

ADRIANO GALINDO LEAL

SISTEMA PARA DETERMINAÇÃO DE PERDAS EM REDES DE
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO CURVAS DE
DEMANDA TÍPICAS DE CONSUMIDORES E REDES NEURAIAS
ARTIFICIAIS

São Paulo

2006

ADRIANO GALINDO LEAL

SISTEMA PARA DETERMINAÇÃO DE PERDAS EM REDES DE
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO CURVAS DE
DEMANDA TÍPICAS DE CONSUMIDORES E REDES NEURAIAS
ARTIFICIAIS

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

São Paulo

2006

ADRIANO GALINDO LEAL

SISTEMA PARA DETERMINAÇÃO DE PERDAS EM REDES DE
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO CURVAS DE
DEMANDA TÍPICAS DE CONSUMIDORES E REDES NEURAIIS
ARTIFICIAIS

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

Área de Concentração:
Sistemas de Potência

Orientador:
Prof. Dr. José Antonio Jardini

São Paulo

2006

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

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

São Paulo, 17 de janeiro de 2007.

Assinatura do autor

Assinatura do orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Leal, Adriano Galindo.

Sistema para determinação de perdas em redes de distribuição de energia elétrica utilizando curvas de demanda típicas de consumidores e redes neurais artificiais / A.G. Leal. -- ed. rev. -- São Paulo, 2006.

154 p.

Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1. Perdas técnicas. 2. Rede neural. 3. Curvas de demanda típicas.
4. Curvas de carga típicas. 5. Perdas técnicas. 6. Sistemas de distribuição
7. Sistemas de informação

I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II. t.

DEDICATÓRIA

Dedico este estudo, com todo o meu amor, admiração e gratidão, à minha **família**, em especial, à minha tia, Terezinha, pela confiança em meus talentos; aos meus avós, Pedro e Dirce, por terem sido minha rocha e apoio; à minha mãe, Maria, por sua bravura e sacrifício, e à minha querida irmã, pelo companheirismo, carinho e dedicação incansável à família. Inclusive a todos os membros (*in memoriam*) presentes e futuros das famílias Leal, Rosaboni, Chinelato, Rozaboni, Chinellato, Razzaboni, Motta, Magi, Rosa e Fernandes.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Antonio Jardini, que, nos 10 anos de convivência profissional, muito me ensinou, contribuindo para meu crescimento científico e intelectual.

Aos membros da banca examinadora Prof. Dr. Hernán Pietro Schmidt, Prof. Dr. Marcos Roberto Gouvêa, Prof. Dr. Luiz Carlos Magrini e Prof. Dr. Se Un Ahn, pelas opiniões valiosas e preciosas sugestões.

À ANEEL, Agencia Nacional de Energia Elétrica, pelo patrocínio dos diversos projetos de pesquisa e desenvolvimento, dos quais tive e tenho o orgulho de participar; em especial ao projeto intitulado “Sistema Computacional de Gerenciamento de Transformadores”, com a Empresa de Distribuição Bandeirante Energia, que serviu de inspiração para o desenvolvimento do presente trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do curso de Doutorado.

À Empresa de Distribuição Bandeirante Energia, por colocar à disposição dados de consumo e de sua rede de distribuição utilizados nesta tese, em particular aos Engenheiros Msc. Durval Battani e Dr. Se Un Ahn.

Aos colegas e amigos do GAGTD - Grupo de Automação da Geração, Transmissão e Distribuição - que indiretamente contribuíram para o enriquecimento deste trabalho: Alex Lopes de Oliveira, Carlos Alberto Villacorta, César Bravo Pariente, Cleber Roberto Guirelli, Daniel Miralla, Ferdinando Crispino, Gerson Yukio Saiki, Gervásio Luiz de Castro Neto, Jorge Yasuoka, José Geraldo Barreto Monteiro de Andrade, Mauricio George Miguel Jardini, Mário Masuda, Patrícia Rodrigues Loureiro e Silva, Paula Suemi Dantas Kayano, Ronaldo Pedro Casolari e Thales Sousa. Agradecimentos especiais a Ricardo Leon, pelo auxílio na revisão do inglês no Abstract e no artigo para o congresso IEEE Power Engineering Society PCSE 2006, e ao Prof. Dr. Jorge Andrey Wilhelms Gut, pelo auxílio na confecção do pôster para esse mesmo congresso.

Finalmente, agradeço à minha família, pois sem ela eu não vivo, apenas existo.

“Sábio é aquele que de todos aprende.
É forte o que vence a si mesmo.
Rico o que se contenta com o que possui.
Só aquele que respeita a pessoa humana merece por sua vez respeito.”
Talmude

“Todas as coisas têm seu tempo
e todas passam debaixo do céu segundo o termo
que a cada uma foi prescrito.
Há tempo de nascer e tempo de morrer.
Há tempo de plantar e tempo de arrancar o que se plantou.
Há tempo de adoecer e tempo de sarar.
Há tempo de destruir e tempo de edificar.
Há tempo de chorar e tempo de rir.
Há tempo de se afligir e tempo de saltar de gosto.
Há tempo de espalhar pedras e tempo de as ajuntar.
Há tempo de dar abraços e tempo de se pôr longe deles.
Há tempo de adquirir e tempo de perder.
Há tempo de guardar e tempo de lançar fora.
Há tempo de rasgar e tempo de coser.
Há tempo de calar e tempo de falar.
Há tempo de amar e tempo de odiar.
Há tempo de guerra e tempo de paz.”
Kohelet, 3

“Se a tolerância é o motor da vida, a humildade é o seu combustível.
Da mesma forma que a Disciplina dá um foco à Bondade,
Humildade dá à Resistência uma direção.
A humildade é o parceiro silencioso da resistência.
Sua força reside em seu silêncio.
Seu esplendor está no seu repouso.”
Rabbi Simon Jacobson

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo propor uma nova metodologia para o cálculo das perdas médias diárias por segmento do sistema de distribuição. As perdas técnicas são agrupadas nos seguintes segmentos: rede secundária, transformador de distribuição, rede primária e subestação de distribuição. Desenvolveu-se uma metodologia destinada ao cálculo das perdas de forma hierárquica: por exemplo, selecionada uma subestação específica, são calculadas as perdas na subestação e em seus componentes a jusante (redes primárias, transformadores de distribuição, redes secundárias). As perdas, inicialmente, são obtidas por meio de cálculo elétrico para os segmentos envolvidos, com a utilização dos parâmetros da rede, com os dados de faturamento e as curvas de carga típicas por classe de consumidor e seus tipos de atividade. Com os resultados desses cálculos, treinam-se redes neurais que irão calcular as perdas em sistemas genéricos utilizando os parâmetros e topologia do segmento e as curvas típicas de cargas dos consumidores e a energia mensal consumida. O trabalho apresenta um exemplo de aplicação, em sistema de distribuição existente, mostrando os resultados obtidos, e termina apresentando as principais vantagens da metodologia. Finalmente, os resultados obtidos com a nova metodologia são comparados com os resultados obtidos por métodos analíticos de cálculo intensivo.

Palavras-chave: Perdas técnicas. Rede neural artificial. Curvas de demanda típicas. Curvas de carga típicas. Perdas. Sistemas de distribuição. Sistemas de informação.

ABSTRACT

In this work will be presented a new methodology for the calculation of the energy technical losses in a distribution system. The proposed approach regards the segmentation of the distribution system, thus, the losses will be obtained for segments such as: the secondary network, distribution transformer, primary network and distribution substation. It was developed a computational system aimed to the calculation of the technical losses within specific distribution networks and usable in a microcomputer. Such calculation is done in a hierarchical way. For instance, once selected a specific substation it is calculated the losses within the substation and in all the above mentioned components existing downstream the substation. The energy technical losses are calculated for each segment involved in the distribution system. This is done by using the network's recorded data, the energy consumption data and the typical load curves by class of consumer and type of activity developed. The outcome of these calculations are then used to train the neural networks, which in turn will calculate the losses in generic distribution system where characteristics such as the circuit parameters and topology, the consumer's load curves and the monthly energy consumed, are known. By using the energy data available in the supplying points, the total energy billed per month as well as the loss indexes per segment, it will result on the total amount of the energy losses on each segment of the system. Likewise, this procedure will enable an evaluation of the non-technical losses. The results of a case study related to an existing distribution system and the main advantages of the proposed methodology, are also presented herein. Finally, the results obtained with the new methodology are compared with those obtained throughout analytical methods.

Keywords: Technical losses. Artificial neural network. Typical demand curves. Typical load curves. Losses. Distribution system. Information system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 - Curva Composta das Curvas Média e Desvio-Padrão.....	27
Figura 3.2 - Curva de Carga Diária Média e Desvio-Padrão de um Transformador.....	31
Figura 3.3 - Curva de Carga Diária de um Transformador Estratificada em 11 Curvas.....	33
Figura 3.4 Modelo <i>Multi-Layer Perceptron</i> - MLP.....	37
Figura 3.5 - Tela de Treinamento das Redes Neurais Artificiais.....	42
Figura 3.6 - Barra de Navegação de Registro.....	43
Figura 3.7 - Menu de Ferramentas da Tela de Redes Neurais.....	43
Figura 3.8 - Esquemático do Treinamento da Rede Neural.....	46
Figura 3.9 - Esquemático do Teste da Rede Neural.....	47
Figura 3.10 - Histograma de Erro Relativo Percentual.....	48
Figura 3.11 - Menu Principal.....	49
Figura 3.12 - Tela do Cálculo de Perdas Técnicas por Redes Neurais Treinadas.....	50
Figura 3.13 - Esquemático do Processamento da Rede Neural.....	50
Figura 4.1 - Carregamento do <i>Cluster</i> 1, Freq.: 26.120, Tipo Comercial e Residencial.....	62
Figura 4.2 - Carregamento do <i>Cluster</i> 2, Freq.: 3.204, Tipo Comercial e Industrial.....	62
Figura 4.3 - Carregamento do <i>Cluster</i> 3, Freq.: 197, Tipo Comercial e Industrial.....	63
Figura 4.4 - Carregamento do <i>Cluster</i> 4, Freq.: 1.509, Tipo Comercial e Industrial.....	63
Figura 4.5 - Carregamento do <i>Cluster</i> 5, Freq.: 109, Tipo Comercial e Industrial.....	64
Figura 4.6 - Carregamento do <i>Cluster</i> 6, Freq.: 1.931, Tipo Comercial e Industrial.....	64
Figura 4.7 - Carregamento do <i>Cluster</i> 7, Freq.: 9.820, Tipo Residencial.....	65
Figura 4.8 - Carregamento do <i>Cluster</i> 8, Freq.: 596, Tipo Residencial.....	65
Figura 4.9 - Carregamento do <i>Cluster</i> 9, Freq.: 14.698, Tipo Residencial.....	66
Figura 4.10 - Carregamento do <i>Cluster</i> 10, Freq.: 3.301, Tipo Residencial.....	66
Figura 4.11 - Carregamento do <i>Cluster</i> 10, Freq.: 3.301, Tipo Residencial.....	67
Figura 4.12 - Curva de Carga do Consumidor Tipo 1.....	82
Figura 4.13 - Curva de Carga do Consumidor Tipo 2.....	83
Figura 4.14 - Curva de Carga do Consumidor Tipo 3.....	84
Figura 4.15 - Curva de Carga do Consumidor Tipo 4.....	85
Figura I.1 - Ligação estrela-aberta aterrada – delta aberto atrasado.....	102
Figura I.2 - Ligação estrela-aberta aterrada – delta aberto adiantado.....	103
Figura I.3 - Ligação estrela – delta.....	104
Figura I.4 - Ligação delta – delta.....	105
Figura I.5 - Ligação delta – delta.....	106
Figura I.6 - Ligação delta – delta com carga trifásica, mesmo ângulo de impedância para Z_p e Z_L	107
Figura I.7 - Ligação estrela-aberta aterrada – delta aberto atrasado.....	108
Figura I.8 - Ligação delta-estrela aterrada.....	109
Figura II.1 - Curva de Carga Residencial - Abaixo de 200 kWh / Mês.....	110
Figura II.2 - Curva de Carga Residencial - (201 a 400) kWh / Mês.....	111
Figura II.3 - Curva de Carga Residencial - (401 a 500) kWh / Mês.....	111
Figura II.4 - Curva de Carga Residencial - Acima de 500 kWh / Mês.....	112
Figura II.5 - Curva de Carga de Garagens e Estacionamento de Veículos.....	113
Figura II.6 - Curva de Carga de Hotéis e Motéis.....	114
Figura II.7 - Curva de Carga de Restaurantes e Lanchonetes.....	114
Figura II.8 - Curva de Carga de Bares, Botequins, Cafés, Confeitarias e Sorveterias.....	115
Figura II.9 - Curva de Carga de Outros Serviços de Alimentação Não Especificados.....	115
Figura II.10 - Curva de Carga de Manutenção e Conservação de Veículos em Geral.....	116
Figura II.11 - Curva de Carga de Serviços de Higiene – Barbearias, Saunas, Lavanderias etc.....	116
Figura II.12 - Curva de Carga de Assistência Médica, Odontológica e Veterinária.....	117
Figura II.13 - Curva de Carga de Estabelecimentos Particulares de Cursos Livres.....	117
Figura II.14 - Curva de Carga de Escritório de Empresa de Comércio Varejista.....	118
Figura II.15 - Curva de Carga de Escritório de Empresa de Atividade Não Especificada.....	118
Figura II.16 - Curva de Carga de Bancos Comerciais e Caixas Econômicas.....	119

Figura II.17 - Curva de Carga de Comércio Atacadista de Ferragens e Produtos Metalúrgicos	119
Figura II.18 - Curva de Carga de Comércio Atacadista de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos para Uso Comercial, Profissional e Doméstico.....	120
Figura II.19 - Curva de Carga de Comércio Atacadista de Papel, Impressos e Artigos de Escritório	120
Figura II.20 - Curva de Carga de Comércio Atacadista de Leite e Derivados	121
Figura II.21 - Curva de Carga de Comércio Atacadista de Produtos Importados.....	121
Figura II.22 - Curva de Carga de Comércio de Mercadorias em Geral, sem Produtos Alimentícios	122
Figura II.23 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Ferragens e Produtos Metalúrgicos.....	122
Figura II.24 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Máquinas e Aparelhos Elétricos.....	123
Figura II.25 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Veículos.....	123
Figura II.26 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Veículos e Acessórios	124
Figura II.27 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Acessórios para Veículos.....	124
Figura II.28 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Móveis, Artigos de Habitação e de Utilidade Doméstica	125
Figura II.29 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Livros, Papel, Impressos e Artigos de Escritório	125
Figura II.30 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Produtos Químicos e Farmacêuticos	126
Figura II.31 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Combustíveis e Lubrificantes	126
Figura II.32 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Tecidos	127
Figura II.33 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Artigos de Vestuário	127
Figura II.34 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Carnes e Peixes	128
Figura II.35 - Curva de Carga de Mercarias, Armazéns e Padarias	128
Figura II.36 - Curva de Carga de Supermercados.....	129
Figura II.37 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Brinquedos, Artigos Desportivos, Recreativos e para Presentes - Exclusive Magazines.....	129
Figura II.38 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Produtos Não Especificados ou Não Classificados	130
Figura II.39 - Curva de Carga de Administração de Imóveis	130
Figura II.40 - Curva de Carga de Serralharia, Fabricação de Tanques, Reservatórios.....	131
Figura II.41 - Curva de Carga de Fabricação de Material Eletrônico - Exclusive o Destinado a Aparelhos e Equipamentos de Comunicações	132
Figura II.42 - Curva de Carga de Fabricação de Peças e Acessórios para Veículos Automotores - Exclusive os de Instalação Elétrica e de Borracha	132
Figura II.43 - Curva de Carga de Fabricação de Estruturas de Madeira	133
Figura II.44 - Curva de Carga de Fabricação de Móveis de Madeira, Vime e Junco	133
Figura II.45 - Curva de Carga de Fiação e Tecelagem.....	134
Figura II.46 - Curva de Carga de Confecção de Roupas e Agasalhos.....	134
Figura II.47 - Curva de Carga de Fabricação de Produtos de Padaria e Pastelaria.....	135
Figura II.48 - Curva de Carga de Impressão de Material Escolar, Comercial e Industrial	135
Figura II.49 - Curva de Carga de Construção Civil	136
Figura II.50 - Curva de Carga de Transportes Urbanos de Passageiros, Inclusive Metroviários.....	137
Figura II.51 - Curva de Carga de Transportes Aéreos de Carga	137
Figura II.52 - Curva de Carga de Radiodifusão e Televisão	138
Figura II.53 - Curva de Carga de Hospitais e Casas de Saúde	138
Figura II.54 - Curva de Carga de Serviços de Contabilidade e Despachante	139
Figura II.55 - Curva de Carga de Empresas de Capitalização	139
Figura II.56 - Curva de Carga de Empresas de Seguros.....	140
Figura II.57 - Curva de Carga de Associações Benéficas, Religiosas e Assistenciais	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Distribuição das Perdas (Amostra de Concessionárias).....	2
Tabela 1.2 - Meta de Redução de Perdas de Energia. Fonte: ABRADDEE. Ano: 2003	2
Tabela 2.1 – Contribuição no Total de Perdas Técnicas por Segmento	16
Tabela 3.1 - Perdas Nominais no Ferro e no Cobre de Transformadores de Distribuição	32
Tabela 3.2 - Tabela de Estratificação	33
Tabela 4.1 - Resultados da Simulação em 6 Conjuntos de Curvas	58
Tabela 4.2 - Resultados da Simulação em 10 Conjuntos de Curvas	58
Tabela 4.3 - Resultados da Simulação em 20 Conjuntos de Curvas	59
Tabela 4.4 - Resultados da Simulação em 30 Conjuntos de Curvas	60
Tabela 4.5 - Resultados da Simulação em 10 Conjuntos de Curvas	61
Tabela 4.6 - Resultados da Simulação em 10 Conjuntos de Curvas	61
Tabela 4.7 - Arquitetura das Redes Neurais.....	69
Tabela 4.8 - Parâmetros dos Passos de Treinamento das Redes Neurais.....	70
Tabela 4.9 - Distribuição dos Transformadores nos Vetores de Treinamento e Teste	70
Tabela 4.10 - Erro Relativo para o Agrupamento 1	71
Tabela 4.11 - Erro Relativo para o Agrupamento 2	71
Tabela 4.12 - Erro Relativo para o Agrupamento 3	71
Tabela 4.13 - Erro Relativo para o Agrupamento 4	72
Tabela 4.14 - Erro Relativo para o Agrupamento 5	72
Tabela 4.15 - Erro Relativo para o Agrupamento 6	72
Tabela 4.16 - Erro Relativo para o Agrupamento 7	73
Tabela 4.17 - Erro Relativo para o Agrupamento 8	73
Tabela 4.18 - Erro Relativo para o Agrupamento 9	73
Tabela 4.19 - Erro Relativo para o Agrupamento 10	74
Tabela 4.20 - Erro Relativo para Todos os Agrupamentos - Empresa	74
Tabela 4.21 - Comparação entre a Rede Empresa e o Agrupamento Melhorado	75
Tabela 4.22 - Arquitetura das Redes Neurais.....	77
Tabela 4.23 - Erro Relativo para o Agrupamento 1	77
Tabela 4.24 - Erro Relativo para o Agrupamento 2	77
Tabela 4.25 - Erro Relativo para o Agrupamento 3	78
Tabela 4.26 - Erro Relativo para o Agrupamento 4	78
Tabela 4.27 - Erro Relativo para o Agrupamento 5	78
Tabela 4.28 - Erro Relativo para o Agrupamento 6	79
Tabela 4.29 - Erro Relativo para o Agrupamento 7	79
Tabela 4.30 - Erro Relativo para o Agrupamento 8	79
Tabela 4.31 - Erro Relativo para o Agrupamento 9	80
Tabela 4.32 - Erro Relativo para o Agrupamento 10	80
Tabela 4.33 - Erro Relativo para Todos os Agrupamentos - Empresa	80
Tabela 4.34 - Comparação entre a Rede Empresa e o Agrupamento Melhorado	81
Tabela 4.35 - Curvas Típicas de Consumidores Classificadas como do Tipo 1.....	82
Tabela 4.36 - Curvas Típicas de Consumidores Classificadas como do Tipo 2.....	83
Tabela 4.37 - Curvas Típicas de Consumidores Classificadas como do Tipo 3.....	84
Tabela 4.38 - Curvas Típicas de Consumidores Classificadas como do Tipo 4.....	85
Tabela 4.39 - Resultado da Clusterização dos Transformadores	86
Tabela 4.40 - Arquitetura das Redes Neurais.....	87
Tabela 4.41 - Distribuição dos Transformadores nos Vetores de Treinamento e Teste	87
Tabela 4.42 - Erro Relativo para o Agrupamento 1	88
Tabela 4.43 - Erro Relativo para o Agrupamento 2	88
Tabela 4.44 - Erro Relativo para o Agrupamento 3	88
Tabela 4.45 - Erro Relativo para o Agrupamento 4	89
Tabela 4.46 - Erro Relativo para o Agrupamento 5	89
Tabela 4.47 - Erro Relativo para o Agrupamento 6	89
Tabela 4.48 - Erro Relativo para o Agrupamento 7	90

Tabela 4.49 - Erro Relativo para o Agrupamento 8	90
Tabela 4.50 - Erro Relativo para o Agrupamento 9	90
Tabela 4.51 - Erro Relativo para o Agrupamento 10	91
Tabela 4.52 - Erro Relativo para Todos os Agrupamentos - Empresa	91
Tabela 4.53 - Comparação entre a Rede Empresa e o Agrupamento Melhorado	92
Tabela 4.54 - Comparação da Perda Global Calculada e as Perdas Obtidas pelas RNAs Treinadas.....	93
Tabela II.1 - Atividades de Classe Residencial	110
Tabela II.2 - Atividades de Classe Comercial	113
Tabela II.3 - Atividades de Classe Industrial	131
Tabela II.4 - Atividades de Classe Poderes Públicos.....	136
Tabela II.5 - Atividades de Classe Consumo Próprio.....	141
Tabela III.1 - Atividades com Curvas de Carga Semelhantes.....	145

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINEE	Associação Brasileira das Indústrias Elétrica e Eletrônica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AM/FM/GIS	<i>Automated Mapping/Facilities Management/Geographic Information Systems</i>
AT	Alta Tensão
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor em horas e centésimos de horas
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
FEC	Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor em número de interrupções
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	<i>International Standardization Organization</i>
MLP	<i>Multi Layer Perceptron</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
MT	Média Tensão
p.u.	Por Unidade
PIB	Produto Interno Bruto
RNA	Rede Neural Artificial
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1	<i>Preâmbulo</i>	1
1.1	Introdução e Motivação	1
1.2	Escopo	4
1.3	Organização	5
2	<i>Estado da Arte</i>	6
2.1	Metodologia do Comitê de Distribuição Relatório CODI-19.34	7
2.2	Cálculo de Perdas Técnicas por Segmento do Sistema de Distribuição	10
2.3	Avaliação de Perdas Utilizando Corrente Equivalente	12
2.4	Perdas Agregadas	15
2.5	Outras Metodologias	18
3	<i>Cálculo de Perdas no Sistema de Distribuição</i>	21
3.1	Introdução	21
3.2	Metodologia Proposta	21
3.3	O Consumidor e Suas Curvas de Carga Típicas	23
3.3.1	Curvas de Carga (Média e Desvio-Padrão).....	23
3.3.2	Curvas de Carga Típicas por Atividade	24
3.3.3	Tipos de Consumidores	25
3.4	Transformador de Distribuição	26
3.4.1	Curva de Carga do Transformador de Distribuição	26
3.4.2	Agrupamento dos Transformadores por Semelhança	27
3.4.3	Cálculo da Energia Suprida por Transformador aos seus Consumidores	28
3.4.4	Cálculo da Curva de Carga dos Transformadores de Distribuição.....	30
3.4.5	Formulação do Cálculo de Perdas em Transformadores Trifásicos	32
3.4.6	Cálculo das Perdas em Transformadores Monofásicos	35
3.4.7	Rede Neural para Cálculo das Perdas no Cobre de Transformadores de Distribuição	35
3.5	Formulação do Cálculo das Perdas Joule no Circuito Primário	55
3.6	Formulação do Cálculo das Perdas no Transformador AT/MT e nos Transformadores de Consumidores A4 em AT	55
3.7	Formulação do Cálculo das Perdas na Rede Secundária	56

4	<i>Simulações</i>	57
4.1	Cálculo das Curvas de Carga dos Transformadores de Distribuição	57
4.2	Determinação dos Agrupamentos	58
4.3	Treinamento da Rede Neural de Perdas Joule em Transformadores de Distribuição (Alternativa 1)	69
4.4	Treinamento da Rede Neural Simplificada (alternativa 2)	76
4.5	Treinamento da Rede Neural A Partir dos Parâmetros dos Consumidores	82
4.6	Análise dos Resultados e Perda Global	93
5	<i>Conclusões, Contribuições e Futuros Desdobramentos</i>	95
5.1	Conclusões	95
5.2	Contribuições do Trabalho	95
5.3	Tópicos para Desenvolvimento	96
	<i>Referências</i>	97
I.	<i>Anexo I – Alocação da Carga nos Transformadores</i>	102
I.A.	Transformador Trifásico	102
I.B.	Estrela-Aberta Aterrada / Delta-Aberto Atrasado (<i>Open Delta Lagging</i>)	102
I.C.	Estrela-Aberta Aterrada / Delta-Aberto Adiantado (<i>Open Delta Leading</i>)	103
I.D.	Delta-Aberto / Delta-Aberto	104
I.E.	Estrela / Delta	104
I.F.	Delta / Delta	105
I.G.	Delta / Delta com Transformadores com mesma impedância	106
I.H.	Delta / Delta com carga trifásica, mesmo ângulo de impedância para Z_P e Z_L	107
I.I.	Delta / Estrela Aterrada – Carga entre fase e neutro	108
I.J.	Delta / Estrela Aterrada – Carga entre fases	109
II.	<i>Anexo II – Curvas de Carga Típicas dos Consumidores</i>	110
III.	<i>Anexo III – Atividades com Curvas de Carga Semelhantes</i>	142

Capítulo 1

1 Preâmbulo

1.1 Introdução e Motivação

Durante a última década, empresas de diversos setores vêm procurando melhorar o modelo de gestão, com ênfase na eficiência da operação econômica do sistema. E as empresas de energia não foram exceções e vêm realizando melhorias em seus respectivos modelos de gestão administrativa, financeira e operacional.

