de Desempenho	98
5 ESTUDO DE CASO	102
5.1. Seleção e Avaliação dos Dados na Light	102
5.2. Fase de Treinamento na Light	104
5.2.1. Módulo 1: Pré-Processamento da Base de Dados da Light	104

5.2.1.1. Limpeza da Base de Dados	104
5.2.1.2. Seleção de atributos de entrada	104
5.2.1.3. Codificação da Base de Dados	113
5.2.1.4. Normalização da Base de Dados	115
5.2.2. Módulo 2: Filtragem de dados na Light	117
5.2.2.1. Construção da base de dados para sua Filtragem na Light	119
5.2.3. Módulo 3: Classificação na Light	129
5.3. Fase de Classificação na Light	130
5.3.1. Módulo 4: Indicação de Possíveis Irregularidades na Light	130
5.4. Resumo Resultados de Treinamento Residencial Leste	133
5.5. Resumo Resultados de Treinamento Residencial Oeste	134
6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	137
6.1. Conclusões	137
6.2. Trabalhos Futuros	138
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	140
ANEXOS	146
Anexo I: Códigos da Seleção de atributos de entrada na Light Campo Origem (Tabela 18)	146
Anexo II: Códigos da Seleção de atributos de entrada na Light Campo Corte (Tabela 20)	147
Anexo III: Códigos da Seleção de atributos de entrada na Light Campo Inspeção (Tabela 21)	148
Anexo IV: Códigos da Seleção de atributos de entrada na Light Campo Local (Tabela 22)	151
Anexo V: Códigos da Seleção de atributos de entrada na Light Campo Medidor (Tabela 23)	152
Anexo VI: Códigos da Codificação Origem da Unidade Consumidora (Tabela 25)	154
Anexo VII: Códigos da Codificação Identificados de Medidor (Tabela 25)	155
Anexo VIII: Resultados de Treinamento Zei 538 Leste	155
Anexo IX: Resultados de Treinamento Zei 540 Leste	157
Anexo X: Resultados de Treinamento Zei 544 Leste	160
Anexo XI: Resultados de Treinamento Zei 545 Leste	162

Anexo XII: Resultados de Treinamento Zeis 535/550/551/552/555/ 565/566 Leste	165
Anexo XIII: Resultados de Treinamento Zei 590 Oeste	168
Anexo XIV: Resultados de Treinamento Zei 593 Oeste	170
Anexo XV: Resultados de Treinamento Zei 539 Oeste	173
Anexo XVI: Resultados de Treinamento Zei 585 Oeste	176
Anexo XVII: Resultados de Treinamento Zeis 538/540/544/545/535/ 550/551/552/555/565/566 Não Residencial Leste	179
Anexo XVIII: Resultados de Treinamento Zeis 539/585/590/593 Não Residencial Oeste	182

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Custos das Perdas Comerciais Brasil no ano 2004.	34
Tabela 2 - Custos das Perdas Comerciais Brasil no ano 2007.	35
Tabela 3 - Impacto das Perdas nas Tarifas de Energia. Fonte: ANEEL.	36
Tabela 4 - Quantidade de clientes – Superintendências Regionais.	38
Tabela 5 - Perdas de Energia – Light 2005.	42
Tabela 6 - Ações de Violência – Light 2004.	43
Tabela 7 - Inadimplência no Estado do Rio de Janeiro por Segmento.	46
Tabela 8 - Exemplo de conjunto de treinamento; A, B, C, e D são atributos.	69
Tabela 9 - Conjunto especializado na classe 1; A, B, C, e D são atributos.	69
Tabela 10 - Conjunto especializado na classe 2; A, B, C, e D são atributos.	70
Tabela 11 - Conjunto especializado na classe 3; A, B, C, e D são atributos.	70
Tabela 12 - Conjuntos formados com o Arc-x4 – O padrão 1 é difícil.	72
Tabela 13 - Sistematização dos métodos de combinação estudos.	74
Tabela 14 - Técnicas Dependentes do Modelo (Model Based ou wrapper).	84
Tabela 15 - Técnicas Independentes do Modelo (Model Free ou filter).	84
Tabela 16 - Matriz de confusão (Filtragem de dados).	93
Tabela 17 - Matriz de confusão (Treinamento de Classificação).	99
Tabela 18 - Atributos selecionados do campo Origem da Light.	105
Tabela 19 - Atributos selecionados do campo Origens da Light.	105
Tabela 20 - Atributos selecionados do campo Corte da Light.	106
Tabela 21 - Atributos selecionados do campo Inspeção da Light.	106
Tabela 22 - Atributos selecionados do campo Local da Light.	107
Tabela 23 - Atributos selecionados do campo Medidor da Light.	108
Tabela 24 - Atributos selecionados do campo Consumo da Light.	108
Tabela 25 - Codificação de Atributos de Entrada.	114
Tabela 26 - Identificação de Atributos de Entrada por tipo de normalização.	115
Tabela 27 - Entradas da Rede Neural da Light.	116
Tabela 28 - Exemplo de atributos finais utilizados no SIIPERCOM.	117
Tabela 29 - Quantidade de Usuários Inspeccionados Validados por Regional.	117
Tabela 30 - Relação de Zeis e Localidades na Regional Leste.	118
Tabela 31 - Relação de Zeis e Localidades na Regional Oeste.	118