Estas vêm investindo em soluções que priorizam aumento de produtividade e redução das despesas operacionais, procurando manter a qualidade do produto de acordo com o Contrato de Concessão.

Nesse sentido, estão investindo na aplicação e ampliação do uso da tecnologia da informação, no desenvolvimento de sistemas informatizados integrados para o gerenciamento das atividades nas áreas comercial, administrativa, de contabilidade, recursos humanos, investimento e controle de perdas comerciais e técnicas, tais como o GENESIS da AMPLA (CERJ) ou o GIS da Eletropaulo.

Importante ressaltar o desenvolvimento de sistemas de apoio às atividades de engenharia, planejamento e manutenção (cálculo de DEC e FEC) e controle de perdas (com impactos diretos na elevação de receita no curto prazo).

De acordo com dados divulgados em 2005, pelo Banco Mundial, o Brasil subiu da 15ª colocação entre as maiores economias do mundo, em 2003, para a 14ª, em 2004, quando o Produto Interno Bruto (PIB) chegou a US\$ 604,8 bilhões.

Países em desenvolvimento como o Brasil necessitam continuar seu processo de crescimento e, conseqüentemente, precisam não somente da melhoria do desempenho do sistema elétrico existente, mas também de constantes ampliações na estrutura para adequá-la à demanda crescente de energia.

Com uma população de 181,6 milhões de habitantes, em 2004, o Brasil possui uma das maiores e mais complexas redes de transmissão de energia elétrica em nível mundial [1]. Isso se deve, entre outros fatores, à sua grande extensão territorial, utilização de centrais geradoras

hidrelétricas que normalmente estão muito longe dos centros de consumo de carga, grande crescimento industrial e disseminação crescente de aparelhos eletrodomésticos.

Atendendo a grandes centros consumidores, empresas de distribuição de energia elétrica, tais como AES Eletropaulo, Bandeirante Energia, CPFL Energia, Coelba, possuem redes de distribuição complexas com elevado número de redes primárias com grande extensão, bem como perdas técnicas e comerciais significativas.

A preocupação com perdas não tem apenas o objetivo de melhorar a operação econômica do sistema e gerar lucros, mas postergar investimentos no setor elétrico, visto que um gerenciamento de perdas eficiente possibilita atender a uma carga mais elevada com o mesmo parque gerador.

Durante o 1º *workshop* sobre fraude de energia e furto de condutores e equipamentos, realizado em 9 de novembro de 2004, foi afirmado em [2] que a perda total anual no País, em 2003, atingiu 16,8% da energia total disponível, de 372.983 GWh (soma da geração bruta dos concessionários, recebimento de autoprodutores, recebimento de Itaipu, CIEN (Argentina e Venezuela). A Tabela 1.1 representa o índice de perdas para um subsistema no Brasil no ano de 2003.

Tabela 1.1 - Distribuição das Perdas (Amostra de Concessionárias)

TIPO DE PERDAS	(%) DE PERDAS	PERDAS (GWH)
Técnica (MT e BT)	4,4	16.411
Comercial (MT e BT)	4,5	16.784
Distribuidoras em AT	2,4	8.952
Transmissoras em AT	5,5	20.514
Total	16,8	62.661

Ainda em [2], a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE) sugeriu que o nível de redução de perdas técnicas e comerciais para o sistema elétrico brasileiro fosse 4,83% da energia disponível. Como pode ser observado na Tabela 1.2, esse nível de redução no patamar de perdas resultaria numa economia equivalente a 3,7 bilhões de reais. Conseqüentemente, a realização da meta de redução de perdas poderia significar uma redução de 4% nas tarifas de energia elétrica [2].

Tabela 1.2 - Meta de Redução de Perdas de Energia. Fonte: ABRADEE. Ano: 2003

META DE REDUÇÃO DE PERDAS	(%)	PERDAS (GWH)	CUSTO EM R\$/MWH	PERDAS EM R\$ MILHÕES
Técnico (MT e BT)	1,3	4.961	167	828
Comercial (MT e BT)	3,5	13.054	220	2.872
Total	4,8	18.015	387	3.700

Em esforço constante, as concessionárias de distribuição vêm desenvolvendo ações no sentido de diminuir o nível de perdas de energia. A identificação e localização das perdas comerciais auxiliam na tarefa de combate às fraudes e às ligações clandestinas; bem como soluções do tipo que visem à implantação de redes modernas de distribuição, que dificultem a ligação clandestina e modernização do parque de medidores. No caso de consumidores ligados sem medidores, é função da concessionária instalá-los, não podendo negar a ligação por falta desses equipamentos. A perda nos medidores eletromecânicos atuais é de 5 a 10W e a sua taxa de depreciação atual é de 20 anos. O problema central da modernização do parque de medidores reside no fato de que sua troca implicará em revisão tarifária para o repasse de custos. Além disso, os eletrônicos são mais caros e têm uma expectativa de vida de 5 anos, contra os eletromecânicos, que têm 20 anos.

Também estão sendo desenvolvidas ações no sentido de minimizar as perdas técnicas, orientadas no conceito de carregamento econômico das redes e dos equipamentos, realizando uma avaliação de todos os segmentos do sistema de distribuição, envolvendo a rede primária, transformadores, rede secundária, além da instalação de unidades de transformação em áreas de grande demanda. As perdas no ramal de serviço são da ordem de 1,5% da capacidade admissível do cabo.

Para atingir tal objetivo, é primordial que as distribuidoras possuam um sistema de cálculo ou avaliação das suas perdas.

1.2 Escopo

Este trabalho tem por objetivo a elaboração de uma metodologia para o desenvolvimento de um sistema para cálculo de perdas no sistema de distribuição: transformadores AT/MT, redes primárias, redes secundárias e transformadores de distribuição.

Não trata, portanto, das perdas comerciais, embora, a partir dos cálculos das perdas e de medições em diversos pontos, possam ser detectados os locais com maiores índices de perdas técnica e comercial, aplicando recursos para diminuir esses níveis.

Trata-se, desse modo, de mais uma ferramenta para aperfeiçoar o serviço e evitar grandes perdas no sistema de distribuição de energia.

Além do método analítico desenvolvido, três alternativas de cálculo utilizando a tecnologia de redes neurais artificiais (RNA) são apresentadas, partindo-se da energia mensal consumida pelos consumidores, seu tipo e curvas diárias de carga típicas. Num dado elemento da rede de distribuição, sua curva de carga é calculada pela agregação da curva de carga dos vários consumidores a jusante. As perdas são calculadas usando uma rede neural artificial treinada para esse propósito.

É também objetivo deste estudo desenvolver um protótipo de um sistema computacional que realize esses cálculos de forma coordenada e automatizada.

1.3 Organização

Este trabalho é dividido em cinco capítulos e três anexos.

No Capítulo 1, são apresentados a motivação do trabalho e seu principal objetivo.

O Capítulo 2 expõe uma revisão do estado da arte. Nesse capítulo, são analisadas diversas metodologias existentes para o cálculo das perdas em redes de distribuição.

No Capítulo 3, é descrita uma nova metodologia, aplicando-se princípios estatísticos para cálculo analítico das perdas técnicas (método analítico), bem como a metodologia alternativa de cálculo utilizando redes neurais artificiais. Também é apresentado o protótipo de um sistema computacional desenvolvido.

O Capítulo 4 apresenta as simulações resultantes do sistema computacional desenvolvido para cálculo de perdas utilizando as metodologias propostas no Capítulo 3. São também explanadas três arquiteturas de redes neurais diferentes. Finalmente, é demonstrada a análise dos resultados da aplicação dessas redes neurais a todos os transformadores de distribuição em um estudo de caso.

O Capítulo 5 trata a conclusão e as contribuições deste trabalho, bem como alguns tópicos para desenvolvimento posterior.

Na parte de anexos, são exibidas: a alocação da carga dos consumidores nos transformadores de distribuição utilizados, curvas de carga típicas de consumidores obtidas por medição e as curvas de carga de atividades econômicas semelhantes.

Capítulo 2

2 Estado da Arte

Neste capítulo, será apresentado o estado da arte no cálculo das perdas técnicas de energia em sistemas de distribuição de energia elétrica.

As abordagens de cálculo mais detalhadas apresentam resultados que mais se aproximam da realidade, porém necessitam de uma ampla quantidade de dados em uma base de dados atualizada. Embora existam empresas que estejam migrando para base de dados georeferenciada e procuram manter os detalhes de sua conectividade atualizados, a realidade do setor mostra que isso não é uma regra geral, ocorrendo, por exemplo, casos de mudança das fases que alimentam um determinado consumidor, sem que a base cadastral seja atualizada. Além de existirem áreas de uma mesma concessionária ou mesmo concessionárias inteiras que não possuem recursos materiais e de pessoal para manter a base cadastral sempre atualizada. Além disso, é fato conhecido que, após a mudança da rede secundária para cabos de alumínio multiplexados auto-sustentados, as fases nas quais o consumidor foi instalado podem não mais corresponder à original. A rede secundária isolada, comparativamente à rede aérea convencional, apresenta vantagens que podem redundar em um melhor desempenho, a saber:

- Melhoria do DEC/FEC;
- Melhor utilização da altura do poste;
- Dificulta o roubo de energia;
- Melhora a estética da rede;
- Melhora a condição do meio ambiente e reduz a área de poda;
- Aumenta a segurança contra o choque elétrico;
- Redução da queda de tensão ao longo da rede (redução da impedância com a configuração pré-reunida);
- Aumento de espaço alugável no poste; e
- Aumento da vida útil do transformador (redução de curtos-circuitos na rede).

Devido a este contexto complexo, uma mesma empresa de distribuição pode utilizar diversas metodologias (gerência de redes, fluxo de carga, processos estatísticos, modelos geométricos etc.) para a estimativa de perdas, com o objetivo de traçar planos de ação.

As metodologias simplificadas (processos estatísticos, modelos geométricos etc.) permitem estimativas das perdas de forma rápida utilizando um volume reduzido de dados. Embora de precisão inferior às anteriores, fornecem resultados satisfatórios quando aplicadas a grandes sistemas e de forma global.

Muito embora a literatura técnica possua diversas abordagens, as seguintes foram selecionadas:

- Metodologia do Comitê de Distribuição descrito no relatório CODI-19.34 [21];
- Metodologia para Cálculo de Perdas Técnicas por Segmento do Sistema de Distribuição [22] e [23];
- Metodologia de avaliação de perdas em redes primárias de distribuição utilizando corrente equivalente [24];
- Perdas Agregadas [43] a [45] e Outras Metodologias [25] a [33].

Vários dos trabalhos escolhidos citam as perdas na rede secundária, ramal de serviço e medidores. Entretanto, as perdas nestes são praticamente insignificantes e são de ordem de grandeza menor que a precisão das metodologias.

2.1 Metodologia do Comitê de Distribuição Relatório CODI-19.34

O relatório CODI-19.34 faz uma revisão da evolução dos indicadores de perdas no Brasil entre os anos de 1990 e 2002, além de classificá-las segundo sua natureza, origem, localização e componentes (condutores da rede primária, transformadores, condutores da rede secundária, ramais de ligação, medidores, equipamentos e diversos).

Segundo sua **natureza**:

- Perda de Demanda: diferença existente entre a demanda de entrada ou requerida (kW) e a demanda de saída ou vendida (kW), em um dado instante t .
- Perda: diferença existente entre a energia de entrada ou requerida (kWh) e a energia de saída ou vendida (kWh), em um intervalo de tempo.

Segundo sua **origem**:

- Perda Técnica: energia (kWh) ou demanda (kW) perdida no transporte e na transformação (inerente ao processo), e que ocorre antes do ponto de entrega.

- Perda Comercial: energia (kWh) ou demanda (kW) efetivamente entregue ao consumidor, ao consumo próprio ou a outra concessionária, mas não contabilizada.

Segundo sua **localização**:

- Perdas Globais: perdas totais de energia (kWh) e demanda (kW) existente, considerando o conjunto dos sistemas de geração, transmissão e distribuição.
- Perdas na Transmissão: perdas (kWh) e demanda (kW) existente, considerando os sistemas de geração e transmissão.
- Perdas na Distribuição: perdas (kWh) e demanda (kW) existente, considerando apenas o sistema de distribuição.

Calculadas as perdas globais do sistema de distribuição e suas perdas técnicas, é possível estimar, por diferença, o montante das perdas comerciais. Este conhecimento constitui a principal finalidade do cálculo das perdas técnicas.

Outras definições:

- Fator de Carga: relação entre a demanda média (kW) e a demanda máxima (kW), ao longo de um período de tempo. Sendo que estes parâmetros são normalmente medidos nas subestações.
- Fator de Diversidade: razão entre a soma das demandas máximas individuais de um determinado grupo de consumidores e a demanda máxima real total desse mesmo grupo, ou a razão entre a demanda máxima de um consumidor e a sua demanda diversificada.
- Fator de Perdas: relação entre a perda de demanda média (kW) e a perda de demanda máxima (kW), ao longo de um período de tempo. Considerado por alguns autores como “fator de carga de perdas”.

No caso do fator de perdas e considerando-se que este é simplesmente o fator de carga das perdas, e que as perdas técnicas variáveis de demanda são praticamente proporcionais ao quadrado da demanda e que a perda técnica máxima é proporcional ao quadrado da demanda máxima do período, tem-se que, conhecendo-se a curva de carga típica do sistema:

$$F_p = \frac{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T p_d(t) \cdot dt}{p_{d_{MAX}}} = \frac{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T [D(t)]^2 \cdot dt}{[D_{MAX}]^2} \cong \frac{\sum_{n=1}^N [D_n]^2}{N [D_{MAX}]^2} \quad (2.1)$$

Em que:

- F_p : Fator de perdas;
- $pd(t)$: Perdas técnicas variáveis de demanda;
- $D(t)$: Demanda no instante t ;
- D_n : Demanda num instante discretizado;
- pd_{MAX} : Perda técnica máxima;
- D_{MAX} : Demanda máxima no período;
- T : Período.

As perdas que não dependem da carga têm o seu fator de perdas igual à unidade, e o cálculo de F_p , a partir da equação 2.1, exige um bom sistema de medição e disponibilidade de recursos computacionais. Na ausência de um conhecimento completo das curvas de carga, procura-se estimar o fator de perdas das perdas dependentes do carregamento a partir do fator de carga.

Nesse relatório, é apresentada uma metodologia de cálculo expedito das perdas nos diversos componentes de um sistema de distribuição.

Um alerta feito em [30], quanto a essa metodologia, é que existe a necessidade de uma análise cuidadosa da relação entre fator de carga e fator de perdas, uma vez que, para sistemas de distribuição, devido à ramificação das redes primárias, as tradicionais relações não são sempre verdadeiras. Isso se deve ao fato de o fator de carga de uma rede primária ser avaliado por medição na subestação, e de que as perdas em cada trecho dependem da distribuição de carga ao longo das redes primárias e da configuração do mesmo, sendo, portanto, possível que o fator de carga da subestação de distribuição não seja igual ao fator de carga das redes secundárias ou de todos os pontos da rede primária de distribuição.

2.2 Cálculo de Perdas Técnicas por Segmento do Sistema de Distribuição

A metodologia proposta em [22] e [23] divide a perda técnica no sistema de distribuição nos seguintes segmentos:

- Sistema de Alta Tensão;
- Subestação de Distribuição;
- Rede Primária;
- Transformador de Distribuição;
- Rede Secundária;
- Ramal de Ligação;
- Medidor de Energia;
- Outros.

Essa metodologia faz uso de curvas de carga típicas agregadas para compor a carga das redes primária e secundária, estimando as perdas técnicas de maneira direta, sem aproximação do fator de cargas, nos diversos segmentos constituintes do sistema de distribuição.

Esta consiste nos seguintes passos:

- De acordo com o tipo de medidor, é atribuído um valor de perdas fixo.
- As perdas no ramal de ligação são estimadas a partir da resistência de cada condutor e da corrente em cada instante do dia (um ponto a cada 15 minutos). Devido à complexidade em trabalhar com a corrente nos condutores de cada ramal, são utilizados parâmetros típicos, tais como: comprimento, resistência padrão dos condutores e a curva de carga típica dos consumidores.
- Para cada rede secundária conectada a um transformador de distribuição, as perdas são determinadas a partir do cálculo elétrico da rede por fase, utilizando a metodologia de curvas de carga [10] a [14].
- As perdas em cada transformador de distribuição são calculadas a partir das parcelas das perdas no ferro e no cobre. Essas parcelas são obtidas de seus dados nominais e da sua curva de carga média diária por fase, obtida pela agregação das curvas de carga dos consumidores secundários ligados ao transformador.

- Ao término do cálculo das perdas de todos os transformadores de distribuição de uma rede primária, a perda na rede primária é calculada a partir do cálculo elétrico da rede por fase, utilizando as curvas de carga, incluindo-se os consumidores primários. Ao final desse cálculo, obtém-se a curva de carga diária do circuito primário.
- Repetem-se os passos anteriores para todos os circuitos primários de uma determinada subestação. Em seguida, calculam-se as parcelas de perdas no ferro e no cobre nos transformadores AT/MT da subestação de distribuição, a partir de seus dados nominais e da sua curva de carga diária por fase, obtida pela agregação das curvas de carga dos circuitos primários que dele se derivam. Ao final desse cálculo, obtém-se a curva de carga diária da subestação.
- Ao término do cálculo de todas as subestações, calcula-se a perda no sistema de alta tensão a partir do cálculo elétrico da rede por fase, utilizando as curvas de carga, incluindo-se os consumidores ligados em alta tensão.
- A diferença entre a energia medida nos pontos de suprimento e a soma da energia faturada com as parcelas de perdas calculadas nos passos anteriores é igual à soma das perdas não-técnicas com as perdas técnicas classificadas no segmento “outros” (perdas em equipamentos, fuga em isoladores etc.).

Um dos principais dados de entrada necessários a essa metodologia é a energia mensal faturada de cada consumidor. Sendo assim, as perdas calculadas têm a periodicidade de um mês. Entretanto, o artigo 40 da Resolução ANEEL nº. 456/2000, de 29 de novembro de 2000, estabelece que a concessionária efetue as leituras, bem como os faturamentos, em intervalos de aproximadamente 30 (trinta) dias, observados o mínimo de 27 (vinte e sete) e o máximo de 33 (trinta e três) dias, de acordo com o calendário respectivo. Isso significa que os dados de entrada já possuem uma variação de $\pm 10\%$, o que certamente irá influenciar no resultado final das perdas que se deseja calcular.

Uma das desvantagens apontadas em [30] é que, apesar de essa metodologia apresentar resultados bastante precisos, ela necessita que a concessionária mantenha uma base de dados em que estejam cadastrados os dados de todas as suas redes secundárias, redes primárias, transformadores de distribuição, subestações de distribuição e também os dados de todos os seus consumidores. O levantamento e a manutenção desse cadastro implicarão em dispêndio de

tempo e recursos consideráveis, além da necessidade de constante atualização desse banco de dados.

2.3 Avaliação de Perdas Utilizando Corrente Equivalente

Em [24], é proposta uma metodologia que utiliza o conceito de corrente equivalente para estimar as perdas em redes primárias de distribuição. A assim denominada Corrente Equivalente em Perda (I_{eqp}) é uma corrente média constante que representa o período por patamar, realiza as simulações e permite a estimativa da perda técnica.

A metodologia utilizada para cálculo das perdas nas redes primárias que possuem curvas de carga [24] é descrita a seguir:

- Inicialmente são levantados os dados de demanda média de 120 circuitos primários, formando um “Conjunto Básico” de medição. Esses dados são referentes a sete dias de medição, com intervalos de 15 minutos (total de 672 valores por circuito primário).
- Identificação da demanda máxima por período (manhã, tarde, noite e madrugada) por circuito primário. Sendo consideradas as horas entre 1 e 5 como período da madrugada; entre as 6 e as 11, como manhã; entre as 12 até as 16 horas como tarde e das 17 às 24 horas como noite.
- É quantificado o fator de perdas (F_p) relacionando-o com o fator de carga, obtido com o valor do fator de carga elevado ao quadrado (F_c^2).
- Calcula-se o “Fator de Perdas do período”, por meio do fator de perdas médio para cada período.
- A corrente equivalente para cada circuito primário e período é calculado extraindo a raiz quadrada do fator de perdas médio e multiplicando pela corrente máxima do período.
- A partir da corrente equivalente (I_{epq}) do circuito primário, é determinada a I_{eqp} para cada trecho do mesmo, distribuindo em proporção às demandas passantes computadas pela metodologia de demandas diversificadas computadas no sistema de informações GRADE (Sistema de Gerenciamento de Rede de Distribuição), implantado no início dos anos 90 na Eletropaulo Eletricidade de São Paulo S/A.

A metodologia descrita apresenta resultados satisfatórios para circuitos primários cujas demandas estão detalhadas e possuem curvas de carga conhecidas. E o autor utiliza duas outras estratégias para tratar dos circuitos primários que não possuem curvas de carga, e apenas a demanda máxima de cada um dos quatro períodos é conhecida. Esses circuitos primários são denominados “Conjunto Operativo”.

Essas estratégias são:

- Classificação utilizando o método de *Fastclus* do pacote de análise estatística SAS (*Statistic Analysis System*). A metodologia empregada consiste nos seguintes passos:
 1. São classificados em 10 grupos (*clusters*) todos os circuitos primários do “Conjunto Básico” pelo método de *Fastclus*. Os atributos utilizados para esta classificação são os quatro valores de demanda máxima correspondente a cada período.
 2. Com a corrente média (A) por período de cada circuito primário que compõe o agrupamento (*cluster*), é calculada a corrente média normalizada (pu) por período, que é o resultado do quociente entre a corrente média do período e a corrente máxima.
 3. Os circuitos primários não-pertencentes ao “Conjunto Básico”, ou seja, o chamado “Conjunto Operativo”, recebem a classificação precisamente da mesma maneira que a apresentada para os circuitos primários do “Conjunto Básico”.
 4. Para cada *cluster* pertencente ao “Conjunto Básico” deverá ser encontrado o *cluster* mais próximo do “Conjunto Operativo”.
 5. O resultado da associação do passo quatro oferece quatro valores de I_{eqp} , como também determina que os circuitos primários operacionais e a variação nos períodos tenham o comportamento semelhante ao dos circuitos primários do “Conjunto Básico”. Dessa forma, a I_{eqp} dos circuitos primários por segmento é obtida pelo produto da corrente média normalizada e a corrente máxima de cada circuito primário.

- Interpolação utilizando redes MLP (*Multi Layer Perceptron*) [38]
 1. A entrada de dados da rede de treinamento é formada por 63 circuitos primários pertencentes ao “Conjunto Básico”. Cada circuito primário é representado por sua identificação, um vetor de entrada que possui quatro valores de corrente máxima (um valor para cada período) e o vetor de saída correspondente, contendo quatro valores de I_{eqp} .
 2. Em seguida, é realizado o treinamento da rede MLP a partir do algoritmo de *Backpropagation* [38]. Nesta etapa, é realizado o refinamento dos parâmetros da arquitetura da rede neural em busca da melhoria dos resultados e, conseqüentemente, uma diminuição da taxa de erro.
 3. A fase de testes e validação da rede MLP foi realizada com os 57 circuitos primários do “Conjunto Básico”.
 4. Concluídos os estágios anteriores de treinamento e testes, a rede MLP treinada é utilizada no modo de processamento. Desta vez o vetor de entrada utilizado pertence aos circuitos primários do “Conjunto Operativo”, produzindo os valores de corrente equivalente a partir do conhecimento adquirido pela rede durante a fase de treinamento.

O denominado “Conjunto Operativo”, composto por 608 circuitos primários da Bandeirante S/A em 2001, teve seus valores operativos de demanda máxima obtida junto ao departamento de operação do sistema da Bandeirante Energia.

2.4 Perdas Agregadas

Nas referências de [43] a [48], é apresentada uma metodologia para cálculo de perdas técnicas por segmento do sistema de distribuição. Essa metodologia é baseada em equações matemáticas estatísticas que espelham o desempenho elétrico do sistema de distribuição. A partir dessa metodologia, foi desenvolvido um *software* pela CSPE (Comissão de Serviços Públicos de Energia Estado de São Paulo) e disponibilizado às concessionárias, padronizando o cálculo das perdas como parte do Plano de Qualidade proposto pela mesma. Essa metodologia parte de uma estrutura de dados simplificada, possibilitando seu uso por empresas com bases cadastrais pouco desenvolvidas e por empresas com cadastros avançados, mas que desejam evitar grandes esforços na preparação dos dados.

Em [43] é apresentada a avaliação de perdas técnicas em diferentes segmentos:

- Medidores: as perdas ocorrem na bobina de potencial, apresentando perdas de 1,2 a 1,5W por bobina de potencial. Representam 1,88% das perdas técnicas totais.
- Ramais de Ligação: representam 3,22% do total das perdas técnicas, e em [48] propõem-se métodos simplificados para o cálculo considerando a resistência média das fases dos ramais e a corrente média que por elas circulam.
- Rede Secundária: representa até 18% do total das perdas técnicas.
- Transformadores de distribuição: representam 15% das perdas técnicas totais e são compostos pelas perdas no ferro e no cobre.
- Capacitores: apresentam perda média em torno de 2W/kVAr.
- Reguladores de Tensão: as perdas estão na ordem de 1%, dependendo do grau de utilização, sendo estas computadas como perdas diversas.
- Rede Primária: apresenta perdas da ordem de 16% do total das perdas técnicas, tendo grande influência no valor final das perdas técnicas avaliadas.
- Transformadores de Subestação: representam, nas redes estudadas, cerca de 10% do total das perdas técnicas, sendo calculadas por algoritmos similares aos transformadores de distribuição.

Nesse trabalho [43], os percentuais de perdas nos diversos segmentos de redes de distribuição são fornecidos levando-se em conta que 25% das perdas ocorrem nos sistemas de transmissão e subtransmissão. E cerca de 10% das perdas totais são devidos a outros tipos de perdas técnicas, tais como: efeito corona, perdas por corrente de fuga nos isoladores, perdas nas conexões, perdas por corrente de fuga nos pára-raios e outras.

Em [45], a Tabela 2.1 é utilizada como ponto de partida para identificar os principais segmentos em que ocorrem perdas. O autor propõe a modelagem de cada segmento em seu trabalho, aumentando o nível de detalhamento do modelo e dos dados, conforme a participação das perdas do segmento no total.

Tabela 2.1 – Contribuição no Total de Perdas Técnicas por Segmento

Segmento	Contribuição no Total de Perdas Técnicas (%)
Medidor de Energia	2 até 5
Ramal de Ligação	1 até 4
Rede Secundária	9 até 20
Transformador de Distribuição	15 até 26
Rede Primária	15 até 28
Transformadores de Subestação	9 até 15
Sistema de Transmissão	20 até 30
Capacitores	0 até 1
Reguladores de Tensão	
Corrente de Fuga nos Isoladores	8 até 10
Corrente de Fuga nos Pára-Raios	
Efeito Corona	
Conexões	
Outros	

No caso de redes primárias, estas são caracterizadas pelos seguintes atributos:

- Tensão nominal (kV);
- Resistência do condutor tronco R_t (ohm/km);
- Resistência do condutor do ramo R_r (ohm/km);
- Coeficiente da Expressão de Densidade de Carga.

Em seguida, as redes primárias são agrupadas pelo método de clusterização, formando Família de Redes. A partir de cada família de redes agrupadas, são extraídas redes representantes calculadas pela média aritmética das seguintes características:

- Percentual de carga do grupo;
- Comprimento total do circuito primário;
- Fator de potência;
- Ângulo de ação;
- Número de pontos de carga.

Dessa forma, todas as redes primárias são representadas por pequeno conjunto de redes representativas. É a partir dessas redes representativas que a avaliação das perdas é realizada. Esses cálculos devem ser realizados para diversas combinações de atributos e famílias de forma a representar o universo real das redes em estudo.

No caso dos transformadores de distribuição, é calculada a perda máxima no horário de ponta, pela equação:

$$\Delta p_t = \Delta p_{fe} + f_u^2 * \Delta p_{cu} \quad (2.2)$$

Em que:

- Δp_t são as perdas totais de um transformador (kW);
- Δp_{fe} são as perdas no ferro do transformador quando operando a tensão nominal (kW);
- f_u^2 é o fator de utilização do transformador, expresso pelo quociente da potência máxima e a potência nominal;
- Δp_{cu} são as perdas nominais no cobre do transformador quando operando com tensão e capacidade nominais (kW).

Agrupando os transformadores reais por tensão e potência nominais e conhecendo-se a quantidade de transformadores em cada grupo, obtém-se a perda no universo dos transformadores instalados.

Para o cálculo dos circuitos secundários, o cálculo de perdas exige uma grande quantidade de dados, chegando a dezenas de milhares de trechos de rede. Para isso, o autor utilizou técnicas de programação dinâmica para selecionar a política de evolução das redes.

Foi também introduzido o conceito de coeficiente de perdas por tipologia, pois a utilização do conceito de área elementar, no cálculo das perdas em condições reais, pode introduzir um erro considerável quando existirem zonas não-eletrificadas dentro da área de estudo, tais como praças, parques, reservatórios etc. Nessa metodologia, a rede secundária é analisada com cinco tipologias, para as quais são estabelecidos coeficientes unitários de perdas. Esses coeficientes são definidos para redes simétricas e balanceadas; posteriormente são definidos fatores que corrigirão os coeficientes unitários de perdas em função da assimetria e do desbalanceamento da rede.

2.5 Outras Metodologias

Em [25] os autores propõem dois métodos diferentes para determinar as perdas de energia. O primeiro é pela diferença entre a energia medida nas subestações e a quantidade de energia faturada dos consumidores utilizando os dados de demanda no horário de ponta do sistema, fator de carga médio e perda de potência no horário de ponta.

A diferença de energia entre a medida na subestação e a consumida resulta na perda total da distribuição, incluindo tanto as perdas técnicas quanto as comerciais. Esse método consiste no modelo simplificado normalmente utilizado pelas concessionárias que não dispõem de uma boa ferramenta computacional ou cadastro e metodologia para a determinação das perdas. O segundo método empregado em [25] utiliza dados da rede primária até o consumidor, fazendo uso de cálculo de *load-flow*.

Em [26] os autores discutem como utilizar a técnica de estimação de estados na rede primária de distribuição. A principal característica que impede a aplicação dessa técnica é a pequena quantidade de dados em tempo real. A necessidade de automação e controle na operação requer o uso de alguns equipamentos que fazem a medição de variáveis da rede, cujos valores são transmitidos em tempo real ao centro de operação.

Estas variáveis são tratadas como pseudomedições e permitem a aplicação de algoritmos de estimação de estados na rede primária de distribuição. Estes valores podem ser utilizados para estimar perdas técnicas e cálculos de *load-flow*.

Na referência [29], o modelo denominado de “Coeficiente de Perdas” foi utilizado para estimar as perdas horárias e anuais, o qual requer uma quantidade mínima de dados do sistema corporativo. Os parâmetros necessários para selecionar os coeficientes são: densidade de carga em redes de média tensão e potência nominal média dos transformadores de distribuição. O primeiro parâmetro é usado para selecionar os coeficientes das redes de média e baixa tensão. A metodologia consiste em separar os diferentes tipos de redes de distribuição urbana e rural. O segundo parâmetro é utilizado para selecionar os coeficientes para transformadores de distribuição. Esta seleção pode ser refinada introduzindo um parâmetro relacionado ao perfil de carga da rede. Esse parâmetro extra pode ser calculado com a ajuda da energia anual de grupos de consumidores diferentes.

A fonte de informações necessárias é listada abaixo:

- Potência Ativa horária da rede, seja baseada em medições ou em curvas de carga típicas;
- Número de transformadores de cada potência, suas potências nominais e perdas nominais no cobre desses transformadores;
- Somatório das potências nominais de todos os transformadores;
- Energia total anual da rede de distribuição e a energia consumida de cada grupo de consumidores;
- Comprimento das redes de média tensão.

Esse modelo de estimação de perdas tem sido utilizado por seis companhias de distribuição finlandesas, tanto rurais quanto urbanas.

Na referência [30], a autora apresenta uma metodologia probabilística para cálculo de perdas técnicas em redes secundárias de distribuição, compostas de transformador de distribuição, circuitos de baixa tensão, ramais de entrada e medidores de energia.

Por não utilizar dados de faturamento nem aproximações para o fator de perdas, uma de suas características é permitir a estimativa de perdas em concessionárias ou áreas sem cadastro de rede ou onde esse cadastro não apresente a confiabilidade requerida para o cálculo das perdas na rede secundária.

A metodologia é baseada em curvas de cargas típicas de consumidores, topologias e características construtivas das redes secundárias de distribuição, utiliza base de dados reduzida, de fácil obtenção pelas concessionárias e que possibilita o acompanhamento por parte das agências reguladoras, e considera a natureza aleatória do comportamento da carga, adotando uma solução de compromisso entre a quantidade de dados necessários para representar as características elétricas dos diferentes elementos do sistema (tempo e recursos requeridos para obtenção e manutenção de cadastros) e a precisão dos resultados alcançados.

Essa metodologia proposta agrega os componentes da rede secundária por tipo, desenvolvendo modelos de cálculos que melhor se adaptassem a cada segmento (transformador, cabos da rede secundária, ramais de entrada, medidores). Nos segmentos em que a perda varia com a aleatoriedade da carga, foram desenvolvidos modelos probabilísticos de cálculo, e naqueles cujas perdas não variam de maneira significativa com a variação da carga, foram adotados modelos determinísticos. Além disso, nos segmentos cujas perdas são mais significativas (transformadores e cabos da rede secundária), os métodos de cálculo desenvolvidos foram elaborados de modo a conseguir um resultado com um grau de precisão maior do que naqueles em que as perdas correspondem a uma parcela menos significativa em relação às perdas técnicas totais.

Capítulo 3

3 Cálculo de Perdas no Sistema de Distribuição

3.1 Introdução

A metodologia a ser descrita propõe um modelo para cálculo de perdas médias diárias e foi utilizada no desenvolvimento de um sistema computacional denominado SDPT (Sistema para Determinação de Perdas Técnicas em Redes de Distribuição) [41].

3.2 Metodologia Proposta

É proposta uma metodologia para o cálculo das perdas nos vários componentes de uma rede de distribuição: transformador AT/MT, rede primária, transformador de distribuição e rede secundária.

Embora a metodologia seja aplicável a todos os elementos do sistema de distribuição, neste trabalho será apenas detalhado o cálculo de perdas no transformador de distribuição, podendo ser estendido a todos os elementos.

A metodologia aplicada ao transformador de distribuição é composta das seguintes etapas:

- a) Cálculo do carregamento do transformador. Para tal, procura-se determinar o carregamento do transformador por meio das suas curvas diárias das demandas médias (m) e dos desvios-padrão (s) [12]. Isto é feito por meio dos seguintes dados encontrados na base de dados corporativos (de toda a empresa):
 - i. Identificação dos consumidores ligados ao transformador, seu tipo e a energia mensal consumida;
 - ii. Banco de dados das curvas típicas (m , s) dos consumidores expressos em pu da potência média mensal;
 - iii. Composição estatística das curvas diárias dos consumidores.

- b) Cálculo das perdas Joule pelo processo denominado neste trabalho como “processo analítico”, em que, a partir das curvas de carga (m, s) do transformador de distribuição, calcula-se um conjunto de curvas de demandas médias com certa probabilidade de ocorrência. As perdas são então calculadas para todas essas curvas e ponderadas pela sua probabilidade de ocorrência para se obter a perda total. Esse cálculo pode ser aplicado a um conjunto de transformadores e os resultados assumidos como os valores reais das perdas nesses transformadores.
- c) Uso dos resultados obtidos nas etapas anteriores para o treinamento de uma rede neural artificial para elaborar a interpolação e determinação das perdas Joule nos transformadores nos quais se conhece seu carregamento. Notar que, neste ponto, existem dois métodos para o cálculo de perdas: o “analítico” e o de redes neurais artificiais. Ambos são utilizados para calcular as perdas Joule em todos os transformadores. As perdas em vazio são computadas à parte e somadas às perdas Joule. É importante ressaltar que, precedendo a etapa de treinamento e cálculo com redes neurais artificiais, é feita uma análise de agrupamento das curvas de carregamento dos transformadores para aperfeiçoar o desempenho do modelo.
- d) Extensão deste procedimento para a rede secundária, rede primária e transformador AT/MT obtendo-se assim a perda total do sistema de distribuição. Ressalta-se que esta parte da metodologia será descrita neste texto, porém não calculada no estudo de caso.

Essa metodologia é incorporada num sistema computacional estabelecido sobre uma base de dados que interage com a base de dados corporativa para acessar parte dos dados, efetuando os cálculos intermediários, os treinamentos das redes neurais artificiais, a análise do agrupamento e o cálculo das perdas.

3.3 O Consumidor e Suas Curvas de Carga Típicas

3.3.1 Curvas de Carga (Média e Desvio-Padrão)

Os estudos descritos nas referências [8], [9] e [10] descrevem a metodologia utilizada para caracterizar os hábitos de consumo de consumidores residenciais, comerciais e industriais de baixa tensão, obtendo-se as curvas diárias de carga típicas.

Naquelas referências, para atingir o objetivo de caracterizar o comportamento típico de agrupamentos de consumidores, foram escolhidas amostras de consumidores dentro de cada uma das suas atividades e realizadas medições e análises estatísticas direcionadas para caracterizar o comportamento de suas curvas típicas de carga. As curvas dos carregamentos dos consumidores foram obtidas por meio de medições de valores de demandas médias, a cada 15 minutos ao longo do dia, também denominadas aqui como demandas instantâneas, obtendo-se, dessa forma, 96 pontos representativos do carregamento diário dos transformadores.

O período de aquisição n variou de 15 a 30 dias, para cada consumidor, e foram levantadas as curvas médias (média dos valores dos vários dias e para cada intervalo de 15 minutos) e as curvas dos respectivos desvios-padrão. Sendo $P_{i,j}$ o valor de demanda média no instante i no dia j , têm-se:

$$Pm_i = \frac{\sum_{j=1}^n P_{i,j}}{n} \quad (3.1)$$

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (P_{i,j} - Pm_i)^2}{n-1}} \quad (3.2)$$

Em que:

- Pm_i, S_i são os valores médio e do desvio-padrão no período (de 15 minutos) i .

3.3.2 Curvas de Carga Típicas por Atividade

Para que se obtenham as curvas de carga típicas por atividade, adota-se o procedimento de normalizar essas curvas médias e desvio-padrão, com base em um valor de referência, ou seja, transforma-se a grandeza em estudo, no caso unidade de potência, em valores “por unidade” (p.u.) considerando como referência a potência de base, obtida da seguinte expressão:

$$P_{base} = \frac{1}{24} \int_{i=1}^{96} Pm_i \times dt = \frac{Energia_Mensal(kWh)}{24 \times 30} \quad (3.3)$$

Formando, portanto:

$$pm_i = \frac{Pm_i}{P_{base}}$$

$$s_i = \frac{S_i}{P_{base}}$$

$$i = 0 \text{ a } 96 \quad (3.4)$$

Em que:

- Pm_i é o valor da potência (kW) em cada intervalo da curva média;
- “Energia_Mensal” corresponde ao consumo mensal (kWh) do consumidor em análise;
- S_i é o valor do desvio-padrão em kW, em cada intervalo da curva média;
- pm_i e s_i são os valores respectivos em pu.

As curvas médias (pm_i) e desvio-padrão (s_i) normalizadas para cada consumidor de uma determinada atividade são utilizadas para definir o carregamento do componente do sistema e são aqui referidas como “curvas de carga típicas dos consumidores”. O Anexo II apresenta as curvas de carga típicas de vários tipos de consumidores utilizadas nos cálculos deste trabalho.

3.3.3 Tipos de Consumidores

A Resolução ANEEL nº. 456/2000, de 29 de novembro de 2000, da Agência Nacional de Energia Elétrica, estabelece, de forma atualizada e consolidada, as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica, a serem observadas tanto pelas concessionárias e permissionárias quanto pelos consumidores.

Os consumidores são classificados de acordo com sua atividade econômica (residencial, sorveteria, marcenaria, indústria de calçados etc.). O Anexo III detalha todos os tipos de atividades que podem ser consideradas e as relaciona com as curvas típicas apresentadas no Anexo II.

3.4 Transformador de Distribuição

3.4.1 Curva de Carga do Transformador de Distribuição

As referências [8], [9] e [10] descrevem a metodologia utilizada para a caracterização da curva de carga de transformadores de distribuição a partir da agregação de curvas de cada um dos consumidores individuais a eles conectado.

Dado n consumidores, dos quais se conhecem as suas curvas de carga média dada pelos pontos (intervalos) P_{ij} , $i = 1$ a 96 e $j = 1$ a n , a curva média agregada no transformador será dada por:

$$PA_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} \quad (3.5)$$

De forma similar, em que se conhece a curva de desvio-padrão do consumidor dada pelos pontos S_{ij} , $i = 1$ a 96 e $j=1$ a n , a curva de desvio-padrão agregada no transformador será dada por:

$$SA_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n S_{ij}^2} \quad (3.6)$$

Na qual os valores de P_{ij} , S_{ij} e, conseqüentemente, PA_i e SA_i são dados em kW.

Nota: caso no transformador esteja ligado trecho de iluminação pública, essa carga pode ser agregada ao transformador como se fosse um consumidor em que a curva média apresenta um único valor constante diferente de zero nos horários de 0-6 h e 18-24 h e desvio-padrão zero durante todo o dia.

Essas curvas são, então, normalizadas, agora tomando-se por base a potência nominal do transformador, para expressar o carregamento relativo à capacidade do transformador.

É importante notar que essa metodologia usa toda a curva diária de carga e, portanto, faz prescindir do uso de fator de perdas para o cálculo da energia perdida. Da mesma forma, ao se aplicar a Equação 3.5, está sendo considerada a diversidade das cargas no processo, bem como a sazonalidade semanal. Não sendo preciso fazer hipóteses sobre esses dois aspectos mencionados, a metodologia deve levar a uma melhor precisão nos cálculos.

O uso das Equações 3.5 e 3.6 pode ser estendido, por exemplo, para obter as curvas de carga (m , s) num ponto da rede primária a partir das cargas nos transformadores a jusante do ponto em consideração.

3.4.2 Agrupamento dos Transformadores por Semelhança

Em seguida, é feito o agrupamento dessas curvas em conjuntos representativos ou *clusters*, sendo que esses agrupamentos serão importantes no aprimoramento do cálculo da perda de transformadores por RNA, conforme descrito mais adiante.

O agrupamento dos carregamentos típicos de transformadores em *clusters* pode ser realizado considerando-se vários métodos, várias alternativas dentro de um mesmo método e vários programas. No presente caso, foi feito por meio do programa computacional da IBM denominado *Statistical Application System* (SAS), que oferece alternativas e tem desempenho adequado a este problema. Para tal, procura-se determinar em quantos conjuntos serão classificados os transformadores e, para essa classificação, são fornecidos, numa mesma curva, o valor médio e desvio-padrão do transformador normalizados pela potência nominal. Os 96 primeiros pertencem à curva média dos transformadores, e os 96 pontos seguintes, à curva de desvio-padrão, tal como ilustrado na Figura 3.1 [11].

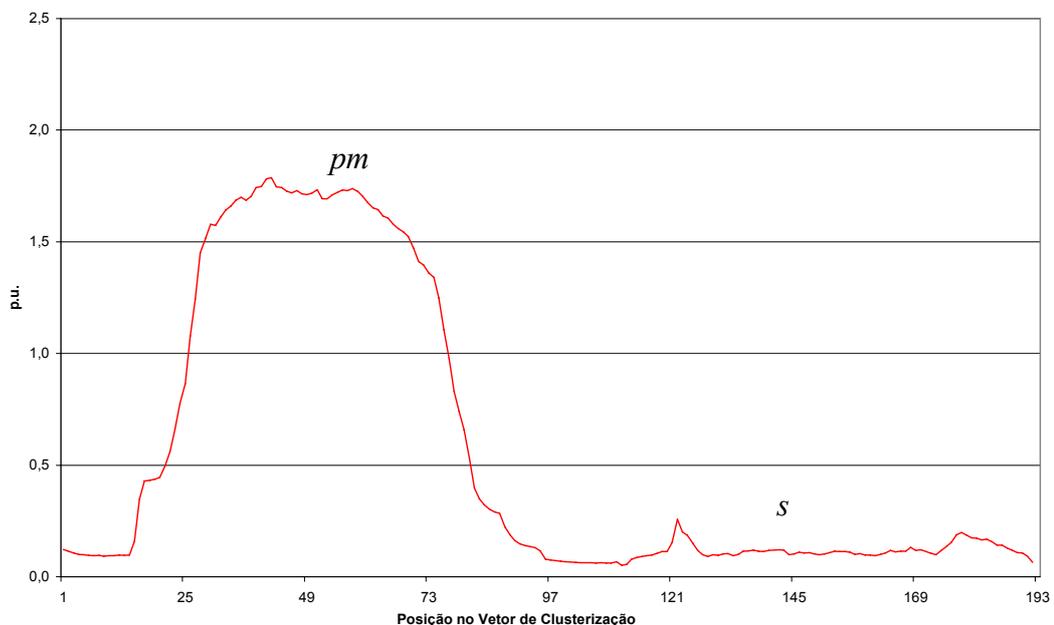


Figura 3.1 - Curva Composta das Curvas Média e Desvio-Padrão

Nota: mais detalhes do processo de agrupamento serão apresentados no item 3.5.2.

3.4.3 Cálculo da Energia Suprida por Transformador aos seus Consumidores

O passo inicial do processo de cálculo das curvas de carregamento dos transformadores é acessar os dados de transformadores e os dados dos consumidores a eles associados. Essas informações são obtidas normalmente no banco de dados corporativo da empresa.

Esta informação é composta dos dados de consumo, classe de atividade exercida pelo consumidor, dados da instalação transformadora e código das fases às quais o consumidor está conectado.

Dentre os dados da instalação transformadora, encontram-se:

- Código da Montagem do transformador, obedecendo às seguintes alternativas:
 - Monofásico;
 - Delta Aberto Atrasado;
 - Delta Aberto Adiantado;
 - Delta Fechado;
 - Trifásico;
 - Iluminação Pública Simples;
 - Iluminação Pública Dupla.
- Código Patrimonial do Transformador de Luz;
- Código Patrimonial do Transformador de Força 1;
- Código Patrimonial do Transformador de Força 2;
- Potência Nominal do Transformador de Luz em kVA;
- Potência Nominal do Transformador de Força 1 em kVA;
- Potência Nominal do Transformador de Força 2 em kVA;
- Código do Município;
- Tensão Nominal em kV.

Neste texto, quando não explicitado em contrário, uma instalação de transformadores será considerada como um transformador trifásico equivalente com carga equilibrada.

No cálculo das perdas da instalação transformadora, composta de um conjunto de unidades monofásicas, será necessário estabelecer a carga em cada um dos transformadores monofásicos levando em conta o tipo da montagem do banco de transformadores e as fases nas quais os consumidores se encontram conectados.

Uma vez que transformadores de distribuição monofásicos podem ser conectados em bancos para suprir cargas monofásicas e/ou trifásicas, o banco resultante pode suprir uma carga combinada, que pode ser simétrica ou assimétrica.

Um banco de transformadores simétrico é aquele composto de transformadores de características elétricas semelhantes, nos quais os enrolamentos primários e secundários são conectados ou em delta ou estrela. Já um banco de transformadores assimétrico consiste naquele composto de dois ou três transformadores com características elétricas diferentes [34].

De acordo com [34], algumas pressuposições serão necessárias, a respeito das características das cargas trifásicas e monofásicas, para se obter a alocação das cargas em cada fase, por meio das equações descritas no Anexo I. São elas:

- As cargas trifásicas são balanceadas e representadas por fontes de corrente ideal que consomem apenas corrente de seqüência positiva balanceada. A carga é dita balanceada quando as impedâncias de cada fase são iguais em módulo e em fase.
- As cargas monofásicas, alimentadas por meio do secundário de um banco de transformadores ligados em delta ou delta aberto, são balanceadas entre duas fases e o neutro, de forma que não existe fluxo de corrente no neutro.
- As tensões nos enrolamentos primários de entrada são de módulo e ângulo, tais que resultam em tensões balanceadas no secundário.

Muito embora essas condições, muitas vezes, não existam na prática, elas são simplificações tradicionalmente utilizadas no setor elétrico. Caso não se utilizem tais simplificações e se deseje maior precisão nos cálculos no carregamento de cada transformador, a metodologia originalmente desenvolvida por [37] deverá ser utilizada.

3.4.4 Cálculo da Curva de Carga dos Transformadores de Distribuição

Uma vez concluída a etapa de cálculo da contribuição individual dos consumidores conectados em cada um dos transformadores da concessionária, a etapa seguinte consiste na agregação das curvas de carga dos consumidores para a obtenção da curva de carga dos transformadores, por meio das seguintes fases:

- Alteração de códigos de atividade – visto a similaridade de consumo entre diversas atividades e a limitação de recursos necessários para se realizar uma pesquisa extensa de hábitos de consumo de todas as atividades existentes, criou-se uma tabela que agrupa as atividades afins, atribuindo suas correspondentes curvas típicas que foram levantadas em estudos anteriores [8], [9], [10] e [11]. Essa tabela pode ser vista no Anexo III.
- A curva de carga individual do consumidor, em kW, é obtida pela multiplicação de todos os pontos da sua curva de carga típica, em p.u., pela potência média mensal do consumidor, em kW [11]. A potência média mensal do consumidor é obtida dividindo o valor da média dos últimos três meses de sua energia consumida mensal pelo fator $(24 \cdot 30)$. Esse fator considera que a leitura do consumo é feita a cada 30 dias e o dia com 24 horas. Os valores em kW são multiplicados por um fator k adequado para ter em conta a parte reativa da carga, obtendo-se assim a curva de carga para kVA (potência aparente).
- Agregação de curvas de carga dos consumidores e obtenção da curva de carga do transformador. Ao se agregarem as contribuições das curvas de carga individual, em kVA, de cada um dos consumidores que estão sendo alimentados pelo transformador, obtendo-se as curvas de carregamento do transformador em kVA (média e desvio-padrão). Como relatado, a curva média do transformador é obtida pelo somatório das contribuições médias individuais dos consumidores, e a curva de desvio-padrão (ao quadrado) é calculada pelo somatório das contribuições dos desvios-padrão (ao quadrado) individuais. Dividindo-se todos os pontos dessa curva média pela potência nominal, em kVA, do transformador, obtém-se a curva de carga do transformador, em p.u., da potência nominal do transformador. É feito um procedimento similar com a curva de desvio-padrão.

Essas curvas em p.u. da sua potência nominal serão as curvas representativas desse transformador. Na Figura 3.2, apresenta-se uma dessas curvas.

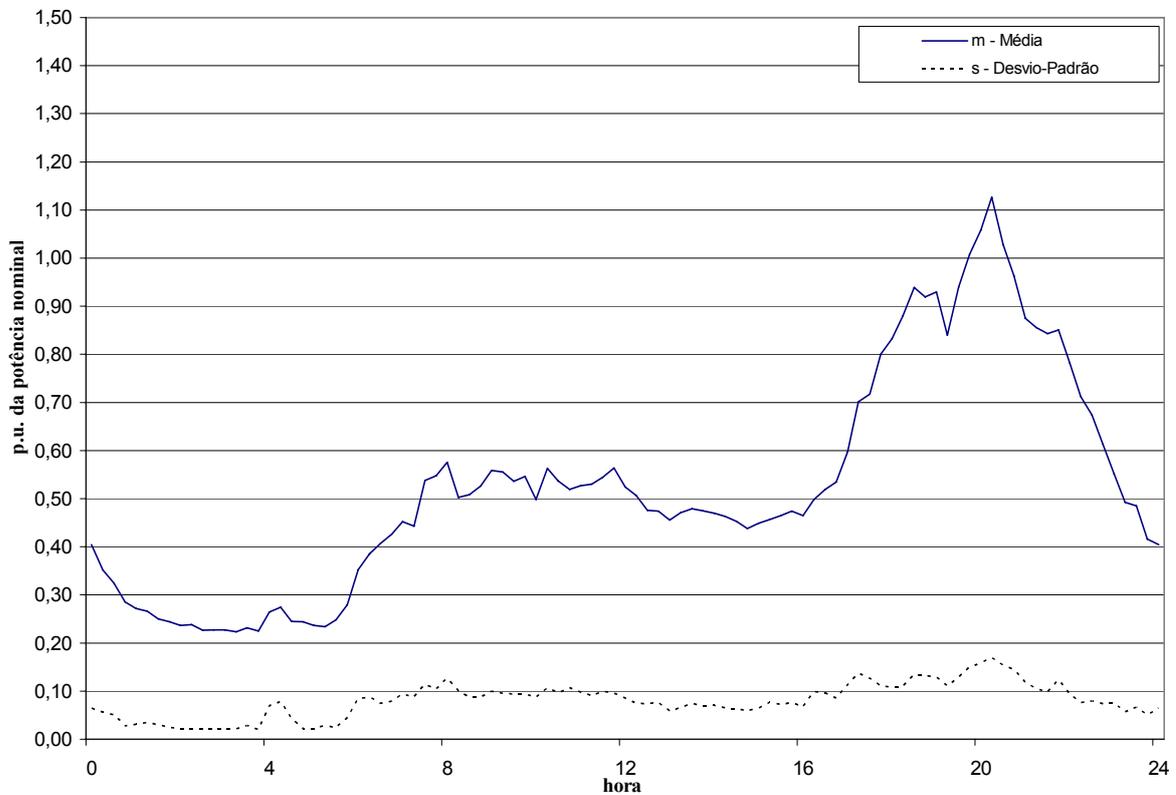


Figura 3.2 - Curva de Carga Diária Média e Desvio-Padrão de um Transformador

No caso dos grandes consumidores A4, apenas um consumidor é alimentado pelo transformador, não existindo, portanto, a necessidade de agregação.