Tabela 32 - Número de Clientes Residenciais da Regional Leste classificados segundo os resultados da inspeção.....	119
Tabela 33 - Número de Clientes Não Residenciais da Regional Leste classificados segundo os resultados da inspeção.....	120
Tabela 34 - Número de Clientes Residenciais da Regional Oeste classificados segundo os resultados da inspeção.....	120
Tabela 35 - Número de Clientes Não Residenciais da Regional Oeste classificados segundo os resultados da inspeção.....	120
Tabela 36 - Divisão de amostras de Clientes Residenciais da Regional Leste.....	121
Tabela 37 - Divisão de amostras de Clientes Não Residenciais da Regional Leste.....	122
Tabela 38 - Divisão de amostras de Clientes Residenciais da Regional Oeste.....	122
Tabela 39 - Divisão de amostras de Clientes Não Residenciais da Regional Oeste.....	122
Tabela 40 - Critérios utilizados no Limiar de Filtragem.....	125
Tabela 41 - Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados – Zei 538 Residencial.....	126
Tabela 42 - Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados – Zei 540 Residencial.....	126
Tabela 43 - Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados – Zei 544 Residencial.....	126
Tabela 44 - Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados – Zei 545 Residencial.....	127
Tabela 45 - Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados – Zei 535/550/551/552/555/.....	127
Tabela 46 - Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados – Zei 590 Residencial.....	127
Tabela 47 - Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados – Zei 593 Residencial.....	128
Tabela 48 - Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados – Zei 539 Residencial.....	128
Tabela 49 - Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados Zei 585 Residencial.....	128
Tabela 50 - Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados Zeis 538/540/544/545/.....	129

Tabela 51 - Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados Zeis 539/585/590/593 Não Residencial.....	129
Tabela 52 - Número de Clientes da Base de Dados de Avaliação Residenciais da Regional Leste classificados segundo os resultados da inspeção	130
Tabela 53 - Número de Clientes da Base de Dados de avaliação Não Residenciais da Regional Leste classificados segundo os resultados da inspeção.	131
Tabela 54 - Número de Clientes da Base de Dados de avaliação Residenciais da Regional Oeste classificados segundo os resultados da inspeção.	131
Tabela 55 - Número de Clientes da Base de Dados de avaliação Não Residenciais da Regional Oeste classificados segundo os resultados da inspeção.	131
Tabela 56 - Limiares de Classificação utilizados no módulo de Classificação da Light.	132
Tabela 57 - Limiares do Comitê de Classificação utilizados no módulo de Classificação da Light.....	132
Tabela 58 - Resumo de Resultados Regional Leste (Módulo de Filtragem).	133
Tabela 59 - Resumo de Resultados Regional Leste (Módulo de Classificação).	134
Tabela 60 - Resumo de Resultados Regional Oeste (Módulo de Filtragem). ...	135
Tabela 61 - Resumo de Resultados Regional Oeste (Módulo de Classificação).	135
Tabela 62 - Códigos Tipo de Origem.....	146
Tabela 63 - Resultados da Inspeção.....	146
Tabela 64 - Códigos Tipo de Normalização.	147
Tabela 65 - Códigos Tipo de Corte.....	147
Tabela 66 - Códigos Tipo de Normalização.	148
Tabela 67 - Códigos Indicador de Irregularidade.	148
Tabela 68 - Códigos Motivo da Não Inspeção.....	149
Tabela 69 - Códigos Qualidade Pagadora.	149
Tabela 70 - Códigos Tipo de Origem.....	149
Tabela 71 - Códigos Tipo de Irregularidade encontrada.	150
Tabela 72 - Códigos Tipo de Normalização.	151
Tabela 73 - Códigos Tipo de Ação.	151
Tabela 74 - Códigos Tipo de Clientes.	152