3.4.5 Formulação do Cálculo de Perdas em Transformadores Trifásicos

As perdas em transformadores são divididas em perdas no cobre e perdas no ferro. A perda no ferro (Pfe) resulta do fluxo estabelecido no circuito magnético (portanto, dependente da tensão) e é praticamente a mesma, estando ele operando com carga ou em vazio.

A perda no cobre (Pcu) corresponde à dissipação de energia por efeito Joule, devido às correntes que circulam nos enrolamentos do primário e do secundário e, portanto, depende da carga alimentada pelo transformador, sendo proporcional ao quadrado dessa carga.

Embora os valores das perdas no cobre e no ferro, nominais, sejam distintos para cada um dos transformadores adquiridos pela empresa, serão utilizados os valores típicos de perdas em condições nominais apresentados na Tabela 3.1. Esses valores têm limites estabelecidos por normas, por exemplo, a NBR 5440/1999.

Tabela 3.1 - Perdas Nominais no Ferro e no Cobre de Transformadores de Distribuição

	Potência (kVA)	Tensão primária de 13,8 kV		
		Perdas em Vazio Máximas (Pfe) (kW)	Pcu (kW)	Perdas Totais Máximas (kW)
Trifásicos	15	0,115	0,320	0,435
	30	0,180	0,560	0,740
	45	0,220	0,760	0,980
	75	0,330	1,140	1,470
	112,5	0,440	1,550	1,990
	150	0,540	1,910	2,450
	225	0,765	2,700	3,465
	300	0,950	3,360	4,310
	500	1,170	5,630	6,800
	750	1,500	8,360	9,860
Monofásicos	10	0,060	0,200	0,260
	15	0,085	0,270	0,355
	25	0,120	0,400	0,520
	37,5	0,160	0,540	0,700
	50	0,190	0,640	0,830
	75	0,230	0,930	1,160
	100	0,280	1,220	1,500

Dados da NBR 5440/1999

3.4.5.1 Cálculo das Perdas no Cobre (Método Analítico)

Tendo por base a curva da Figura 3.2 e admitindo-se que, em cada instante, a distribuição da demanda segue uma curva gaussiana definida pelos valores da curva média (m) e da curva do desvio-padrão (s), pode-se, então, gerar um conjunto de curvas (Figura 3.3), aqui denominado “estratificação”. Cada ponto d de uma curva é calculado por uma equação do tipo $d=m*(1+PHI*s)$. Sendo PHI um índice de probabilidade dado pela Tabela 3.2.

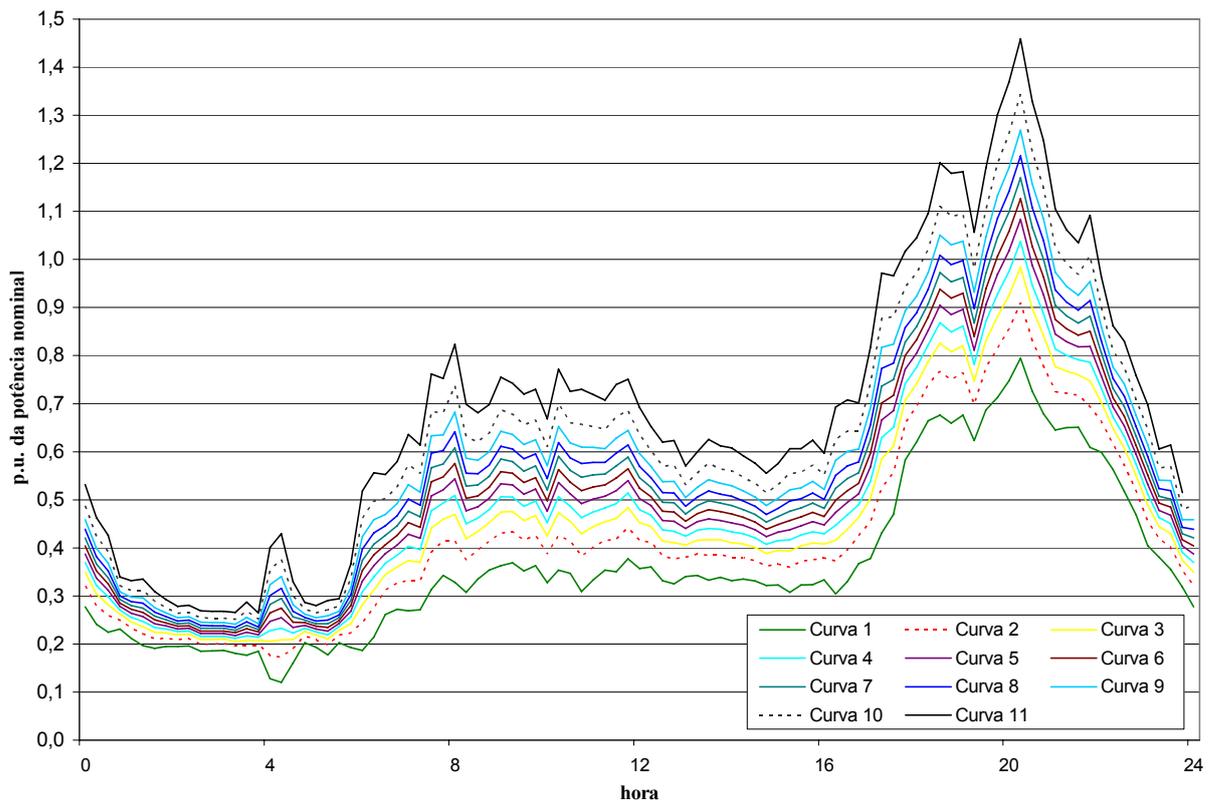


Figura 3.3 - Curva de Carga Diária de um Transformador Estratificada em 11 Curvas

Tabela 3.2 - Tabela de Estratificação

Curva N°	Faixa Representativa (%)	Densidade de Probabilidade (%) PROBPHI	PHI
1	0 – 5	5	-1,96
2	5 – 15	10	-1,28
3	15 – 25	10	-0,84
4	25 – 35	10	-0,525
5	35 – 45	10	-0,255
6	45 – 55	10	0
7	55 – 65	10	0,255
8	65 – 75	10	0,525
9	75 – 85	10	0,84
10	85 – 95	10	1,28
11	95 – 100	5	1,96

A Figura 3.3 mostra a estratificação da curva exibida na Figura 3.2 em 11 curvas (opção neste trabalho) e, na Tabela 3.2, suas propriedades. Nota-se, por exemplo, que a curva 4 tem valor de $PHI=-0,525$, correspondente a uma probabilidade de 30%. Essa curva representará todo o intervalo de probabilidades de 25% a 35%, ou seja, sua densidade é $PROBPHI=10\%$. Portanto, ao valor de perdas obtido ao se utilizar essa curva, deve-se aplicar a ponderação correspondente ao seu intervalo, ou seja, 10%.

As perdas são calculadas para cada uma das 11 curvas, e o valor encontrado é ponderado de acordo com sua respectiva probabilidade, sendo 10% para as curvas de número 2 a 10 e 5% para as curvas de número 1 e 11.

Repetindo, as curvas de carregamento em kW são estratificadas em curvas do tipo:

$$P_j[k] = (Vcab[k] + PHI[j] * Sigma[k]) * Snom \quad (3.7)$$

Em que:

- k - ordem dos pontos da curva, variando de 1 a 96;
- j - índice da curva estratificada, variando de 1 a 11;
- $Vcab[k]$ - um ponto da curva de carga média;
- $Sigma[k]$ - um ponto da curva desvio-padrão;
- $PHI[j]$ - coeficiente que define a probabilidade;
- $Snom$ - potência nominal do transformador.

O cálculo da perda média diária em kW no cobre, no transformador trifásico, é dado por:

$$Perda = \frac{1}{96} * \sum_{j=1}^{11} PROBPHI(j) * \sum_{k=1}^{96} Perda_j(k) \quad (3.8)$$

Conforme será mostrado a seguir:

$$Perda_j(k) = 3 * r_{\Omega} * i_j(k)^2 = 3 * r_{\Omega} * \left(\frac{P_j(k)}{\sqrt{3} * V_{\theta\theta}} \right)^2 = r_{\Omega} * \frac{P_j(k)^2}{V_{\theta\theta}^2} = (r_{pu} * \frac{V_{\theta\theta}^2}{Snom}) * \frac{P_j(k)^2}{V_{\theta\theta}^2} \quad (3.9)$$

Em que:

- r_{Ω} é a resistência do transformador;
- $V_{\theta\theta}$ é a tensão entre fases.

$$Perda_j(k) = r_{pu} * \frac{P_j(k)^2}{Snom} \quad (3.10)$$

A energia perdida neste intervalo de tempo é $E(k) = Perda_j(k) * \Delta t$, no presente caso $\Delta t = 15$ min. ou $\frac{1}{4}$ de hora. A energia perdida no dia (Edia) para uma curva j será pois:

$$Edia_j = \sum_{k=1}^{96} r_{pu} * \frac{P_j(k)^2}{Snom} * \Delta t \quad (3.11)$$

$$Perda = \frac{1}{96} * \sum_{j=1}^{11} PROBPHI(j) * \sum_{k=1}^{96} r_{pu} * \frac{P_j(k)^2}{Snom} \quad (3.12)$$

$$Perda = \frac{r_{pu} * Snom}{96} \sum_{j=1}^{11} PROBPHI(j) * \sum_{k=1}^{96} \left(\frac{P_j(k)}{Snom} \right)^2 \quad (3.13)$$

Notar que: $\frac{P_j(k)}{Snom} = p_j(k)$, ou seja, é a potência passante em p.u. da potência nominal do transformador. Dessa forma, pode-se escrever que:

$$Perda = \frac{r_{pu} * Snom}{96} * \Delta Perda \quad (3.14)$$

$$\Delta Perda = \sum_{j=1}^{11} PROBPHI(j) * \sum_{k=1}^{96} \left(\frac{P_j(k)}{Snom} \right)^2 \quad (3.15)$$

Relembrar que esse método é aqui denominado “Método Analítico”. A perda anual do transformador de uma determinada curva de carga será o somatório das perdas mensais. A perda mensal é dada pela perda diária, multiplicado-a pelo número de dias daquele mês.

3.4.5.2 Perdas no Ferro

A perda no ferro é um valor fixo (em relação à carga) dependente da potência nominal do transformador e da tensão de operação, e será considerada constante e igual ao valor nominal no decorrer deste trabalho.

3.4.6 Cálculo das Perdas em Transformadores Monofásicos

O equacionamento é o mesmo do transformador trifásico.

3.4.7 Rede Neural para Cálculo das Perdas no Cobre de Transformadores de Distribuição

Em face do tempo de processamento despendido para o cálculo das perdas técnicas pelo método analítico de todos os transformadores de um dado agrupamento, a utilização de rede neural artificial pode oferecer uma alternativa mais rápida para a avaliação de perdas em transformadores de distribuição.

3.4.7.1 Introdução à Técnica de Redes Neurais Artificiais

Neste item, pretende-se passar os conceitos básicos da técnica de Redes Neurais Artificiais, uma vez que este assunto é muito abrangente, e mais detalhes poderão ser obtidos nas referências [38], [42] e [49].

Atualmente, a técnica de Redes Neurais Artificiais (RNAs) conta com uma dezena de modelos diferentes que procuram reproduzir algumas características do cérebro humano. No presente trabalho, utilizou-se o modelo *Multi Layer Perceptron* (MLP), que permite resolver problemas de interpolação, além de uma excelente capacidade de aprendizado, generalização e abstração.

Entende-se por:

- **Aprendizado** – capacidade da RNA de modificar seu próprio comportamento em resposta ao ambiente com o qual interage. No treinamento supervisionado, pares de vetores de entrada e de saída são apresentados à rede e seus parâmetros internos são ajustados de forma que a saída calculada seja o mais próximo possível da saída desejada.
- **Generalização**, a capacidade de produzir uma resposta correta usando a experiência passada, para um vetor de entrada que não fez parte do conjunto de treinamento. Em suma, é a capacidade de resolver um problema sem utilizar as ferramentas analíticas que foram utilizadas para construir o conjunto de treinamento. Esta característica é particularmente útil em situações em que a relação funcional entre as entradas e as saídas não é perfeitamente conhecida, e também em situações nas quais a execução das ferramentas analíticas é muito demorada, visto que o tempo de processamento gasto pelo MLP para calcular um vetor de entrada é mínimo.
- **Abstração** – capacidade da RNA de extrair informações relevantes de um ambiente que pode estar afetado por variações particulares, tais como ruído externo.

A rede MLP é composta por unidades básicas (neurônios) que são dispostas em camadas. A função básica do neurônio artificial, também chamado de Perceptron, é somar as suas entradas ponderadas por pesos e produzir um sinal na sua saída, caso a soma seja maior que um determinado valor, denominado valor de limiar (*threshold*).

Uma rede neural adaptativa é uma estrutura em rede cujo comportamento das relações entre os dados de entrada e saída é determinado pelos valores de uma coleção de parâmetros modificáveis. Esta é composta por um conjunto de nós (neurônios) conectados por conexões

diretas, em que cada nó é uma unidade do processo que executa uma função estática sobre os seus sinais de entrada para gerar um único valor de saída. A função de cada neurônio é dada por uma função parametrizada com parâmetros variáveis. Por meio da alteração desses parâmetros, o comportamento da função do nó é modificado, juntamente com o comportamento geral da rede [49].

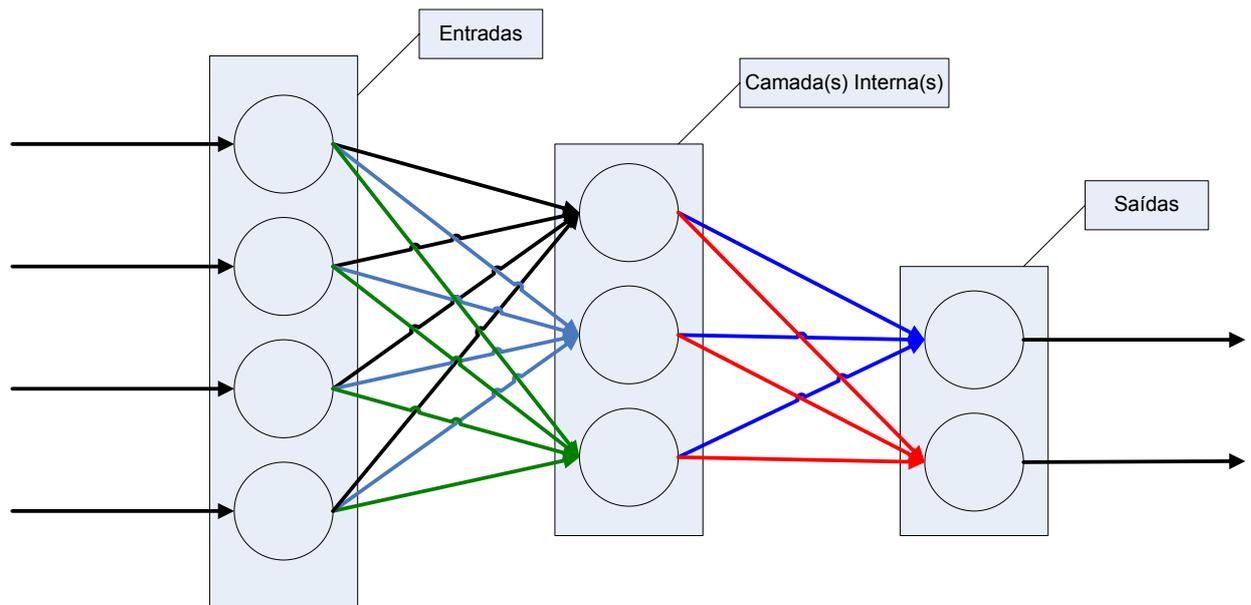


Figura 3.4 Modelo *Multi-Layer Perceptron* - MLP

A Figura 3.4 apresenta uma representação do modelo MLP, na qual suas unidades básicas (neurônios) são dispostas em camadas, tendo como objetivo imitar a estrutura em camadas e a natureza paralela do cérebro humano. Qualquer neurônio em uma dada camada se conecta com todos os neurônios existentes nas camadas anteriores e posteriores da camada em questão. A cada conexão, está associado um peso, cujo valor é variável durante o treinamento e permite codificar o conhecimento que o MLP tem sobre um determinado problema.

A função da camada 0 ou de entrada é simplesmente passar as entradas do MLP a cada neurônio na camada 1, por meio da matriz de pesos W_1 . Essa matriz contém tantas linhas quantas sejam as entradas do MLP e tantas colunas quantos sejam os neurônios da camada 1. Dessa forma, nenhuma operação é realizada na camada 0. Cada neurônio na camada 1 calcula a soma ponderada das entradas (utilizando os pesos da matriz W_1) e aplica uma função não linear a essa soma. O resultado é então passado a todos os neurônios da camada 2, desta vez por meio da matriz de pesos W_2 . A camada 2 (e todas as subsequentes) efetua a mesma operação que a camada 1.

As Equações 3.4.1 ilustram estas operações, considerando-se o cálculo da saída produzida pelo neurônio k na camada i :

$$l_k = \sum_{j=1}^n e_j w_{jk} \quad (3.4.1 \text{ a})$$

$$s_k = \frac{1}{1 + e^{-\lambda l_k}} \quad (3.4.1 \text{ b})$$

Em que:

- K - indica cada um dos neurônios da camada i ;
- n - número de entradas que alimentam o neurônio k (na camada $i = 1$, é o número de entradas da rede MLP; para as demais camadas, é o número de neurônios na camada anterior);
- e_j - valor da entrada j do neurônio k ;
- w_{jk} - peso que interliga a entrada j com o neurônio k ;
- l_k - valor líquido das entradas no neurônio k (ponderadas pelos pesos w_{jk});
- s_k - saída do neurônio k após aplicação da função não linear.

A função não linear da Equação 3.4.1 b, função logística, é responsável pela capacidade de generalização do MLP.

A rede MLP opera em dois modos distintos: treinamento e processamento.

- Durante o treinamento, vetores de entrada e saída (conjunto de treinamento) são apresentados à rede e os pesos são reavaliados para cada transformador até chegar-se a uma solução final. Com esses pesos, são calculadas as saídas de um conjunto de casos (conjunto de teste). A diferença entre a saída calculada e uma saída preespecificada (erro de avaliação) é usada pelo algoritmo de *Backpropagation* para se ajustarem todos os pesos da rede de forma a minimizar o erro. A etapa de treinamento é executada repetidas vezes, até que o erro de avaliação resulte inferior a uma tolerância prefixada. Esse é um tipo de treinamento *supervisionado*, porque, para cada vetor de entrada, existe um vetor de saída preespecificado.

- No modo de processamento, os vetores de entrada são apresentados à rede MLP e esta calcula os correspondentes vetores de saída, uma vez que os pesos da rede previamente treinada contêm o conhecimento sobre o problema fornecido pelo conjunto de treinamento.

O algoritmo de *Backpropagation* é utilizado no treinamento da rede MLP. Esse algoritmo é uma variação do método do gradiente, que procura minimizar a função erro, calculando deslocamentos na direção do vetor gradiente, sendo as correções determinadas pelo método aplicadas aos pesos w_{jk} da rede (que são as variáveis independentes no treinamento).

Conforme [50], o *Backpropagation* pode ser visto como uma generalização do método Delta para redes neurais de múltiplas camadas. Ao se apresentar um determinado padrão de entrada a uma rede neural não treinada e o respectivo padrão de saída, uma saída aleatória é produzida. A partir da saída produzida pela rede, é calculado um erro, representando a diferença entre o valor obtido e o desejado. O objetivo consiste, então, em reduzir continuamente o erro até um determinado valor aceitável. Isso é alcançado pelo ajuste dos pesos entre as conexões dos neurônios, pela aplicação da regra Delta Generalizada, que calcula o erro para alguma unidade particular e propaga esse erro para a camada anterior. Cada unidade tem seus pesos ajustados de modo a minimizar o erro da rede [51].

A minimização do erro no algoritmo *Backpropagation* é obtida pela execução do gradiente decrescente na superfície de erros do espaço de pesos, onde a altura para qualquer ponto no espaço de pesos corresponde à medida do erro. O ajuste dos pesos inicia-se nas unidades de saída, onde a medida do erro está disponível, e procede com a retropropagação desse erro entre as camadas, ajustando os pesos até que a camada das unidades de entrada tenha sido processada. Para as unidades de saída, como são conhecidos os valores desejados e obtidos, o ajuste dos pesos sinápticos é relativamente simples; para as unidades das camadas ocultas, o processo não é tão trivial. Intuitivamente, as unidades ocultas que apresentarem erros grandes devem ter suas conexões bastante alteradas, enquanto a mudança nos pesos daquelas que tiverem suas saídas muito próximo das desejadas deverá ser pequena. Na realidade, os pesos para um neurônio particular devem ser ajustados na proporção direta ao erro da unidade de processamento a qual está conectado. Essa é a razão pela qual a retropropagação dos erros através da rede permite o correto ajuste dos pesos sinápticos entre todas as camadas do modelo conexionista [51].

Assim, é possível identificar duas fases distintas no processo de aprendizagem do *Backpropagation*: aquela em que as entradas se propagam entre as camadas da rede, da camada

de entrada até a camada de saída, e aquela em que os erros são propagados na direção contrária ao fluxo de entrada.

Nesse algoritmo, o tempo de treinamento pode atingir valores elevados, e não existe garantia que resulte sempre num treinamento satisfatório. Pode ocorrer que o algoritmo fique preso em mínimos locais da função erro, sem poder avançar em direção ao mínimo global desejado.

Entre os fatores que afetam o treinamento estão: número de entradas e saídas (fixados pelo problema físico a ser resolvido), número e tamanho das camadas internas do MLP, tamanho e representatividade do conjunto de treinamento, e a relação física entre as variáveis de entrada e de saída.

Algumas variantes do algoritmo básico de *Backpropagation* foram desenvolvidas para melhorar o tempo de treinamento. No presente estudo, foi possível utilizar as seguintes variantes: *Método do Momento* e *Método do Suavizamento Exponencial* [42].

No método do momento, um termo adicional é utilizado na fórmula para correção dos pesos entre uma iteração e a iteração subsequente [42]:

$$\Delta w_{jk}(n+1) = \eta \cdot \delta_k \cdot o_j + \alpha \cdot \Delta w_{jk}(n) \quad (3.4.2)$$

Em que:

- $\Delta w_{jk}(n)$ - é a correção aplicada ao peso w_{jk} da matriz W_i (camada i) na iteração n ;
- η é a taxa de aprendizado que permite controlar o tamanho médio das correções aplicadas aos pesos;
- δ_k - é, para a última camada da rede, o erro de avaliação (diferença entre a saída desejada e a saída calculada); para as demais camadas, é a propagação do erro de avaliação;
- o_j - é o valor da saída calculada no neurônio j na camada $(i-1)$;
- α - é o coeficiente do momento.

A parcela $\eta \cdot \delta_k \cdot o_j$ na Equação (3.4.2) é a correção do peso w_{jk} estabelecida pelo método de *Backpropagation* puro. A parcela $\alpha \cdot \Delta w_{jk}(n)$ representa o método do momento e corresponde a uma fração da correção aplicada ao peso na iteração anterior; ou seja, cada correção é “lembrada” e aplicada nas iterações seguintes. A idéia básica do método do momento é propagar as correções iniciais, já que, no início do treinamento, a convergência do método de *Backpropagation* é usualmente mais rápida que nas etapas finais.

No método do suavizamento exponencial, utiliza-se a mesma idéia de considerar correções aplicadas aos pesos em iterações passadas. A equação de correção dos pesos é a seguinte [42]:

$$\Delta w_{jk}(n+1) = (1 - \alpha) \cdot \eta \cdot \delta_k \cdot o_j + \alpha \cdot \eta \cdot \Delta w_{jk}(n) \quad (3.4.3)$$

Em que α é o coeficiente de suavizamento exponencial. Observa-se neste caso que, dependendo do valor de α , pode-se ter o algoritmo de *Backpropagation* puro ($\alpha = 0$, suavizamento mínimo) ou suavizamento máximo ($\alpha = 1$, quando a correção atual é ignorada e repete-se a correção aplicada na iteração anterior).

3.4.7.2 Aplicação de RNAs na Avaliação de Perdas em Transformadores de Distribuição

A técnica baseada em rede neural artificial pode oferecer uma alternativa ao cálculo das perdas Joule pelo método analítico. Dependendo da arquitetura escolhida, poderá reduzir o esforço computacional e usar medições de perdas em transformadores de distribuição para melhorar a previsão. No caso específico do cálculo de perdas Joule nos transformadores de distribuição, o vetor de entrada é composto pela informação dos consumidores e do transformador, e a saída é a sua perda Joule.

Quanto à forma de apresentação do vetor de entrada, foram estudadas as seguintes alternativas:

- Alternativa 1 – entrada na forma de curva de carga média e desvio-padrão do transformador de forma completa (24 pontos da curva média e 24 pontos de desvio-padrão, um por hora).
- Alternativa 2 – entrada da curva de carga com número reduzido de pontos, nos horários típicos, preservando o conteúdo de forma da curva.
- Alternativa 3 – entrada na forma de número de consumidores, por tipo e sua energia mensal global.

A primeira tem uma melhor informação do dado de entrada e leva, portanto, a melhores resultados, mas tem um tempo de processamento maior (maior número de pesos e, desse modo, uma quantidade maior de multiplicações e somas).

A segunda apresenta uma melhoria no tempo de processamento, com prejuízo da precisão.

A terceira alternativa parte dos dados iniciais e, portanto, evita o cálculo da curva de carga do transformador, resultando em um menor tempo de processamento e precisão inferior, pela qualidade da informação de entrada.

Os resultados aplicados a um estudo de caso encontram-se no Capítulo 4.

3.4.7.3 O Sistema Computacional

A seguir, são descritas as telas e os conceitos do sistema computacional, que, baseado na metodologia apresentada, permite realizar o cálculo das perdas nos transformadores de distribuição e que também poderá ser estendido para os outros componentes do sistema de distribuição.

Esse sistema, denominado SDPT (Sistema para Determinação de Perdas Técnicas), permite o cálculo das perdas no cobre de transformadores e consiste de três funções básicas:

- Configuração da arquitetura da rede MLP e parâmetros de treinamento;
- Treinamento e teste da rede neural;
- Processamento da rede neural (cálculo para todo o universo de transformadores).

A) Configuração da Rede MLP

Estrutura da Rede Neural Artificial

Código da Rede Neural: CE000SE000001 Processamento: 22/05/2005 14:05:05 Exclusivo

Fatores de Escala

Entrada Mínima: 1.0
 Entrada Máxima: 1.0
 Saída Mínima: 0.2
 Saída Máxima: 0.8

Parâmetros de Treinamento

Utilizar Método do Suavizamento Exponencial Inserir sempre Neurônio de Polarização

Número de Vetores de Teste: 997 Parâmetro de controle da função logística (Lambda): 1.00
 Número de Vetores de Treinamento: 1003 Amplitude dos pesos iniciais: 1.00

Número de Entradas: 48 Número de Neurônios e camadas ocultas: 4 Número de Saídas: 1

Camada 2: 35
 Camada 3: 24

Parâmetros de Treinamento

	Código da Rede Neural	Passo	Iterações Internas	Iterações Globais	Tolerância (%)	Coef. do Método	Taxa de Aprendizado
▶	CE000SE000001	1	9	9000	0,15	0,95	1,00
	CE000SE000001	2	9	9000	0,15	0,95	0,90
	CE000SE000001	3	9	9000	0,15	0,95	0,80
	CE000SE000001	4	9	9000	0,15	0,95	0,70
*							

Adicionar Editar Deletar Refresh Imprimir Fechar

Registro: 1

Figura 3.5 - Tela de Treinamento das Redes Neurais Artificiais

A Figura 3.5 exibe o módulo de treinamento das redes neurais. Essa interface gráfica permite tanto o treinamento quanto a definição da arquitetura da rede neural para um determinado agrupamento de transformadores.



Figura 3.6 - Barra de Navegação de Registro

A Figura 3.6 exibe a barra de navegação de registro do formulário da figura 3.5, que está presente na maioria das telas do sistema. O objetivo é facilitar a navegação entre os registros existentes.

No menu de ferramentas da tela de Redes Neurais (Figura 3.7), existem quatro ícones:

- Treinar: executa as funções de treinamento, teste e histograma de erros, para que o usuário possa avaliar o grau de treinamento da rede neural.
- Copiar RN: copia os parâmetros da Rede Neural para variáveis internas do programa, para que possam ser copiadas para outra rede neural já adicionada.
- Colar RN: salva os parâmetros da Rede Neural anteriormente armazenada no registro atual.
- Salvar RN: armazena o arquivo “Rede.mlp” no campo contendo a última Rede Neural que foi treinada.

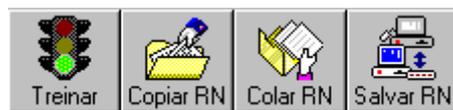


Figura 3.7 - Menu de Ferramentas da Tela de Redes Neurais

Adicionalmente aos parâmetros da estrutura da rede neural, o usuário também deve definir os parâmetros, a quantidade e a seqüência de passos em que será realizado o treinamento. Todos esses parâmetros, bem como a rede neural treinada, são armazenados em um banco de dados relacional.

Uma vez treinada a rede neural, o processo de configuração só necessitará ser feito caso o comportamento de consumo da área de concessão seja muito alterado (por exemplo, variação de 10% da carga).

Em função desses parâmetros, o subsistema monta e inicializa a matriz de pesos da rede. Essa inicialização é feita pela geração de números pseudo-aleatórios com distribuição uniforme em intervalo especificado pelo usuário (Fatores de Escala).

Destaca-se como princípio básico deste projeto que a rede poderá ter, no máximo, cinco camadas ocultas e tantos neurônios em cada camada oculta quantos o usuário desejar, tendo apenas como limitação a memória disponível na máquina em que o sistema será executado. Embora não exista uma limitação formal quanto ao número de camadas ocultas, alguns estudos demonstram que três camadas ocultas, no máximo, são suficientes para que a rede consiga capturar a não-linearidade presente nos padrões de treinamento [50].

No treinamento e teste, partindo-se do valor de saída desejado para cada um dos vetores de entrada e aquele obtido pela rede MLP, é gerado um histograma dos erros de avaliação. Nessa análise, é calculado o erro relativo entre o valor de referência e o valor calculado para cada saída e em cada vetor. Posteriormente, determinam-se a média, o desvio-padrão, o valor máximo e a distribuição de valores em faixas do erro de avaliação.

Neste ponto, é necessário definir o que seria Erro Absoluto e Erro Relativo.

Seja x um valor exato e x_{\sim} um valor aproximado de x . Define-se aqui:

$$\text{Erro} = x - x_{\sim}$$

$$\text{Erro Absoluto} = |x - x_{\sim}|$$

Se $x \neq 0$:

$$\text{Erro Relativo} = |x - x_{\sim}| / |x|$$

Caso o usuário julgue que os erros estão dentro do aceitável, a rede neural treinada pode ser gravada no banco de dados, de forma que ela possa ser utilizada em seguida no cálculo da perda Joule nos transformadores.

B) *Treinamento e Teste da Rede Neural*

B.1 TREINAMENTO

Ao clicar no botão “Treinar” da Figura 3.6, dar-se-á o início do processo de treinamento, que consiste em alimentar a rede com o vetor de treinamento de modo que possam ser calculados os pesos. Entre os fatores que afetam o treinamento estão: número de entradas e saídas, número e tamanho das camadas internas do MLP, tamanho e representatividade do conjunto de treinamento, e a relação entre as variáveis de entrada e de saída.

Exemplificando, na alternativa 1 de cálculo, tanto o vetor de treinamento quanto o vetor de teste consistem em um conjunto de entradas e saídas constituídas da seguinte forma:

As primeiras 48 variáveis de entrada são:

- 24 pontos da curva média de carregamento, em p.u., da potência nominal do transformador (um ponto por hora);
- 24 pontos da curva de desvio-padrão, em p.u., da potência nominal do transformador.

Como variável de saída, tem-se o valor do $\Delta Perda$, que pode ser calculado pelo método analítico de cálculo de perdas no cobre do transformador de distribuição, conforme detalhado no Item 3.3, ou em medições existentes.

Nota: a curva média e a de desvio-padrão do carregamento possuem 96 pontos (intervalos de 15 minutos). Entretanto, cada ponto na alternativa 1 será a média das medidas dos valores para aquela determinada hora, ou seja, o valor do carregamento da hora 23 será dado pela média aritmética do valor das 23:00, 23:15, 23:30 e 23:45. Poderiam ser utilizados 96 pontos de cada curva no vetor de entrada, porém o tempo de cálculo aumentaria significativamente e provavelmente não melhoraria muito a precisão dos resultados (para fins de cálculo de perdas, um ponto por hora já traz a informação adequada ao cálculo).

Com base na definição das quantidades de transformadores que irão compor os Vetores de Treinamento e Teste, inseridos a partir da interface gráfica, serão aleatoriamente selecionados, de forma automática, os transformadores que irão fazer parte do vetor de treinamento. O mesmo se aplica para a montagem do vetor de teste. Tanto os transformadores selecionados que fazem parte do vetor de treinamento quanto aqueles do vetor de teste são armazenados em uma tabela do banco de dados relacional.

Ao se iniciar o treinamento da rede neural, são gerados três arquivos:

- Pesos.wgt: contém os pesos iniciais da rede neural;
- Treina.trf: contém os vetores de treinamento;
- Teste.trf: contém os vetores de teste.

Esses arquivos são utilizados pelo módulo responsável pelo treinamento e processamento da rede neural, o qual foi encapsulado em uma DLL (*Dinamic Link Library*) denominada MLP.dll.

A Figura 3.8 apresenta um resumo esquemático do primeiro passo de processamento dos parâmetros da rede neural juntamente com o vetor de treinamento. Ao final de cada passo de processamento, é gerado um arquivo chamado “Rede_1.mlp”, que contém os pesos da rede treinada. Nos passos posteriores, será feito um novo treinamento da rede já treinada no passo imediatamente anterior.

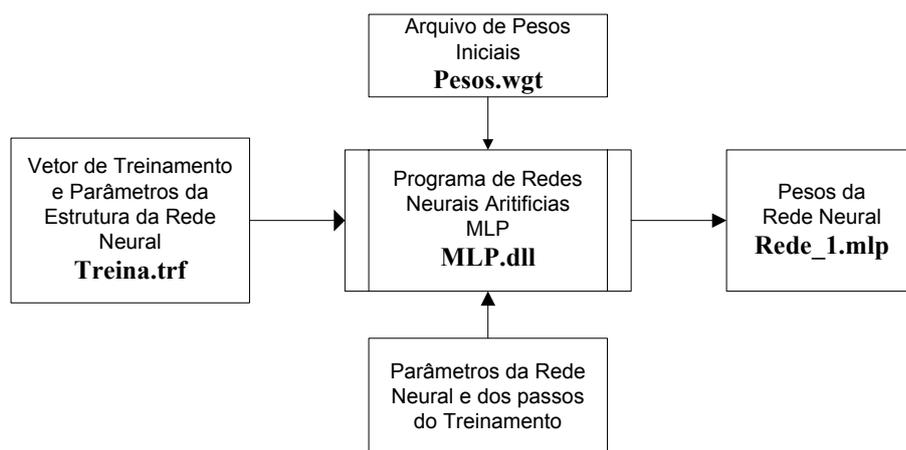


Figura 3.8 - Esquemático do Treinamento da Rede Neural

Ao final do treinamento, a última rede treinada é renomeada para Rede.mlp e o usuário pode armazená-la no banco de dados relacional, pelo botão “Salvar RN”, ficando, portanto, disponível para futuros processamentos.

B.2 TESTE DA REDE NEURAL

Após terem sido completados todos os passos do treinamento, o arquivo mlp gerado no último passo de treinamento será renomeado para “Rede.mlp” e o teste de cálculo da rede neural será executado. Na etapa de teste, os seguintes arquivos serão enviados para a DLL, denominada MLP.dll, como parâmetros de entrada/saída:

- Teste.trf: arquivo contendo os vetores de teste da rede neural;
- Teste.out: arquivo de saída que informa se a rede convergiu;
- Rede.mlp: arquivo com os pesos da rede neural treinados no item anterior;
- Excel.txt: arquivo de saída contendo os resultados do treinamento.

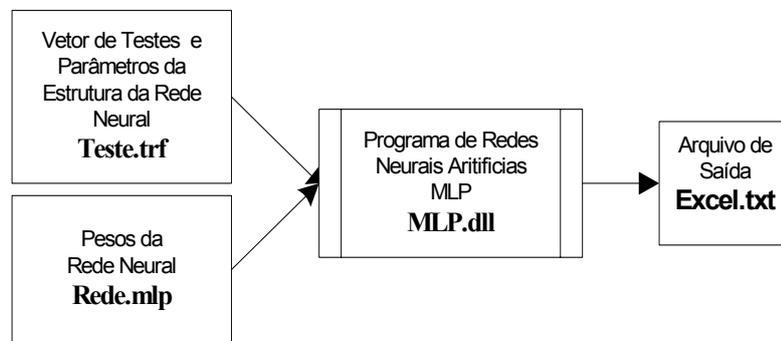


Figura 3.9 - Esquemático do Teste da Rede Neural

Conforme pode ser visto no esquemático da Figura 3.9, a DLL, denominada “MLP.dll”, irá gerar, como arquivo de saída, um arquivo contendo a curva de carregamento juntamente com o valor da perda dada inicial de entrada e o valor calculado pela rede neural, para todos os transformadores selecionados para compor o vetor de teste.

A partir desse arquivo, será exibido um Histograma de erros relativos (Figura 3.10, por exemplo) para que, com base nele, o usuário possa julgar se os resultados estão dentro do aceitável ou não. Caso julgue que sejam aceitáveis, poderá salvar o arquivo contendo os pesos da rede neural treinada, denominada Rede.mlp, no campo “ARQ_MLP” da tabela “Rede_Neural” do banco de dados, para posterior utilização no processamento do cálculo da perda técnica diária por redes neurais.

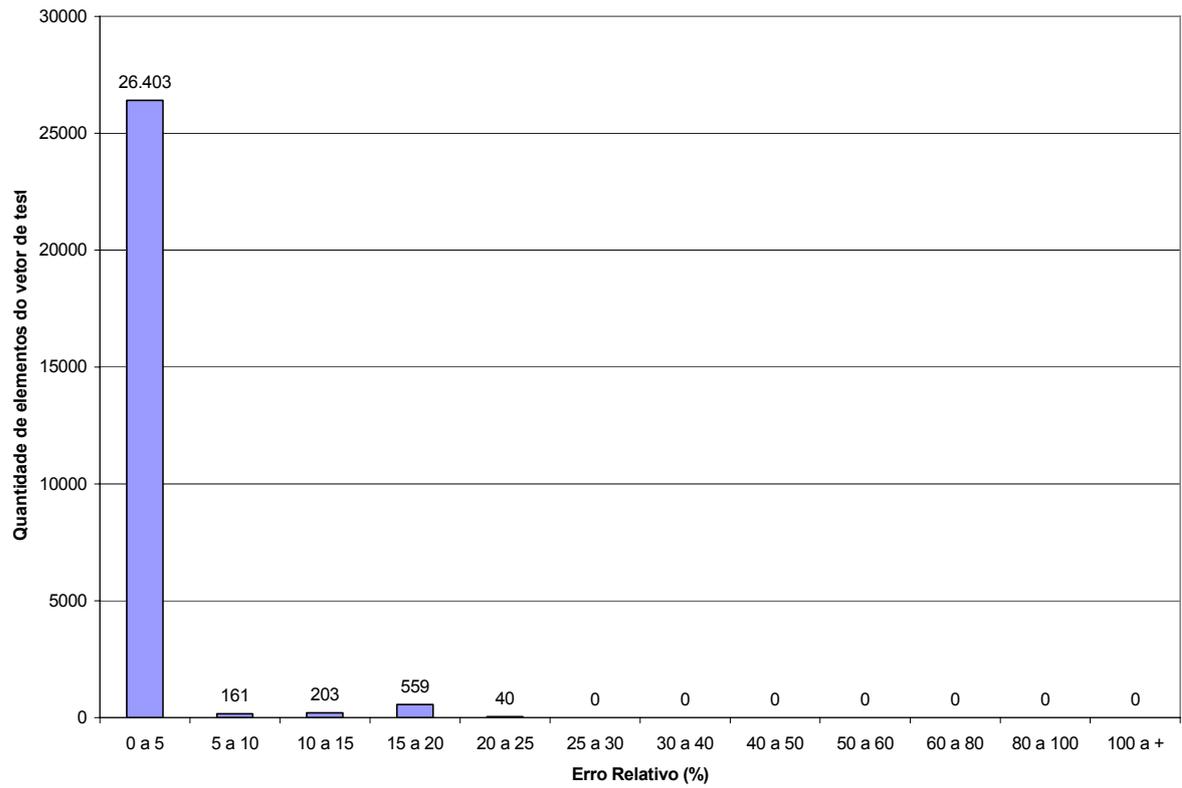


Figura 3.10 - Histograma de Erro Relativo Percentual

C) Cálculo para o Universo de Transformadores

Uma vez treinadas todas as redes neurais desejadas, pode-se realizar a análise com uma periodicidade desejada, visto que o treinamento não precisa, necessariamente, ser feito todas as vezes. Após a importação dos dados ter sido concluída com sucesso, o usuário responsável pelo processamento das redes neurais artificiais irá, uma vez que tenham sido treinadas as redes neurais desejadas, clicar no botão “Perdas por Redes Neurais”, mostrado na Figura 3.11, para efetuar o cálculo.

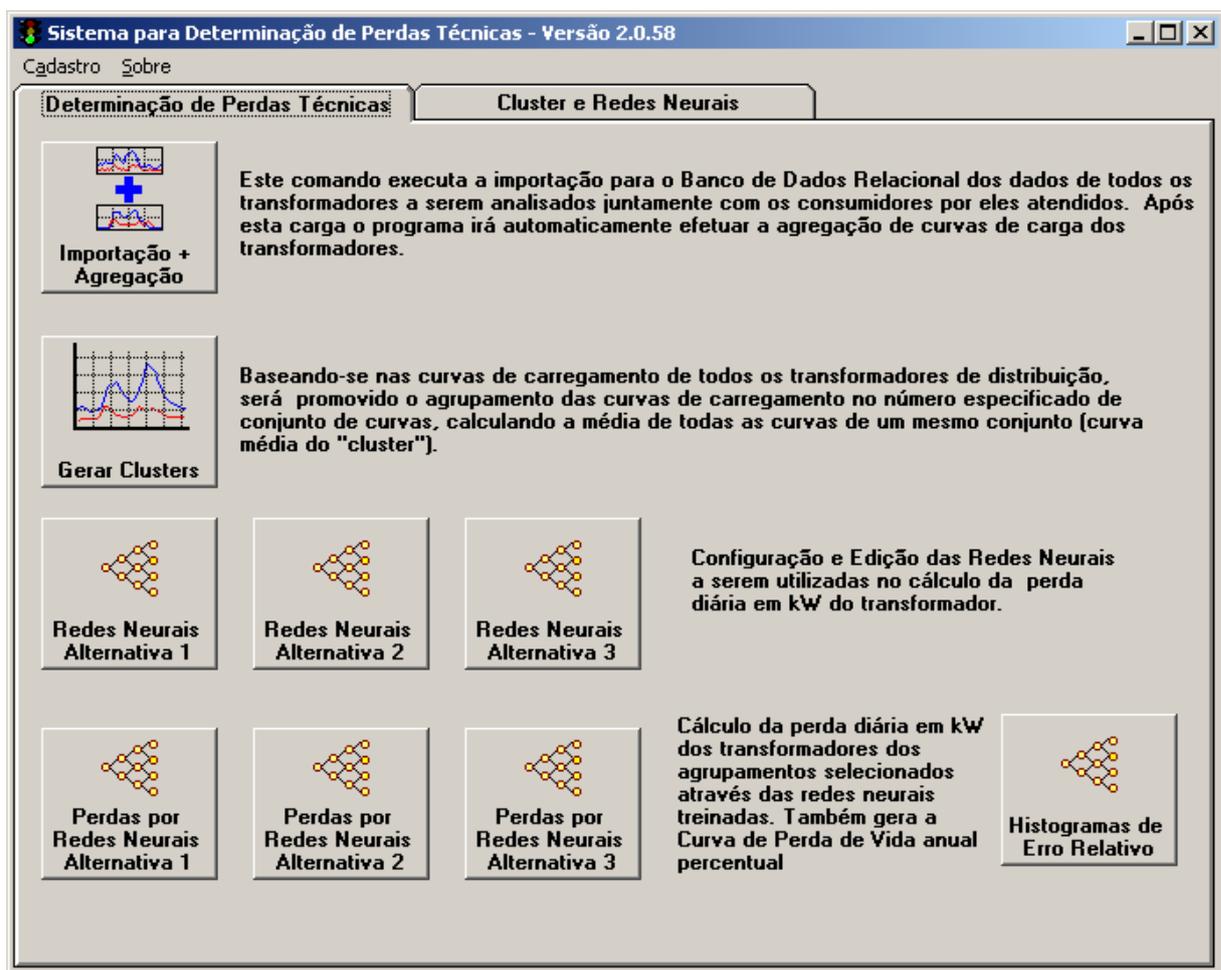


Figura 3.11 - Menu Principal

Ao clicar no botão “Perdas por Redes Neurais”, o programa irá solicitar ao usuário, por meio da tela da Figura 3.12, que escolha por qual conjunto de redes neurais deseja que as perdas sejam calculadas.

O sistema oferece alternativas para efetuar os cálculos por RNA de grupos de transformadores de mesma característica ou para todos juntos.

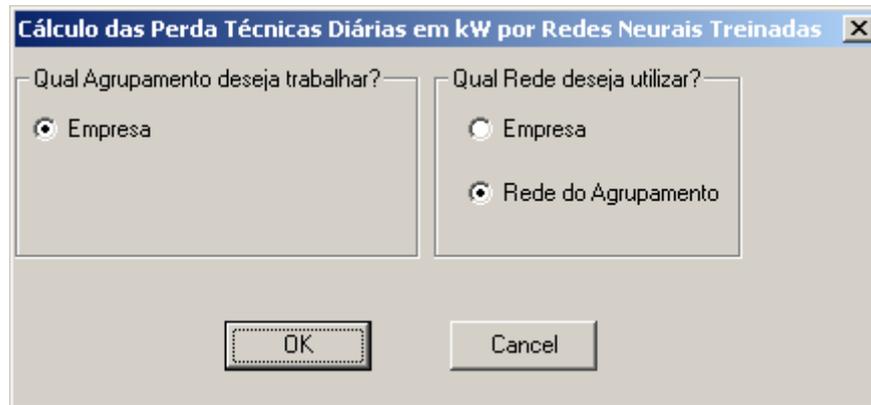


Figura 3.12 - Tela do Cálculo de Perdas Técnicas por Redes Neurais Treinadas

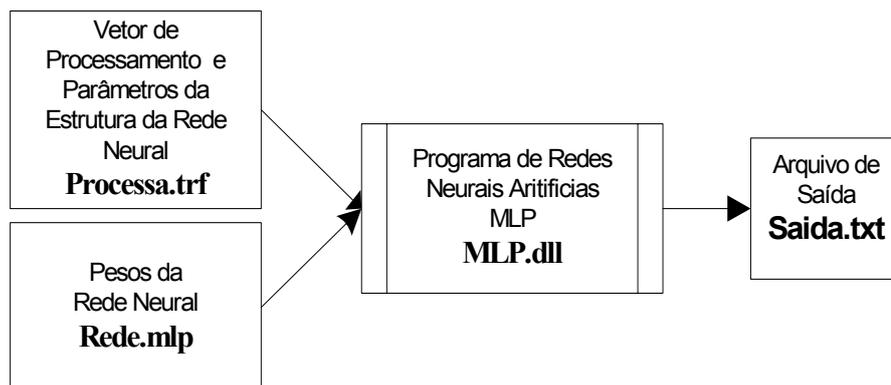


Figura 3.13 - Esquemático do Processamento da Rede Neural

Conforme mostra o esquemático da Figura 3.13, para cada um dos elementos do agrupamento selecionado, o programa irá executar os seguintes passos:

- Criação do arquivo “Processa.trf”, contendo a curva de carregamento do transformador;
- O arquivo contendo a rede neural treinada, com o nome de “Rede.mlp”;
- Processamento da rede neural;
- Importação de $\Delta Perda$ resultante do arquivo de saída “Saída.txt” para o banco de dados relacional;
- Cálculo da perda média diária com os valores r_{pu} e S_{nom} , conforme a Equação 3.14.

3.4.7.4 Agrupamento das Curvas de Carregamento de Transformadores (Clusterização)

O cálculo das perdas Joule, num transformador de distribuição, pode ser feito treinando uma única rede com os dados de uma amostra de todos os transformadores.

Entretanto, espera-se conseguir uma melhor precisão, se forem treinadas várias redes, uma para cada grupo de transformadores com a mesma característica, por exemplo, semelhança da curva de carregamento, em pu, de sua potência nominal.

Nesse caso, é preciso determinar quantos grupos serão necessários e, portanto, o número de redes neurais. Isso é feito a partir de técnica de agrupamento (ou *Cluster Analysis*), que, por sua vez, apresenta muitas alternativas de cálculo.

Denomina-se agrupamento, clusterização ou *Cluster Analysis*, o processo de agrupar objetos similares em grupos tais que os objetos dentro de um grupo sejam similares e os objetos entre os diferentes grupos sejam significativamente diferentes em suas características.

Em *Cluster Analysis*, é desejável que as distâncias euclidianas entre os vetores (objetos) dentro de um *cluster* (grupo) sejam pequenas e que as distâncias entre diferentes *clusters* sejam grandes.

A metodologia do “K-Médias” serve para segmentar a base de dados com o uso da distância euclidiana quadrática para determinação da similaridade entre os objetos e baseando-se no conceito estatístico do centróide para formação de grupos cujos elementos tenham a mais alta similaridade entre si e a mais baixa similaridade em relação aos elementos dos outros grupos.

A determinação automática do número de grupos é uma tarefa delicada e feita por tentativas sucessivas, ou seja, para que seja determinado o número ótimo de grupos, a base é dividida inicialmente em dois grupos, depois, em três e assim sucessivamente até alcançar o número máximo de grupos pretendido pelo usuário.

Existem técnicas diversas capazes de avaliar a qualidade do resultado final de uma segmentação de dados, por exemplo: o método de Calinski e Harabasz estabelece o cálculo de um índice em função de k ; o Critério de Condorcet, que faz a comparação entre pares de registros, e o CCC-*Cubic Clustering Criterion*, baseado no método de Monte Carlo. Esses critérios podem ser vistos em detalhes em [53].