Tabela 75 - Códigos Tipos de Medição.....	152
Tabela 76 - Códigos Tipos de Medidor.....	152
Tabela 77 - Códigos Tipos de Constante Medidor.	153
Tabela 78 - Códigos Origem.....	154
Tabela 79 - Códigos Identificador de modelo/fabricante do medidor.	155
Tabela 80 - Menor Erro (%) do Módulo de Filtragem Zei 538 Leste.	155
Tabela 81 - Resultados do Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zei 538 Residencial Leste (Módulo de Filtragem).....	156
Tabela 82 - Menor Erro (%) do Módulo de Classificação Zei 538 Leste.	156
Tabela 83 - Resultados do Comitê de Classificação vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zei 538 Residencial Leste (Módulo de Classificação).	157
Tabela 84 - Menor Erro (%) do Módulo de Filtragem Zei 540 Leste.	158
Tabela 85 - Resultados do Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zei 540 Residencial Leste (Módulo de Filtragem).....	158
Tabela 86 - Menor Erro (%) do Módulo de Classificação Zei 540 Leste.	159
Tabela 87 - Resultados do Comitê de Classificação vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zei 540 Residencial Leste (Módulo de Classificação).	159
Tabela 88 - Menor Erro (%) do Módulo de Filtragem Zei 544 Leste.	160
Tabela 89 - Resultados do Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zei 544 Residencial Leste (Módulo de Filtragem).....	161
Tabela 90 - Menor Erro (%) do Módulo de Classificação Zei 544 Leste.	161
Tabela 91 - Resultados do Comitê de Classificação vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zei 544 Residencial Leste (Módulo de Classificação).	162
Tabela 92 - Menor Erro (%) do Módulo de Filtragem Zei 545 Leste.	163
Tabela 93 - Resultados do Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zei 545 Residencial Leste (Módulo de Filtragem).....	163
Tabela 94 - Menor Erro (%) do Módulo de Classificação Zei 545 Leste.	164
Tabela 95 - Resultados do Comitê de Classificação vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zei 545 Residencial Leste (Módulo de Classificação).	164

Tabela 96 - Menor Erro (%) do Módulo de Filtragem Zeis 535/550/551/552/555/565/566 Leste.....	165
Tabela 97 - Resultados do Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zeis 535/550/551/552/555/565/566 Residencial Leste (Módulo de Filtragem).....	166
Tabela 98 - Menor Erro (%) do Módulo de Classificação Zeis 535/550/551/552/555/565 /566 Leste.....	167
Tabela 99 - Resultados do Comitê de Classificação vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zeis 535/550/551/552/ 555/565/566 Residencial Leste (Módulo de Classificação).....	167
Tabela 100 - Menor Erro (%) do Módulo de Filtragem Zei 590 Oeste.....	168
Tabela 101 - Resultados do Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zei 590 Residencial Oeste (Módulo de Filtragem).....	169
Tabela 102 - Menor Erro (%) do Módulo de Classificação Zei 590 Oeste.	169
Tabela 103 - Resultados do Comitê de Classificação vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zei 590 Residencial Oeste (Módulo de Classificação).	170
Tabela 104 - Menor Erro (%) do Módulo de Filtragem Zei 593 Oeste.....	171
Tabela 105 - Resultados do Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zei 593 Residencial Oeste (Módulo de Filtragem).....	171
Tabela 106 - Menor Erro (%) do Módulo de Classificação Zei 593 Oeste.	172
Tabela 107 - Resultados do Comitê de Classificação vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zei 593 Residencial Oeste (Módulo de Classificação).	173
Tabela 108 - Menor Erro (%) do Módulo de Filtragem Zei 539 Oeste.....	174
Tabela 109 - Resultados do Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zei 539 Residencial Oeste (Módulo de Filtragem).....	174
Tabela 110 - Menor Erro (%) do Módulo de Classificação Zei 539 Oeste.	175
Tabela 111 - Resultados do Comitê de Classificação vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zei 539 Residencial Oeste (Módulo de Classificação).	175
Tabela 112 - Menor Erro (%) do Módulo de Filtragem Zei 585 Oeste.....	176

Tabela 113 - Resultados do Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zei 585 Residencial Oeste (Módulo de Filtragem).....	177
Tabela 114 - Menor Erro (%) do Módulo de Classificação Zei 585 Oeste.	177
Tabela 115 - Resultados do Comitê de Classificação vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zei 585 Residencial Oeste (Módulo de Classificação).	178
Tabela 116 - Menor Erro (%) do Módulo de Filtragem Zeis 538/540/544/545/535/550/551/552/555/565/566 Não Residencial Leste.....	179
Tabela 117 - Resultados do Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zeis 538/540/544/545/535/550/551/552/555/565/566 Não Residencial Leste (Módulo de Filtragem).....	180
Tabela 118 - Menor Erro (%) do Módulo de Classificação Zeis 538/540/544/545/535/ 550/ 551/552/555/565/566 Não Residencial Leste.....	181
Tabela 119 - Resultados do Comitê de Classificação vs Clientes Inspeccionados Base de Dados Zeis 539/585/590/593 Não Residencial Oeste (Módulo de Classificação).....	181
Tabela 120 - Menor Erro (%) do Módulo de Filtragem Zeis 539/585/590/593 Não Residencial Oeste.	182
Tabela 121 - Resultados do Comitê de Filtragem vs Clientes Inspeccionados Base de Dados Zeis 539/585/590/593 Não Residencial Oeste (Módulo de Filtragem).....	183
Tabela 122 - Menor Erro (%) do Módulo de Classificação Zeis 539/585/590/593 Não Residencial Oeste.	183
Tabela 123 - Resultados do Comitê de Classificação vs Clientes Inspeccionados Base de Dados de Avaliação Zeis 539/585/590/593 Não Residencial Oeste (Módulo de Classificação).	184