Essa metodologia de agrupamento por “K-Médias” irá encontrar k grupos (k é escolhido *a priori*) em que a variância dos objetos dentro de cada grupo é mínima. Cada grupo é

identificado por um valor chamado de centróide do grupo. Abaixo são apresentados os passos envolvidos nesse algoritmo:

1. Determinar os k sementes iniciais dos grupos, segundo algum critério, por exemplo, aleatoriamente dentro do espaço dos objetos ou de acordo com alguma heurística. Calcular seus centróides.
2. Calcular a distância entre cada objeto e o centróide de cada grupo já definido.
3. Alocar o objeto ao grupo cuja distância ao seu centróide seja a menor.
4. Dependendo da opção utilizada, cada vez que um objeto for designado a um grupo, a semente do agrupamento é atualizada, ou seja, os centróides dos grupos são recalculados a partir dos objetos alocados. Este método é chamado de incremental, *on-line* ou treinamento adaptativo.
5. Repetir os passos de 2 a 4 até que algum critério de convergência seja atingido, ou seja, quando nenhum objeto puder ser reatribuído nos *clusters*, ou o número máximo de iterações seja atingido.

Existem algumas dificuldades com o “K-Médias”, tais como: a composição dos grupos é muito sensível às sementes iniciais. Para diferentes sementes, podem-se ter diferentes tipos de *clusters*. Não há garantia de convergência para uma solução ótima. E algumas vezes é difícil escolher um bom número de grupos antes de analisar os dados.

O procedimento *FastClus* (do programa SAS) combina um método para encontrar as sementes iniciais dos agrupamentos com um algoritmo iterativo (“K-Médias”) para minimizar a soma quadrática das distâncias euclidianas aos centróides. Esse método apresenta resultados satisfatórios para grandes quantidades de dados.

O agrupamento é baseado na distância euclidiana calculada para uma ou mais variáveis numéricas. Se o procedimento *FastClus* atingir a convergência completa, as sementes finais dos *clusters* serão iguais aos centróides. Se o procedimento terminar antes da convergência, o que freqüentemente ocorre com as opções padrão, as sementes finais dos *clusters* podem não ser iguais aos centróides.

No caso de se desejar convergência completa, a opção CONVERGE=0 deverá ser especificada, juntamente com um valor máximo de iterações grande (MAXITER= 10000). Pode-se

especificar o número máximo de agrupamentos utilizando a opção MAXCLUSTERS, bem como a distância máxima pela qual as sementes dos *clusters* deverão ser separadas (RADIUS).

Para o cálculo das perdas Joule nos transformadores, estes serão divididos em agrupamentos por semelhança (*clusters*). Será treinada uma rede para cada *cluster* e uma para todos os transformadores (também referenciada como “empresa” ou “E000”).

Tal como em [11], a variável de agrupamento que será utilizada no processo de clusterização será a “curva composta”, exibida na Figura 3.1. Para a obtenção dos conjuntos de carregamentos típicos dos transformadores, fez-se uso do procedimento *FastClus* do SAS versão SAS 8.2 [11].

Neste estudo, o objetivo é separar essas curvas em diferentes grupos, para que, com as curvas de carga dos transformadores e suas respectivas perdas, sejam utilizadas no treinamento das redes neurais. Portanto, as sementes finais e os centróides dos agrupamentos terão importância apenas na fase do agrupamento, e não nos passos posteriores do estudo.

A metodologia empregada neste trabalho para o agrupamento em *clusters*, para sua utilização no treinamento de RNAs, é basicamente a seguinte:

- Uma vez extraído o arquivo com todas as curvas “compostas” dos transformadores do banco de dados e devidamente adicionados os comandos específicos de “clusterização” do SAS, esse arquivo é inserido no SAS e submetido a sua execução.
- Inicialmente, o procedimento *FastClus* combina e determina as sementes iniciais dos *clusters*. Como resultado, n curvas médias são escolhidas, sendo, então, denominadas como sementes dos *clusters* (*seed clusters*), em que n é igual ao número de *clusters* em que se deseja dividir o conjunto estudado.
- Em seguida, cada curva composta (observação) do universo de transformadores é comparada com a semente de cada *cluster* e alocada naquele que apresentar maior semelhança (menor distância euclidiana).
- Optou-se por utilizar no SAS a opção *DRIFT* do *FastClus*, para que, a cada vez que uma curva for alocada em um dado *cluster*, o programa atualize a semente do *cluster* calculando a nova curva média entre as curvas alocadas no referido *cluster*. Esse método também é conhecido como treinamento incremental, *on-line* ou adaptativo. Essa nova semente *cluster* será utilizada para a próxima iteração; o processo, então, é repetido para todas as curvas que se pretenda agregar.

- Terminada a distribuição de todos os transformadores nos vários *clusters*, todo o processo é repetido novamente. Partindo da última semente, o processo continua até que não haja mudança na composição dos *clusters* em duas iterações sucessivas, ou até que seja atingido o número máximo de iterações previamente definido.
- Concluída a distribuição das curvas nos *clusters*, o programa calcula a curva “composta” (média e desvio-padrão) para cada *cluster*, passando a ser essa curva a representativa daquele *cluster*.

As sementes resultantes são armazenadas em uma tabela do banco de dados relacional. Uma vez que o programa SAS realiza uma identificação individual de quais transformadores pertencem a cada *cluster* gerado, tais informações como o número patrimonial do transformador, a distância à semente do *cluster* e a identificação do *cluster* ao qual pertence o transformador são armazenadas em uma tabela no banco de dados.

O agrupamento é feito inicialmente para definir a quantidade de transformadores pertencentes e as curvas média e desvio-padrão características de cada *cluster*. Para processamentos futuros, quando a curva do transformador variar, o primeiro passo será verificar em qual *cluster* ele irá se enquadrar, sem a necessidade de gerar novos *clusters*. Para realizar essa identificação, foi necessário criar uma rotina em *Microsoft Visual Basic.NET 2005*.

Cada transformador tem a sua curva de carregamento (média e desvio-padrão) comparada com a média dos *clusters* resultantes, pelo método da distância euclidiana. Uma vez identificado qual *cluster* possui a menor distância euclidiana, a identificação do *cluster* ao qual ele pertence será armazenado na tabela apropriada. Após repetir esse procedimento para cada um dos transformadores da concessionária, todos os *clusters* e seus respectivos transformadores terão sido identificados.

3.5 Formulação do Cálculo das Perdas Joule no Circuito Primário

Num dado trecho (de “m” para “n”) do circuito primário, o cálculo de perda média diária é feito seguindo os seguintes passos:

- Agregação das curvas de carga de todos os transformadores a jusante do ponto n;
- Cálculo da perda média diária (em kW) utilizando a equação 3.16:

$$Perda_{m,n} = \frac{r_{m,n}}{96} \sum_{j=1}^{11} \text{ProbPhi}(j) * \sum_{k=1}^{96} \left(\frac{P_j(k)}{V_{\theta\theta}} \right)^2 \quad (3.16)$$

Em que:

$r_{m,n}$: resistência do trecho em ohms;

P_j : potência passante;

$V_{\theta\theta}$: tensão fase-fase.

Para maior precisão, deveriam ser incluídas na curva de carga dos transformadores de distribuição as suas perdas Joule no ferro.

3.6 Formulação do Cálculo das Perdas no Transformador AT/MT e nos Transformadores de Consumidores A4 em AT

O mesmo procedimento usado para os transformadores de distribuição trifásicos pode ser utilizado para o cálculo das perdas Joule nos transformadores AT/MT, agregando as curvas de carga dos circuitos primários e adicionando suas perdas série.

Muitas vezes a concessionária dispõe das curvas diárias de carga nesse transformador, recolhidas por medição com armazenamento automático de informações. Nesse caso, o cálculo da perda pode ser feito com mais exatidão utilizando essas curvas de carga diária medidas e calculando as perdas para cada uma delas, como feito para uma “curva estratificada”.

Para os transformadores de consumidores em AT, o cálculo pode ser feito pelas curvas diárias medidas, obtendo-se, assim, melhor precisão.

3.7 Formulação do Cálculo das Perdas na Rede Secundária

O procedimento poderá ser semelhante aos demais, desde que se possa ter acesso às distâncias na rede secundária e às fases em que os consumidores estão ligados.

Nota: para maior precisão, no cálculo das perdas nos transformadores de distribuição, as perdas da rede secundária deveriam ser agregadas à curva de carregamento do transformador de distribuição obtidas pela agregação das curvas de carga dos consumidores a ele ligados.

Capítulo 4

4 Simulações

Neste capítulo, a metodologia de cálculo é aplicada a um estudo de caso. Esse caso é composto de 61.485 transformadores de distribuição pertencentes à Empresa Bandeirante de Energia e CPFL Piratininga, com dados de abril de 2001.

4.1 Cálculo das Curvas de Carga dos Transformadores de Distribuição

Com base nas informações contidas na base de dados corporativos, identificando para cada transformador seus dados (perdas nominais) e características dos consumidores a ele ligados (tipo, energia mensal), foi possível calcular a sua curva de carregamento (m, s). Estes valores foram normalizados pela potência nominal do transformador.

Observou-se que muitos transformadores estavam subcarregados (valor de ponta da curva média abaixo de 10% da potência nominal do transformador). Alguns poucos estavam bastante sobrecarregados (ponta de 3 pu da nominal) podendo indicar problema do sistema de gerenciamento ou erro de dados.

A quantificação destes fatos apareceu a seguir, na fase de clusterização (definição dos agrupamentos). Nessa fase, são também calculadas as perdas nos transformadores de distribuição pelo “método analítico”. Portanto, essa fase é composta pelas seguintes etapas:

1. Inserção na base das Curvas Típicas de Consumo por atividade;
2. Inserção do consumo de todos os consumidores na base de dados da concessionária discriminando suas atividades e o transformador a que estão conectados;
3. Cálculo das curvas de carregamento dos transformadores em p.u. de sua potência nominal, com valores de carregamento a cada hora;
4. Cálculo de perdas e $\Delta Perda$ no cobre, pelo “método analítico”, para todos os transformadores.

4.2 Determinação dos Agrupamentos

Para a aplicação da metodologia proposta, é preciso inicialmente avaliar as semelhanças entre as curvas de carga dos transformadores. Para tal, é feita uma análise de agrupamento (clusterização), particularmente, neste caso, usando o programa SAS e o método *FastClus*.

Para o conjunto de transformadores, foram realizados agrupamentos com 6, 10, 20 e 30 *clusters*. As Tabelas 4.1 a 4.3 apresentam o resultado desses processamentos.

Observa-se:

- Identificação do *cluster*;
- Frequência – Número de curvas de carga de transformadores no *cluster*;
- Distância da curva mais distante da semente do *cluster*;
- O *cluster* mais próximo de cada um deles;
- A distância entre a semente de um *cluster* e a semente do *cluster* mais próximo.

Tabela 4.1 - Resultados da Simulação em 6 Conjuntos de Curvas

<i>Cluster</i>	Frequência	Raiz quadrada do desvio-padrão médio	Distância máxima de uma curva à semente	<i>Cluster</i> mais próximo	Distância entre a curva média do <i>cluster</i> e a do <i>cluster</i> mais próximo
1	22044	0,12	13,62	3	3,05
2	1		0,00	5	54,28
3	39377	0,06	3,93	1	3,05
4	1		0,00	2	393,64
5	1		0,00	6	52,27
6	61	1,03	42,12	1	17,88

Tabela 4.2 - Resultados da Simulação em 10 Conjuntos de Curvas

<i>Cluster</i>	Frequência	Raiz quadrada do desvio-padrão médio	Distância máxima de uma curva à semente	<i>Cluster</i> mais próximo	Distância entre a curva média do <i>cluster</i> e a do <i>cluster</i> mais próximo
1	25060	0,03	1,82	6	1,47
2	1		0,00	7	39,11
3	1		0,00	7	46,81
4	13584	0,07	7,49	6	1,54
5	13	1,03	20,25	9	25,55
6	16579	0,06	4,38	1	1,47
7	3	1,04	12,39	5	32,08
8	1		0,00	3	393,64
9	638	0,30	19,95	10	4,12
10	5605	0,10	7,63	4	1,92

Tabela 4.3 - Resultados da Simulação em 20 Conjuntos de Curvas

<i>Cluster</i>	Frequência	Raiz quadrada do desvio-padrão médio	Distância máxima de uma curva à semente	<i>Cluster</i> mais próximo	Distância entre a curva média do <i>cluster</i> e a do <i>cluster</i> mais próximo
1	20332	0,02	1,33	14	0,98
2	3	0,27	4,08	17	20,06
3	8175	0,04	2,51	18	1,14
4	1		0,00	11	19,97
5	5	0,58	12,39	17	17,97
6	1		0,00	7	16,98
7	15	0,56	14,27	13	13,25
8	4432	0,06	3,41	3	1,37
9	1		0,00	15	393,64
10	1425	0,09	5,33	8	1,99
11	1		0,00	6	19,04
12	4420	0,06	3,02	14	1,09
13	168	0,28	12,02	10	4,76
14	9878	0,03	1,53	1	0,98
15	1		0,00	4	42,13
16	2422	0,09	5,26	3	1,81
17	3	0,42	6,41	5	17,97
18	9767	0,04	2,40	3	1,14
19	434	0,19	11,22	16	3,34
20	1		0,00	11	32,10

Adotou-se como critério que a clusterização é considerada boa quando a raiz quadrada do desvio-padrão médio das curvas à semente de seu *cluster* é menor que a distância desse *cluster* ao *cluster* mais próximo. Esse critério acaba sendo adequado, uma vez que a raiz quadrada do desvio-padrão médio mede a dispersão entre as curvas e o centróide do agrupamento.

Com a divisão em 30 *clusters*, Tabela 4.4, observou-se que o critério de qualidade proposto apresenta os melhores valores. Entretanto, existem muitos *clusters* para serem treinados, sendo que muitos desses apresentam uma baixa quantidade de curvas, o que não iria permitir um treinamento adequado de uma rede neural nem para si, nem sua ausência iria deteriorar o cálculo da perda global. Conseqüentemente, a partir dos resultados do agrupamento em 30 *clusters*, foram pré-selecionados os *clusters* com maior número de curvas representativas (frequência maior que 100 curvas).

Tabela 4.4 - Resultados da Simulação em 30 Conjuntos de Curvas

<i>Cluster</i>	Frequência	Raiz quadrada do desvio-padrão médio	Distância máxima de uma curva à semente	<i>Cluster</i> mais próximo	Distância entre a curva média do <i>cluster</i> e a do <i>cluster</i> mais próximo
1	18314	0,02	0,94	24	0,89
2	2	0,38	3,69	5	12,12
3	1		0,00	7	19,97
4	2778	0,06	2,15	17	1,31
5	2	0,06	0,58	16	10,77
6	2	0,26	2,59	8	8,54
7	1		0,00	20	19,04
8	9	0,38	7,85	6	8,54
9	3	0,42	6,41	12	15,76
10	174	0,16	5,31	13	2,38
11	1		0,00	22	393,64
12	50	0,29	9,01	21	6,59
13	1336	0,09	3,84	4	1,95
14	4770	0,04	1,48	24	0,81
15	1		0,00	7	32,10
16	201	0,22	7,46	13	4,35
17	475	0,08	2,29	4	1,31
18	5705	0,05	2,54	29	1,08
19	1		0,00	28	14,64
20	1		0,00	8	15,65
21	671	0,11	7,24	30	2,39
22	1		0,00	3	42,13
23	8543	0,04	2,39	29	1,00
24	8075	0,03	1,55	14	0,81
25	1		0,00	26	11,42
26	1		0,00	28	6,79
27	3	0,27	4,08	9	20,06
28	3	0,29	3,75	26	6,79
29	7612	0,04	2,31	23	1,00
30	2748	0,07	4,01	18	1,48

São, portanto, *a priori*, eliminados os *clusters* 2, 3, 5 a 9, 11, 12, 15, 19, 20, 22 e 25 a 28, sobrando os demais (marcados em negrito na Tabela 4.4).

Os *clusters* 1, 14 e 24 são bastante próximos (a distância euclidiana entre as sementes é menor que 0,9). Decidiu-se que, como o *cluster* 1 possui o maior número de elementos, este permanecerá. A mesma situação se aplica aos *clusters* 23 e 29, sendo o *cluster* 29 eliminado. Sobraram, portanto, os *clusters* 1, 4, 10, 13, 16, 17, 18, 21, 23 e 30.

Para efeito deste trabalho, os *clusters* que permanecem serão renomeados como *clusters* 1 a 10, e suas sementes serão utilizadas como sementes de um novo processamento, em que tais sementes não serão mais alteradas com a inclusão de uma nova curva no *cluster*. A Tabela 4.5

apresenta o resultado quantitativo, e a Tabela 4.6 apresenta um resumo qualitativo referente aos resultados da simulação nos 10 novos conjuntos de *clusters*.

Tabela 4.5 - Resultados da Simulação em 10 Conjuntos de Curvas

<i>Cluster</i>	Frequência	Raiz quadrada do desvio-padrão médio	Distância máxima de uma curva à semente	<i>Cluster</i> mais próximo	Distância entre a curva média do <i>cluster</i> e a do <i>cluster</i> mais próximo
1	26120	0,03	1,35	6	1,53
2	3204	0,06	2,30	6	1,22
3	197	0,18	10,50	4	2,38
4	1509	0,11	4,66	2	2,12
5	109	3,29	454,66	8	13,50
6	1931	0,06	2,43	2	1,22
7	9820	0,05	2,59	2	1,58
8	596	0,22	37,33	10	3,23
9	14698	0,05	2,40	2	1,32
10	3301	0,07	4,01	7	1,88

Tabela 4.6 - Resultados da Simulação em 10 Conjuntos de Curvas

Código do <i>cluster</i>	Frequência de ocorrência	Característica típica	Comentários
CE000SE000001	26120	Comercial/ Residencial	Potência praticamente constante durante horário comercial (0,05 p.u. às 13h00min) caracterizando uma área comercial, mas 0,07 p.u. às 20h30, característica de área residencial
CE000SE000002	3204	Comercial/ Industrial	Potência praticamente constante durante horário comercial (0,38 p.u. às 13h00min)
CE000SE000003	197	Comercial/ Industrial	0,97 p.u. de ponta às 10h00min, com ligeiro decréscimo às 11h45min e baixa carga fora do horário comercial, típico de área industrial
CE000SE000004	1509	Comercial/ Industrial	Potência praticamente constante durante horário comercial (0,67 p.u. às 13h00min)
CE000SE000005	109	Comercial/ Industrial	Potência praticamente constante durante horário comercial (2,77 p.u. às 13h00min)
CE000SE000006	1931	Comercial/ Industrial	Potência praticamente constante durante horário comercial com decréscimo durante almoço (0,28 p.u. às 13h00min)
CE000SE000007	9820	Residencial	0,74 p.u. de ponta às 20h50min, variando entre 0,15 e 0,40 fora da ponta, caracterizando área residencial
CE000SE000008	596	Residencial	1,77 p.u. de ponta às 20h50min, variando entre 0,38 e 0,90 fora da ponta, caracterizando área residencial
CE000SE000009	14698	Residencial	0,42 p.u. de ponta às 20h50min, variando entre 0,10 e 0,23 fora da ponta, caracterizando área residencial
CE000SE000010	3301	Residencial	1,13 p.u. de ponta às 20h50min, variando entre 0,21 e 0,58 fora da ponta, caracterizando área residencial
Total	61485		

As sementes finais (curva média e desvio-padrão) obtidas desse processamento são as representadas nas Figuras 4.1 a 4.10.

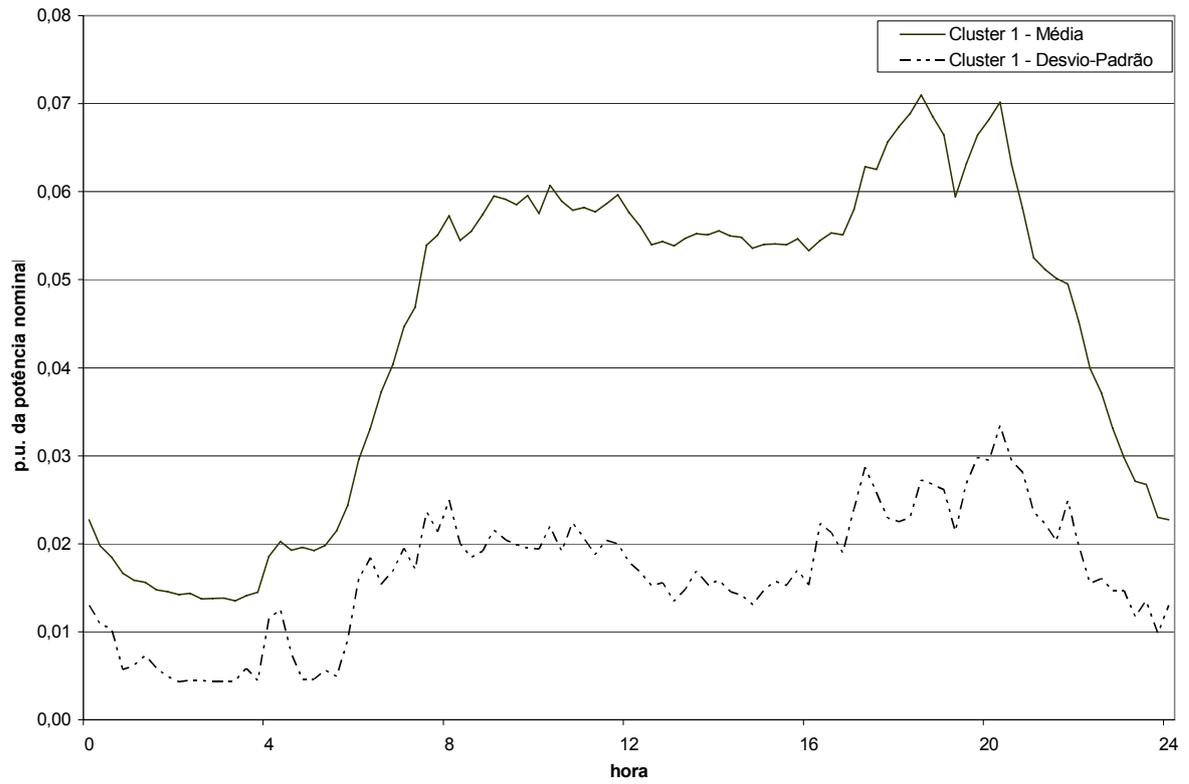


Figura 4.1 - Carregamento do *Cluster 1*, Freq.: 26.120, Tipo Comercial e Residencial

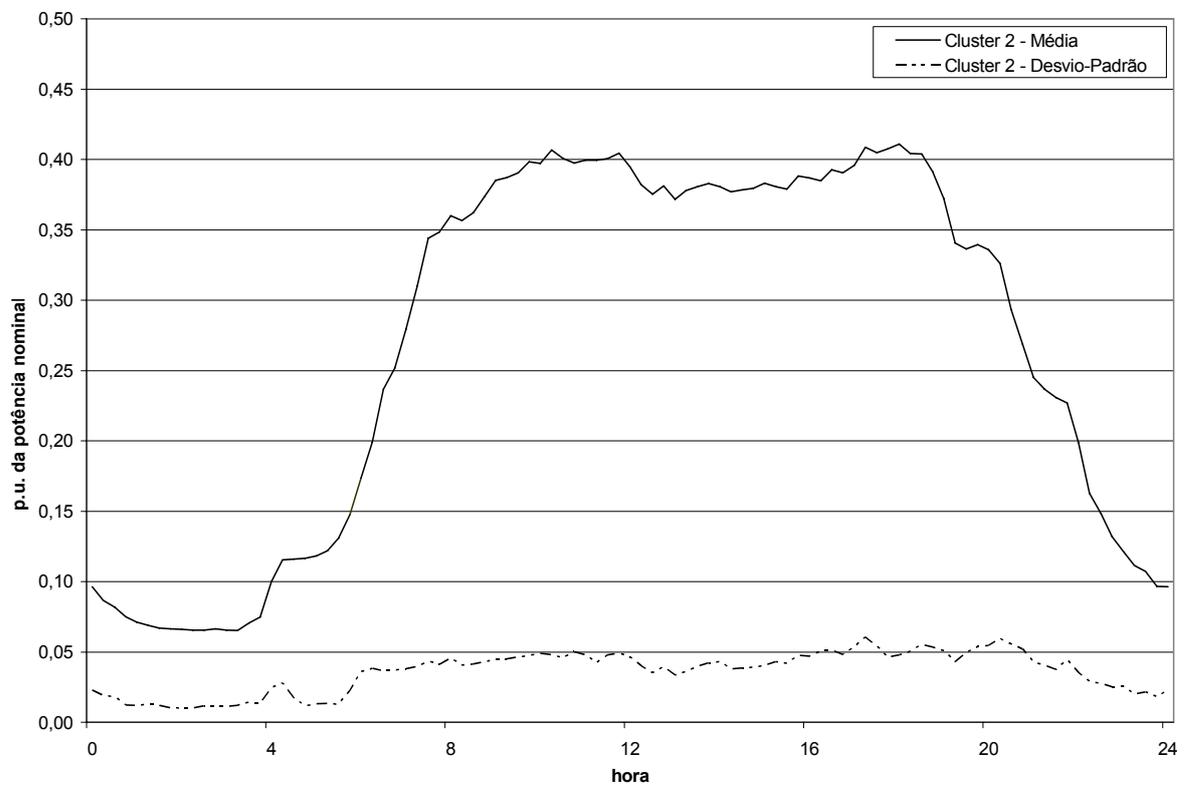


Figura 4.2 - Carregamento do *Cluster 2*, Freq.: 3.204, Tipo Comercial e Industrial

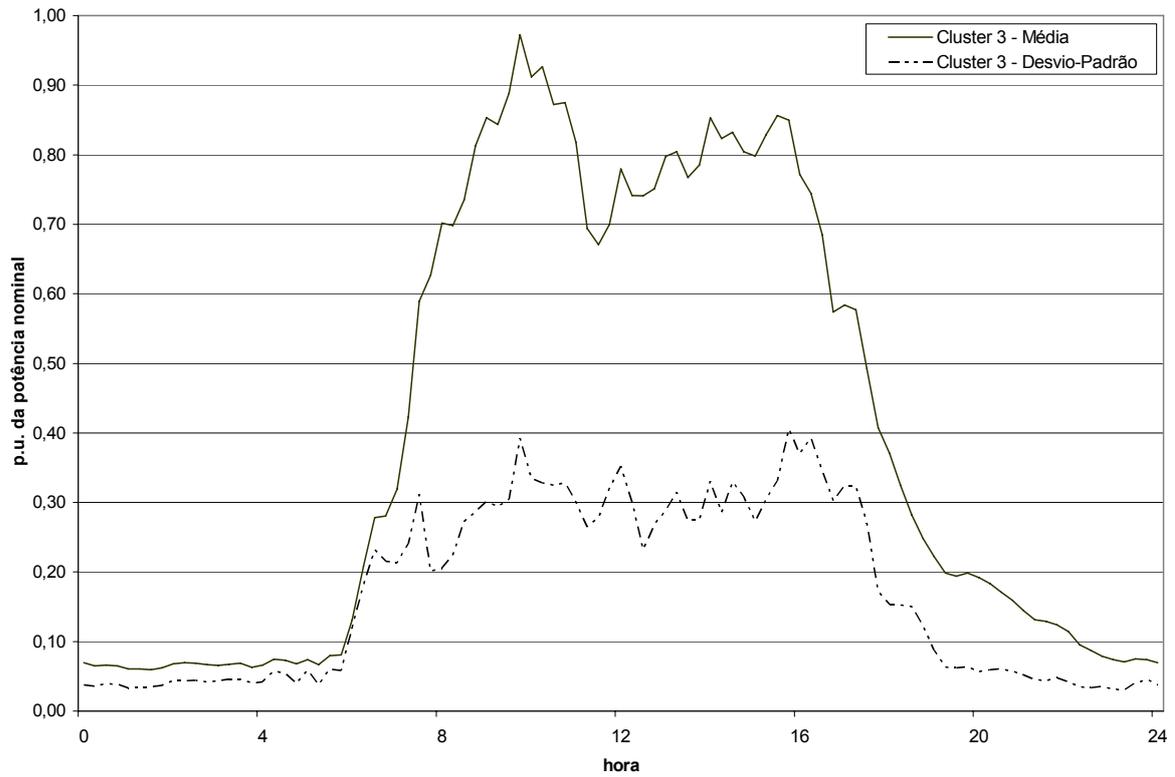


Figura 4.3 - Carregamento do *Cluster 3*, Freq.: 197, Tipo Comercial e Industrial

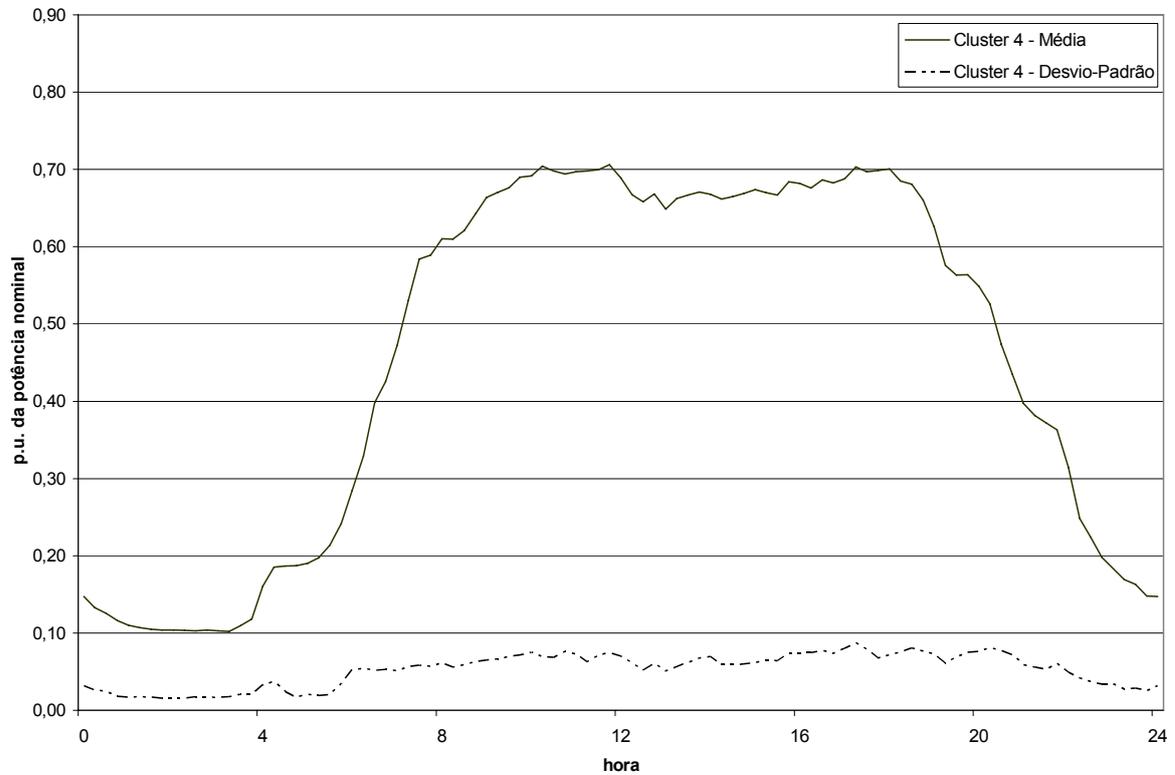


Figura 4.4 - Carregamento do *Cluster 4*, Freq.: 1.509, Tipo Comercial e Industrial

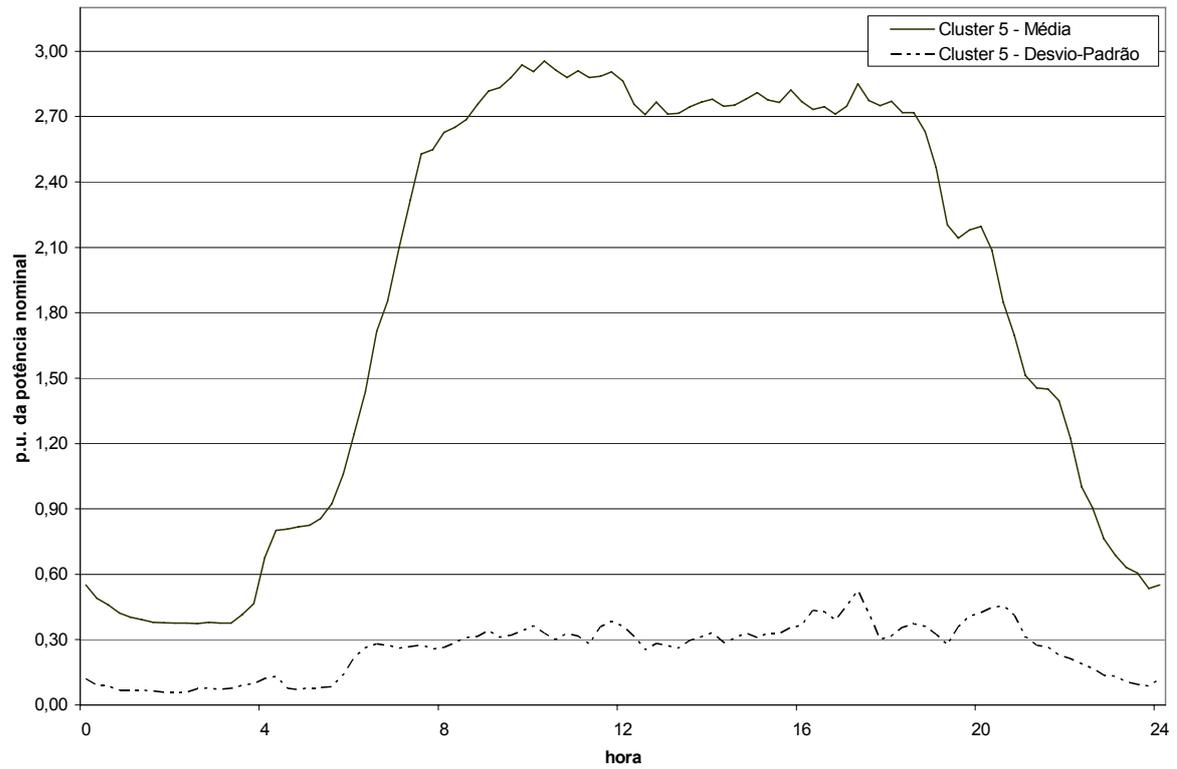


Figura 4.5 - Carregamento do *Cluster 5*, Freq.: 109, Tipo Comercial e Industrial

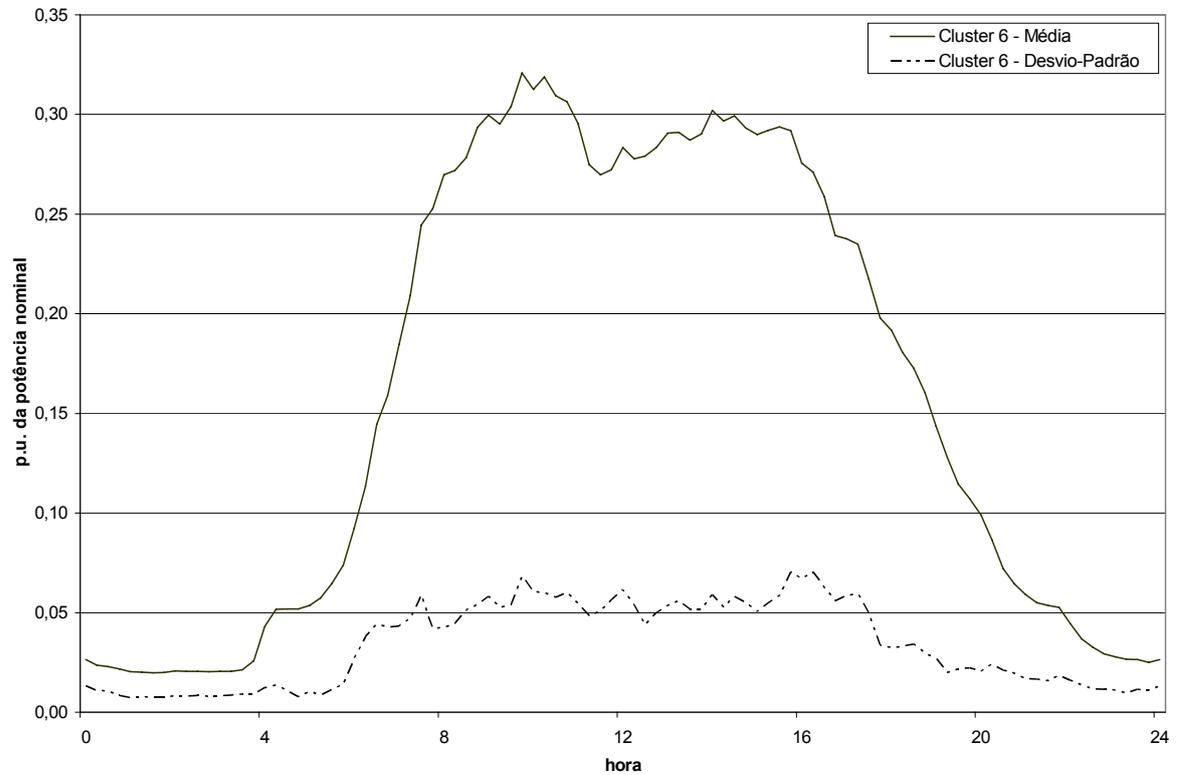


Figura 4.6 - Carregamento do *Cluster 6*, Freq.: 1.931, Tipo Comercial e Industrial

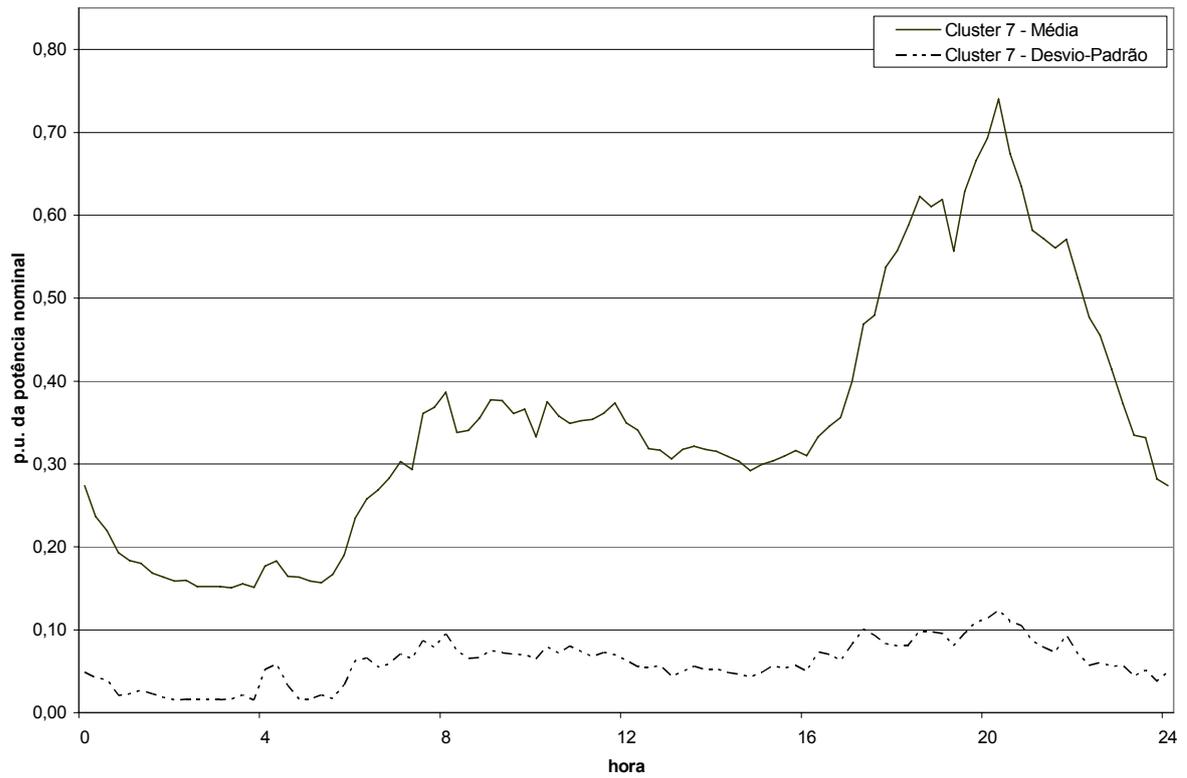


Figura 4.7 - Carregamento do *Cluster 7*, Freq.: 9.820, Tipo Residencial

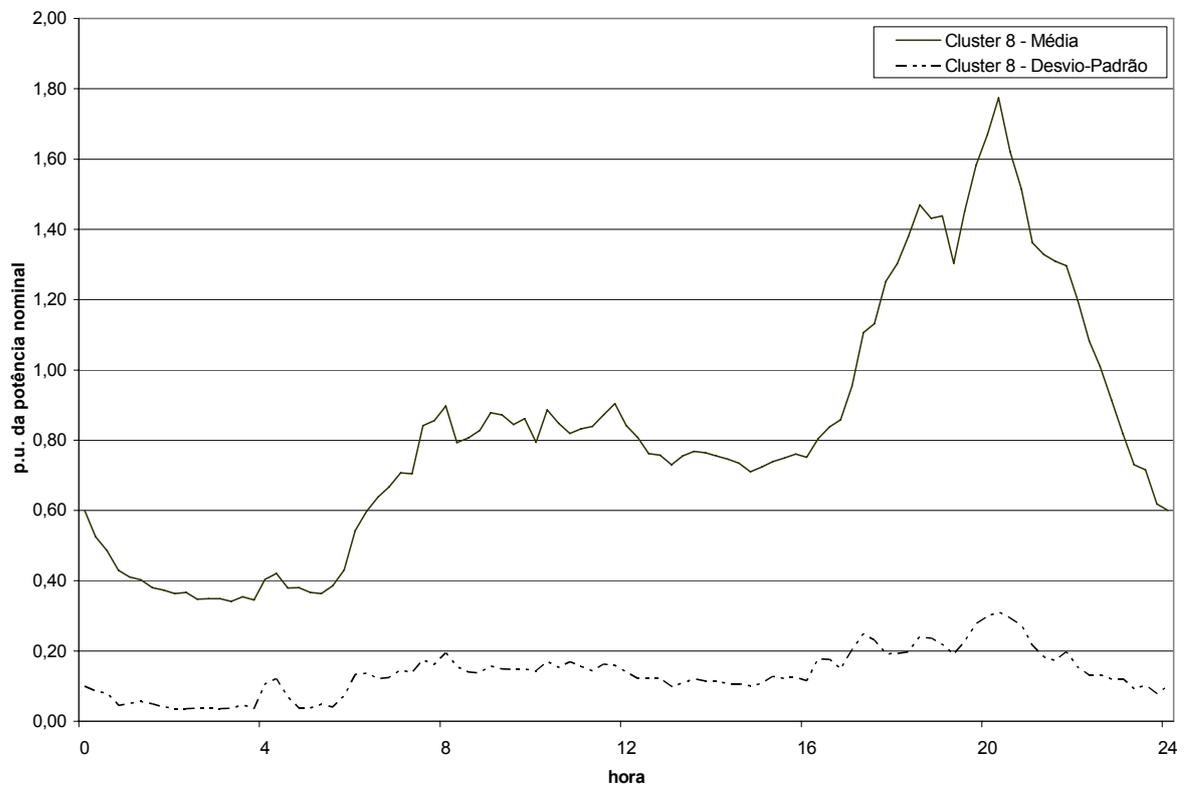


Figura 4.8 - Carregamento do *Cluster 8*, Freq.: 596, Tipo Residencial

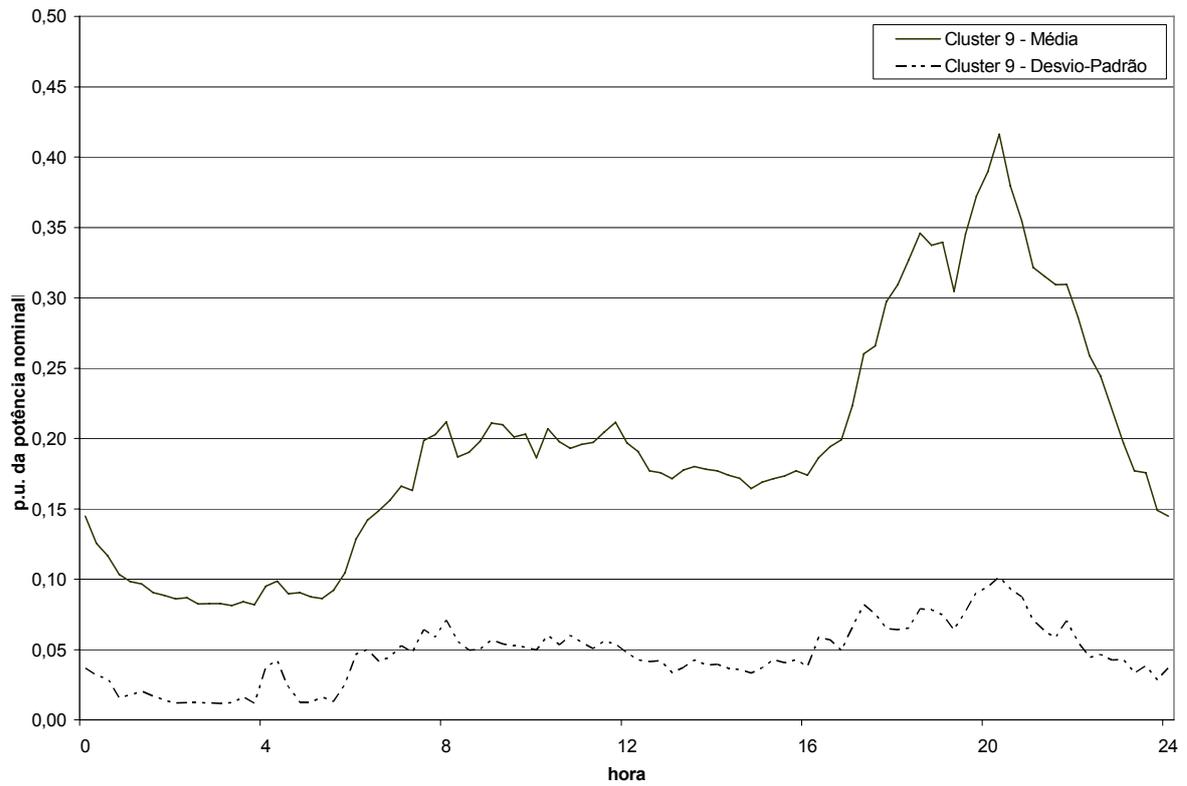


Figura 4.9 - Carregamento do *Cluster 9*, Freq.: 14.698, Tipo Residencial

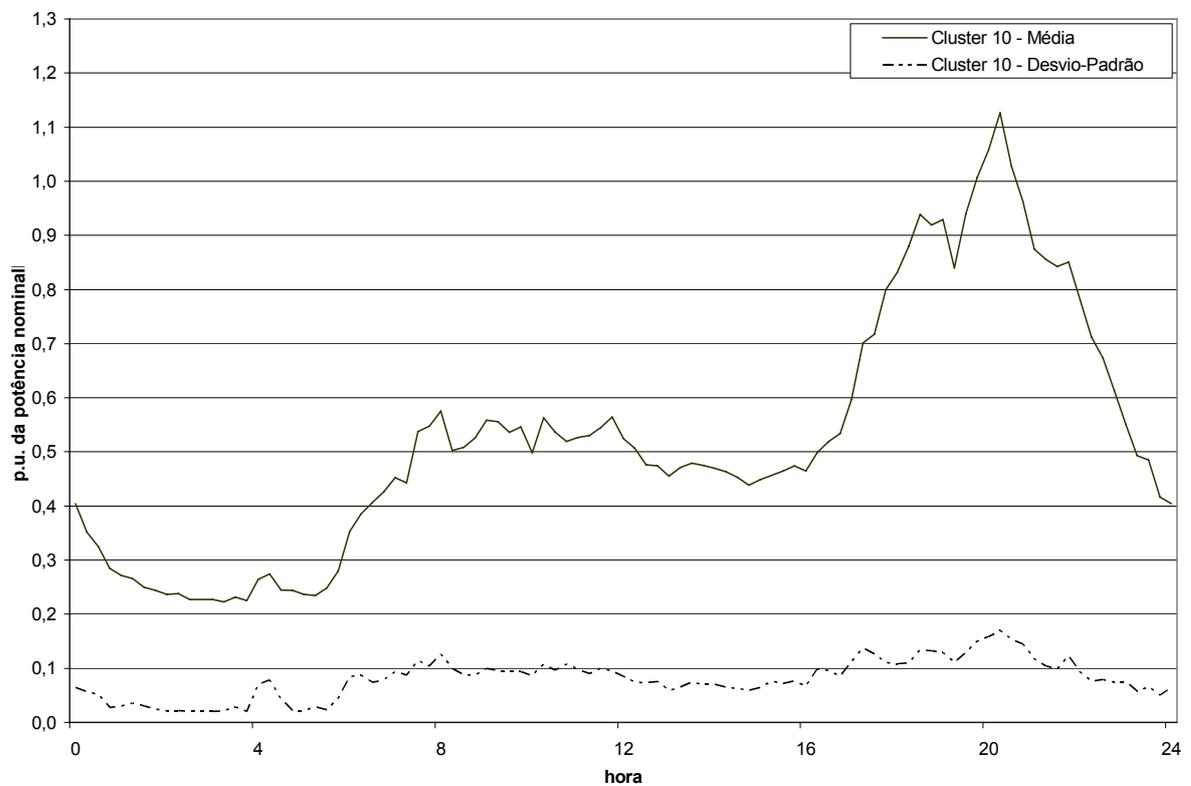


Figura 4.10 - Carregamento do *Cluster 10*, Freq.: 3.301, Tipo Residencial

Na Figura 4.11, apresentam-se a curva média do *cluster* 10 e um conjunto de curvas médias de outros 28 transformadores, de forma a se observar a qualidade do agrupamento obtido.

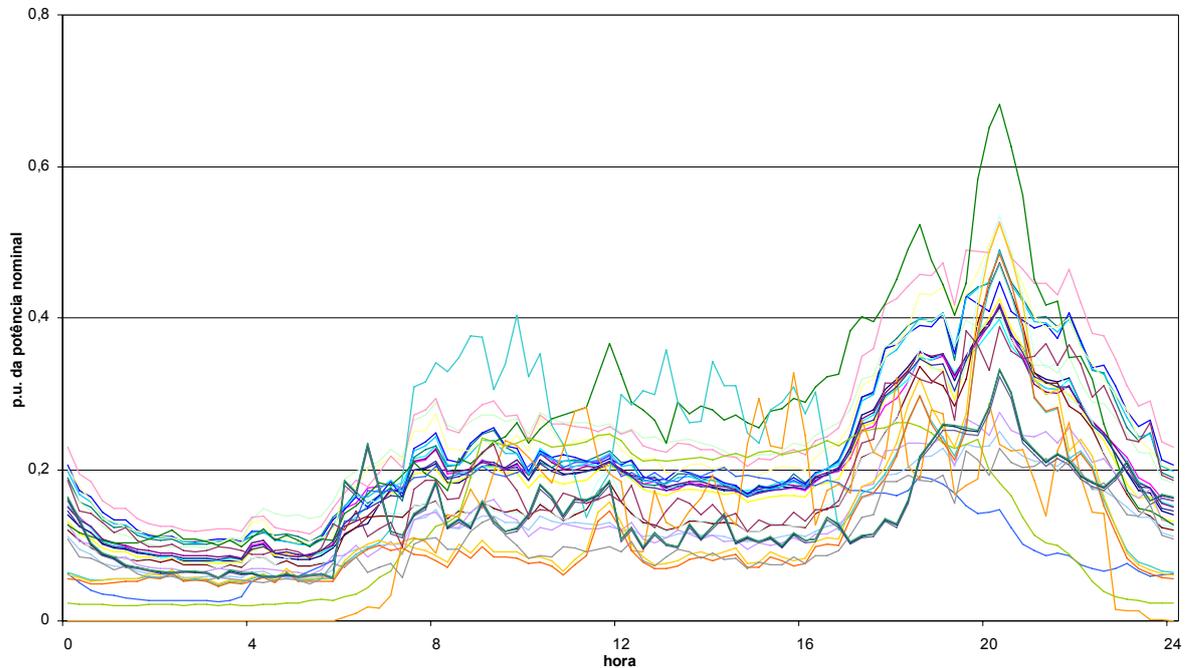


Figura 4.11 - Carregamento do *Cluster* 10, Freq.: 3.301, Tipo Residencial

Analisando-se essas curvas (Figuras 4.1 a 4.10), por meio de inspeção visual, verificam-se algumas características relativas aos carregamentos dos transformadores, podendo ser citados como exemplos:

- Todas as curvas alocadas nos 10 *clusters* apresentaram desvio-padrão com valores baixos relativamente aos valores das médias (nos *clusters*) dos respectivos carregamentos, com exceção dos *clusters* 1 e 3, que apresentam ligeira elevação nos valores de desvio durante os períodos compreendidos entre 8 horas da manhã e 23h45min da noite.
- A curva de carregamento correspondente ao *cluster* 1 apresenta um comportamento com características residenciais e comerciais, representando 26.120 transformadores.
- As curvas dos carregamentos correspondentes aos *clusters* 2 a 6 apresentam comportamento com características comerciais e industriais, com um carregamento praticamente constante durante o horário de funcionamento da atividade e uma pequena diminuição do carregamento no horário de almoço, representando o total de 6.950 transformadores.