Lista de Figuras

Figura 1 - Classificação das Perdas Comerciais.	28
Figura 2 – Área de Concessão da Light – Superintendências Regionais.	38
Figura 3 – Clientes por classe de consumo.	40
Figura 4 – Estrutura de Mercado da Light em 2005.	41
Figura 5 – Inadimplência por Classe de Consumo na Light.	45
Figura 6 - Neurônio biológico.	53
Figura 7 - Modelo matemático do neurônio.	54
Figura 8 - Funções de ativação mais utilizadas.	56
Figura 9 - Rede alimentada adiante de camada única.	57
Figura 10 - Rede alimentada adiante de múltiplas camadas.	58
Figura 11 - Rede neural recorrente.	58
Figura 12 - Aprendizado supervisionado.	59
Figura 13 - Aprendizado não supervisionado.	60
Figura 14 - Monitoramento da métrica de erro de validação ocasionando um 'early stopping'.	65
Figura 15 - Comitê de Redes Neurais.	67
Figura 16 - Diagrama de blocos do Sistema Inteligente para a Identificação de Perdas Comerciais SIIPERCOM (Fase Treinamento).	76
Figura 17 - Diagrama de blocos do Sistema Inteligente para a Identificação de Perdas Comerciais SIIPERCOM (Fase Classificação).	78
Figura 18 - Bases de Treinamento e Avaliação.	80
Figura 19 - Classificação dos Atributos (Variáveis).	85
Figura 20 - Criação das amostras de dados para compor as bases de aprendizado.	89
Figura 21 - Divisão das amostras de dados para compor as bases de aprendizado.	90
Figura 22 - Topologia de Rede Neural MLP com 1 saída (Módulo de Filtragem de dados).	91
Figura 23 - Comitê de Filtragem vs Matriz de Confusão.	95
Figura 24 - Divisão das amostras de dados para compor as bases novas de aprendizado.	96

Figura 25 - Topologia de Rede Neural MLP com 1 saída (Módulo de Classificação).	97
Figura 26 - Comitê de Classificação vs Matriz de confusão.....	99
Figura 27 - Estrutura da Base de Dados Seleccionada da Light.....	105
Figura 28 - Topologia de Rede Neural MLP com 1 saída (Módulo de Filtragem de dados) – Caso de Estudo Light.	123

Definições

ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
AES	AES Distribuidora Gaúcha de Energia
AMPLA	Companhia de Eletricidade do Rio de Janeiro (CERJ)
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos
CELPA	Centrais Elétricas do Pará
CELPE	Companhia Energética de Pernambuco
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CENF	Companhia de Eletricidade de Nova Friburgo
CERON	Centrais Elétricas de Rondônia S/A
C.I.C.	Código de Irregularidade de Consumo
C.I.L.	Código de Irregularidade de Leitura
COELBA	Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
COELCE	Companhia Energética do Ceará
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
COSERN	Companhia Energética do Rio Grande do Norte
EDF	Electricité de France
ENERGIPE	Empresa Energética de Sergipe
FECOMÉRCIO-RJ	Federação do Comércio do Estado do Rio de Janeiro
GWh	Gigawatt hora
IEN	Sistema de Cálculo de Recuperação de Energia
kWh	Kilowatt hora
kWh/mês	Kilowatt hora por mês
MANAUS	Manaus Energia S/A
MLP	Multi Layer Perceptron
MW	Megawatt
MWh	Megawatt hora
Real ou R\$	A moeda corrente no Brasil
RGE	Rio Grande Energia
RNA	Redes Neurais Artificiais
R\$ Bilhões	Bilhões de Reais

R\$ MM	Milhões de Reais
R\$/MWh	Reais por Megawatt hora
SIIPERCOM	Sistema Inteligente para a Identificação de Perdas Comerciais
STF	Sistema de Tratamento de Fraudes
STI	Sistema de Tratamento de Irregularidades
SUPERVIA	Concessionária de Transportes Ferroviários S.A.
UC	Unidade Consumidora
VPP	Valor Preditivo Positivo
ZEIS	Zonas Especiais de Interesse Social