- A maior parte dos transformadores apresenta carregamento típico de atendimento à região predominantemente residencial, com a curva apresentando uma ponta de carga no início do período noturno, conforme *clusters* 7 a 10 (representando o total de 28.415 transformadores ou 46,21% do total). A curva do *cluster* 8 apresenta ponta de carga bem acentuada, relativamente ao restante do período.

Do processo de “clusterização”, pode-se concluir que:

- 42,48% dos transformadores estão operando em nível de carregamento extremamente baixo, representados pelo *cluster* 1. Esse *cluster* representa os transformadores com carregamento misto, do tipo comercial e residencial, que estão operando praticamente em vazio na rede de distribuição, podendo ser utilizados para futura realocação durante uma expansão do sistema.
- 46,21% dos transformadores possuem carregamentos típicos de áreas do tipo residencial.
- 1,15% dos transformadores estão mais carregados, precisamente aqueles pertencentes aos *clusters* 5 e 8.
- 11,31% representam transformadores de áreas exclusivamente comerciais ou industriais.

4.3 Treinamento da Rede Neural de Perdas Joule em Transformadores de Distribuição (Alternativa 1)

Nesta etapa, é feito o treinamento das redes neurais artificiais para o cálculo denominado alternativa 1, ou seja, curva de carregamento diária (m, s), definida por um ponto por hora.

A Tabela 4.7 apresenta a arquitetura final que foi empregada nas redes neurais, e a Tabela 4.8, os passos de treinamento utilizados. Procurou-se obter uma arquitetura de rede neural que apresentasse uma boa capacidade de generalização, ou seja, resultados satisfatórios quando aplicada em amostras que não participaram do treinamento. Chegou-se a esse resultado após um processo de tentativa e erro, que visou minimizar o erro quadrático médio do valor $\Delta Perda$ para os transformadores.

Tabela 4.7 - Arquitetura das Redes Neurais

TOTAL DE CAMADAS	4
Neurônios na camada de Entrada	48
Neurônios na segunda camada	35
Neurônios na terceira camada	24
Neurônios na camada de Saída	1

Observa-se que foram utilizadas 4 camadas, 1 de entrada, 1 de saída e 2 intermediárias, estas últimas também denominadas camadas ocultas. Esta escolha é feita simulando várias alternativas e observando a evolução da precisão de um caso para o outro. São 48 neurônios na primeira camada (1 valor de m e 1 valor de s para cada hora) e 1 neurônio de saída (valor de $\Delta Perda$). Os neurônios das camadas intermediárias foram determinados por simulação de vários casos.

Nota: é necessário não subestimar a complexidade do problema utilizando uma arquitetura muito simples nem, por outro lado, utilizar uma arquitetura muito complexa que possa levar a uma rede extremamente boa para os exemplos fornecidos, mas com uma má capacidade de extrapolação [49].

Foram treinadas 11 redes neurais, sendo 10 delas denominadas “RNA Dedicada”, pois são especificamente treinadas para cada um dos *clusters*. E uma de código E000, denominada “RNA Ponderada”, treinada usando uma amostra ponderada das curvas de todos os 10 *clusters*. Esta pretende ser generalista o suficiente para calcular o $\Delta Perda$ e, conseqüentemente, as perdas de todos os transformadores da concessionária.

Na Tabela 4.8, encontram-se os valores de referência, de forma a estabelecerem-se ao processo automático as condições de fim do treinamento. Os pesos são avaliados para “cada” vetor de entrada de forma iterativa (9 iterações), sendo esta parte do processo interrompida quando o número máximo de iterações internas ou quando a tolerância é atingida. Após serem tratados todos os transformadores, o processo de reavaliação de pesos é reiniciado, sendo repetido tantas vezes, até que o número de iterações globais (9000) ou a tolerância sejam atingidos. O suavizamento exponencial foi utilizado neste trabalho.

Tabela 4.8 - Parâmetros dos Passos de Treinamento das Redes Neurais

PASSO	ITERAÇÕES INTERNAS	ITERAÇÕES GLOBAIS	TOLERÂNCIA (%)	COEFICIENTE DO MÉTODO	TAXA DE APRENDIZADO
1	9	9000	0,15	0,95	1,00
2	9	9000	0,15	0,95	0,90
3	9	9000	0,15	0,95	0,80
4	9	9000	0,15	0,95	0,70

A distribuição dos vetores de treinamento e teste obedeceu ao descrito na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Distribuição dos Transformadores nos Vetores de Treinamento e Teste

CÓDIGO DA REDE NEURAL	TOTAL DE TRANSFORMADORES NO CLUSTER	QUANTIDADE DE VETORES DE TREINAMENTO	QUANTIDADE DE VETORES DE TESTE
CE000SE000001	26.120	2.124	1.590
CE000SE000002	3.204	1.283	1.601
CE000SE000003	197	80	98
CE000SE000004	1.509	605	754
CE000SE000005	109	45	54
CE000SE000006	1.931	773	965
CE000SE000007	9.820	1.101	1.099
CE000SE000008	596	239	297
CE000SE000009	14.698	1.101	1.099
CE000SE0000010	3.301	1.321	1.650
E000	61.485	3.009	1.990

Após o treinamento das redes neurais, estas foram aplicadas para todos os transformadores da empresa. Para efeito de comparação, os cálculos das perdas Joule em todos os transformadores foram feitos duas vezes, de formas separadas. Uma com as redes especialmente treinadas para cada um dos *clusters* (“RNA Dedicada”) e outra com a rede treinada com elementos proporcionais em todos os *clusters* (“RNA Ponderada” ou rede E000).

O resultado desses cálculos está resumido nas tabelas de 4.10 até 4.19, nas quais são apresentadas as faixas de erro relativo percentual e a quantidade de transformadores nessas faixas (quantidade e percentual do total de transformadores) para cada um dos 10

agrupamentos. Os transformadores cujo $\Delta Perda$ foi zero (sem carregamento) não foram computados nessas tabelas.

Tabela 4.10 - Erro Relativo para o Agrupamento 1

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	887	3,60 %	19.629	79,75 %
5 a 10	823	3,34 %	1.758	7,14 %
10 a 15	998	4,05 %	980	3,98 %
15 a 20	1.415	5,75 %	576	2,34 %
20 a 25	1.792	7,28 %	351	1,43 %
25 a 30	1.775	7,21 %	173	0,70 %
30 a 40	2.894	11,76 %	190	0,77 %
40 a 50	2.006	8,15 %	81	0,33 %
50 a 60	1.900	7,72 %	46	0,19 %
60 a 80	1.283	5,21 %	67	0,27 %
80 a 100	716	2,91 %	31	0,13 %
100 a +	8.123	33,00 %	730	2,97 %
Total	24.612			

Tabela 4.11 - Erro Relativo para o Agrupamento 2

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	2.853	89,04 %	2.850	88,95 %
5 a 10	273	8,52 %	200	6,24 %
10 a 15	48	1,50 %	78	2,43 %
15 a 20	17	0,53 %	33	1,03 %
20 a 25	7	0,22 %	21	0,66 %
25 a 30	2	0,06 %	14	0,44 %
30 a 40	4	0,12 %	8	0,25 %
40 a 50	0	0,00 %	0	0,00 %
50 a 60	0	0,00 %	0	0,00 %
60 a 80	0	0,00 %	0	0,00 %
80 a 100	0	0,00 %	0	0,00 %
100 a +	0	0,00 %	0	0,00 %
Total	3.204			

Tabela 4.12 - Erro Relativo para o Agrupamento 3

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	140	71,07 %	110	55,84 %
5 a 10	29	14,72 %	28	14,21 %
10 a 15	16	8,12 %	13	6,60 %
15 a 20	5	2,54 %	12	6,09 %
20 a 25	3	1,52 %	6	3,05 %
25 a 30	1	0,51 %	6	3,05 %
30 a 40	3	1,52 %	8	4,06 %
40 a 50	0	0,00 %	8	4,06 %
50 a 60	0	0,00 %	4	2,03 %
60 a 80	0	0,00 %	2	1,02 %
80 a 100	0	0,00 %	0	0,00 %
100 a +	0	0,00 %	0	0,00 %
Total	197			

Tabela 4.13 - Erro Relativo para o Agrupamento 4

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
	0 a 5	1.367	90,59 %	1.229
5 a 10	92	6,10 %	77	5,10 %
10 a 15	27	1,79 %	49	3,25 %
15 a 20	10	0,66 %	42	2,78 %
20 a 25	4	0,27 %	19	1,26 %
25 a 30	2	0,13 %	31	2,05 %
30 a 40	1	0,07 %	33	2,19 %
40 a 50	6	0,40 %	22	1,46 %
50 a 60	0	0,00 %	7	0,46 %
60 a 80	0	0,00 %	0	0,00 %
80 a 100	0	0,00 %	0	0,00 %
100 a +	0	0,00 %	0	0,00 %
Total	1.509			

Tabela 4.14 - Erro Relativo para o Agrupamento 5

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
	0 a 5	54	49,54 %	63
5 a 10	8	7,34 %	10	9,17 %
10 a 15	7	6,42 %	1	0,92 %
15 a 20	6	5,50 %	2	1,83 %
20 a 25	2	1,83 %	1	0,92 %
25 a 30	1	0,92 %	2	1,83 %
30 a 40	4	3,67 %	6	5,50 %
40 a 50	3	2,75 %	4	3,67 %
50 a 60	4	3,67 %	4	3,67 %
60 a 80	10	9,17 %	6	5,50 %
80 a 100	10	9,17 %	10	9,17 %
100 a +	0	0,00 %	0	0,00 %
Total	109			

Tabela 4.15 - Erro Relativo para o Agrupamento 6

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
	0 a 5	475	24,60 %	1.701
5 a 10	548	28,38 %	85	4,40 %
10 a 15	466	24,13 %	34	1,76 %
15 a 20	311	16,11 %	22	1,14 %
20 a 25	57	2,95 %	24	1,24 %
25 a 30	38	1,97 %	18	0,93 %
30 a 40	26	1,35 %	31	1,61 %
40 a 50	5	0,26 %	15	0,78 %
50 a 60	3	0,16 %	1	0,05 %
60 a 80	2	0,10 %	0	0,00 %
80 a 100	0	0,00 %	0	0,00 %
100 a +	0	0,00 %	0	0,00 %
Total	1.931			

Tabela 4.16 - Erro Relativo para o Agrupamento 7

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
	0 a 5	9.678	98,55 %	9.548
5 a 10	94	0,96 %	192	1,96 %
10 a 15	23	0,23 %	50	0,51 %
15 a 20	17	0,17 %	24	0,24 %
20 a 25	3	0,03 %	6	0,06 %
25 a 30	2	0,02 %	0	0,00 %
30 a 40	2	0,02 %	0	0,00 %
40 a 50	0	0,00 %	0	0,00 %
50 a 60	1	0,01 %	0	0,00 %
60 a 80	0	0,00 %	0	0,00 %
80 a 100	0	0,00 %	0	0,00 %
100 a +	0	0,00 %	0	0,00 %
Total	9.820			

Tabela 4.17 - Erro Relativo para o Agrupamento 8

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
	0 a 5	522	87,58 %	478
5 a 10	24	4,03 %	36	6,04 %
10 a 15	11	1,85 %	28	4,70 %
15 a 20	6	1,01 %	9	1,51 %
20 a 25	5	0,84 %	5	0,84 %
25 a 30	4	0,67 %	10	1,68 %
30 a 40	8	1,34 %	12	2,01 %
40 a 50	4	0,67 %	3	0,50 %
50 a 60	4	0,67 %	7	1,17 %
60 a 80	5	0,84 %	4	0,67 %
80 a 100	3	0,50 %	4	0,67 %
100 a +	0	0,00 %	0	0,00 %
Total	596			

Tabela 4.18 - Erro Relativo para o Agrupamento 9

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
	0 a 5	7.843	53,36 %	13.036
5 a 10	3.618	24,62 %	1.345	9,15 %
10 a 15	1.967	13,38 %	180	1,22 %
15 a 20	927	6,31 %	79	0,54 %
20 a 25	245	1,67 %	36	0,24 %
25 a 30	46	0,31 %	14	0,10 %
30 a 40	31	0,21 %	7	0,05 %
40 a 50	5	0,03 %	1	0,01 %
50 a 60	2	0,01 %	0	0,00 %
60 a 80	13	0,09 %	0	0,00 %
80 a 100	0	0,00 %	0	0,00 %
100 a +	1	0,01 %	0	0,00 %
Total	14.698			

Tabela 4.19 - Erro Relativo para o Agrupamento 10

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	3.247	98,36 %	2.938	89,00 %
5 a 10	24	0,73 %	184	5,57 %
10 a 15	12	0,36 %	127	3,85 %
15 a 20	9	0,27 %	24	0,73 %
20 a 25	3	0,09 %	13	0,39 %
25 a 30	3	0,09 %	11	0,33 %
30 a 40	2	0,06 %	4	0,12 %
40 a 50	0	0,00 %	0	0,00 %
50 a 60	0	0,00 %	0	0,00 %
60 a 80	0	0,00 %	0	0,00 %
80 a 100	1	0,03 %	0	0,00 %
100 a +	0	0,00 %	0	0,00 %
Total	3.301			

A Tabela 4.20 totaliza os resultados das tabelas de 4.10 até 4.19, e pode-se concluir que, de forma geral, a RNA Dedicada apresenta, como esperado, os melhores resultados (em 86% dos casos, o erro foi menor que 5%).

Tabela 4.20 - Erro Relativo para Todos os Agrupamentos - Empresa

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	27.066	45,13 %	51.582	86,00 %
5 a 10	5.533	9,23 %	3.915	6,53 %
10 a 15	3.575	5,96 %	1.540	2,57 %
15 a 20	2.723	4,54 %	823	1,37 %
20 a 25	2.121	3,54 %	482	0,80 %
25 a 30	1.874	3,12 %	279	0,47 %
30 a 40	2.975	4,96 %	299	0,50 %
40 a 50	2.029	3,38 %	134	0,22 %
50 a 60	1.914	3,19 %	69	0,12 %
60 a 80	1.313	2,19 %	79	0,13 %
80 a 100	730	1,22 %	45	0,08 %
100 a +	8.124	13,55 %	730	1,22 %
Total	59.977			

Considerando o percentual dos erros na faixa de 0% a 5%, conclui-se que:

- A RNA Dedicada apresentou melhores resultados para os agrupamentos 1, 5, 6 e 9;
- A RNA Ponderada apresentou melhores resultados para os agrupamentos 3, 4, 8 e 10;
- Resultados semelhantes foram obtidos para os agrupamentos 2 e 7.

Visto que para alguns agrupamentos a RNA Dedicada é melhor e para outros é a RNA Ponderada, na Tabela 4.21, é apresentado o resumo da aplicação da melhor rede. Nesse caso, a

rede neural ponderada (E000) foi utilizada para os *clusters* 2, 3, 4, 7, 8 e 10, o que representa 30,3% do total de transformadores.

Tabela 4.21 - Comparação entre a Rede Empresa e o Agrupamento Melhorado

Faixa de Erro (%)	Resultado da Aplicação da melhor Rede Neural para cada um dos <i>clusters</i>	
0 a 5	52.236	87,09 %
5 a 10	3.734	6,23 %
10 a 15	1.332	2,22 %
15 a 20	743	1,24 %
20 a 25	437	0,73 %
25 a 30	221	0,37 %
30 a 40	254	0,42 %
40 a 50	111	0,19 %
50 a 60	56	0,09 %
60 a 80	78	0,13 %
80 a 100	45	0,08 %
100 a +	730	1,22 %
Total	59.977	

Comparando os resultados das Tabelas 4.20 e 4.21, para a primeira faixa (0% a 5%) e primeira mais a segunda faixas (0 a 10%), observa-se que o ganho com a aplicação da melhor das redes para cada *cluster* é da ordem de 1%.

Quanto ao esforço computacional para as duas formas de cálculo, têm-se as seguintes operações de multiplicação para o cálculo das perdas Joule de um transformador de distribuição:

- Método Analítico: 96×11 para obtenção de p nas 11 curvas estratificadas, mais 91×11 cálculos de p^2 . Portanto, 2.112 operações de multiplicação.
- RNA da alternativa 1: $48 \times 35 + 35 \times 24 + 24 \times 1$. Portanto, 2.544 operações de multiplicação.

A alternativa 1 tem mais operações de multiplicação, portanto, seu desempenho computacional deve ser inferior ao cálculo analítico. Uma das formas de minimizar o esforço computacional no cálculo com redes neurais seria diminuir o número de entradas.

4.4 Treinamento da Rede Neural Simplificada (alternativa 2)

Embora o resultado obtido no Item 4.3 seja satisfatório, sempre é desejável reduzir o custo computacional necessário ao processamento do cálculo. A técnica de poda, ou *pruning*, tem o objetivo de reduzir a complexidade da rede neural, melhorando sua capacidade de previsão, pois evita modelos sobreparametrizados (muitos neurônios).

Muito embora as técnicas de poda envolvam a eliminação de pesos e neurônios irrelevantes para a função executada pela rede, no caso desta alternativa procurou-se reduzir o número de entradas e, portanto, de neurônios necessários à modelagem. Outro método poderia ser baseado na avaliação da sensibilidade da saída: é retirado um neurônio da rede e verificada a variação do erro de saída. Caso a retirada não cause grande variação no erro de saída, conclui-se que a rede é pouco sensível a este e que ele pode ser retirado sem perda da capacidade de a rede modelar os dados [38].

Portanto, com o objetivo de simplificação, a rede neural foi reduzida, de forma talvez exagerada, de 48 neurônios de entrada para apenas 6. Nessa rede, têm-se os seguintes neurônios de entrada:

As primeiras 6 variáveis de entrada são:

- 4 pontos da curva média de carregamento (3, 14, 19 e 21 horas);
- 2 pontos da curva de desvio-padrão (12 e 18 horas).

Como variável de saída, tem-se o valor do $\Delta Perda$.

Neste caso, a forma do carregamento fica bem definida e o número de operações de multiplicação reduz-se a $6*18+18*10+10$, ou seja, 298 operações. Em que 18 e 10 são a quantidade de neurônios nas camadas intermediárias. Portanto, uma redução bastante drástica em relação à alternativa 1.

No treinamento das redes neurais, foram empregados os mesmos *clusters* utilizados no Item 4.3. Novamente, para efeito de comparação, as redes neurais treinadas foram aplicadas duas vezes, de formas separadas, uma com as redes especialmente treinadas para cada um dos *clusters* e outra com a rede treinada com elementos proporcionais a cada *cluster* (rede E000).

O resultado desses cálculos está resumido nas Tabelas de 4.23 até 4.33, nas quais é apresentado o erro relativo para cada um dos 10 agrupamentos.

Os parâmetros de treinamento foram similares aos utilizados no Item 4.3, bem como a alocação das curvas nos *clusters*. Um novo reprocessamento dos agrupamentos usando as 6 entradas como parâmetros de clusterização poderia levar a melhores resultados.

Tabela 4.22 - Arquitetura das Redes Neurais

TOTAL DE CAMADAS	4
Neurônios na camada de Entrada	6
Neurônios na segunda camada	18
Neurônios na terceira camada	10
Neurônios na camada de Saída	1

Tabela 4.23 - Erro Relativo para o Agrupamento 1

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
	0 a 5	3787	15,39%	12263
5 a 10	2317	9,41%	2497	10,15%
10 a 15	1701	6,91%	1091	4,43%
15 a 20	1036	4,21%	683	2,78%
20 a 25	1055	4,29%	638	2,59%
25 a 30	770	3,13%	570	2,32%
30 a 40	1055	4,29%	1160	4,71%
40 a 50	786	3,19%	1197	4,86%
50 a 60	620	2,52%	893	3,63%
60 a 80	1094	4,44%	296	1,20%
80 a 100	777	3,16%	105	0,43%
100 a +	9614	39,06%	3219	13,08%
Total	24.612			

Tabela 4.24 - Erro Relativo para o Agrupamento 2

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
	0 a 5	2167	67,63%	368
5 a 10	627	19,57%	148	4,62%
10 a 15	226	7,05%	104	3,25%
15 a 20	73	2,28%	78	2,43%
20 a 25	52	1,62%	59	1,84%
25 a 30	27	0,84%	60	1,87%
30 a 40	28	0,87%	142	4,43%
40 a 50	2	0,06%	117	3,65%
50 a 60	2	0,06%	96	3,00%
60 a 80	0	0,00%	129	4,03%
80 a 100	0	0,00%	617	19,26%
100 a +	0	0,00%	1286	40,14%
Total	3.204			

Tabela 4.25 - Erro Relativo para o Agrupamento 3

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
	0 a 5	111	56,35%	0
5 a 10	43	21,83%	0	0,00%
10 a 15	16	8,12%	1	0,51%
15 a 20	5	2,54%	0	0,00%
20 a 25	5	2,54%	0	0,00%
25 a 30	4	2,03%	0	0,00%
30 a 40	13	6,60%	0	0,00%
40 a 50	0	0,00%	6	3,05%
50 a 60	0	0,00%	34	17,26%
60 a 80	0	0,00%	87	44,16%
80 a 100	0	0,00%	67	34,01%
100 a +	0	0,00%	2	1,02%
Total	197			

Tabela 4.26 - Erro Relativo para o Agrupamento 4

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
	0 a 5	1102	73,03%	51
5 a 10	264	17,50%	28	1,86%
10 a 15	81	5,37%	57	3,78%
15 a 20	27	1,79%	53	3,51%
20 a 25	18	1,19%	63	4,17%
25 a 30	7	0,46%	75	4,97%
30 a 40	9	0,60%	154	10,21%
40 a 50	1	0,07%	145	9,61%
50 a 60	0	0,00%	133	8,81%
60 a 80	0	0,00%	234	15,51%
80 a 100	0	0,00%	124	8,22%
100 a +	0	0,00%	392	25,98%
Total	1.509			

Tabela 4.27 - Erro Relativo para o Agrupamento 5

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
	0 a 5	40	36,70%	12
5 a 10	15	13,76%	2	1,83%
10 a 15	6	5,50%	0	0,00%
15 a 20	3	2,75%	1	0,92%
20 a 25	7	6,42%	0	0,00%
25 a 30	4	3,67%	0	0,00%
30 a 40	10	9,17%	0	0,00%
40 a 50	1	0,92%	0	0,00%
50 a 60	3	2,75%	0	0,00%
60 a 80	9	8,26%	10	9,17%
80 a 100	9	8,26%	84	77,06%
100 a +	2	1,83%	0	0,00%
Total	109			

Tabela 4.28 - Erro Relativo para o Agrupamento 6

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	436	22,58%	209	10,82%
5 a 10	701	36,30%	59	3,06%
10 a 15	420	21,75%	45	2,33%
15 a 20	140	7,25%	31	1,61%
20 a 25	107	5,54%	29	1,50%
25 a 30	44	2,28%	13	0,67%
30 a 40	51	2,64%	36	1,86%
40 a 50	19	0,98%	36	1,86%
50 a 60	10	0,52%	25	1,29%
60 a 80	3	0,16%	632	32,73%
80 a 100	0	0,00%	321	16,62%
100 a +	0	0,00%	495	25,63%
Total	1.931			

Tabela 4.29 - Erro Relativo para o Agrupamento 7

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	9358	95,30%	875	8,91%
5 a 10	385	3,92%	789	8,03%
10 a 15	49	0,50%	834	8,49%
15 a 20	19	0,19%	786	8,00%
20 a 25	4	0,04%	796	8,11%
25 a 30	1	0,01%	842	8,57%
30 a 40	3	0,03%	1355	13,80%
40 a 50	1	0,01%	905	9,22%
50 a 60	0	0,00%	569	5,79%
60 a 80	0	0,00%	916	9,33%
80 a 100	0	0,00%	897	9,13%
100 a +	0	0,00%	256	2,61%
Total	9.820			

Tabela 4.30 - Erro Relativo para o Agrupamento 8

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	498	83,56%	38	6,38%
5 a 10	49	8,22%	0	0,00%
10 a 15	19	3,19%	1	0,17%
15 a 20	4	0,67%	2	0,34%
20 a 25	9	1,51%	3	0,50%
25 a 30	2	0,34%	25	4,19%
30 a 40	6	1,01%	49	8,22%
40 a 50	5	0,84%	63	10,57%
50 a 60	0	0,00%	94	15,77%
60 a 80	3	0,50%	180	30,20%
80 a 100	1	0,17%	141	23,66%
100 a +	0	0,00%	0	0,00%
Total	596			

Tabela 4.31 - Erro Relativo para o Agrupamento 9

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	11828	80,47%	807	5,49%
5 a 10	1882	12,80%	609	4,14%
10 a 15	475	3,23%	434	2,95%
15 a 20	185	1,26%	329	2,24%
20 a 25	118	0,80%	346	2,35%
25 a 30	150	1,02%	314	2,14%
30 a 40	49	0,33%	608	4,14%
40 a 50	11	0,07%	501	3,41%
50 a 60	0	0,00%	741	5,04%
60 a 80	0	0,00%	3101	21,10%
80 a 100	0	0,00%	2763	18,80%
100 a +	0	0,00%	4145	28,20%
Total	14.698		807	5,49%

Tabela 4.32 - Erro Relativo para o Agrupamento 10

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	3132	94,88%	379	11,48%
5 a 10	118	3,57%	360	10,91%
10 a 15	26	0,79%	322	9,75%
15 a 20	7	0,21%	384	11,63%
20 a 25	4	0,12%	278	8,42%
25 a 30	7	0,21%	116	3,51%
30 a 40	3	0,09%	141	4,27%
40 a 50	4	0,12%	199	6,03%
50 a 60	0	0,00%	340	10,30%
60 a 80	0	0,00%	491	14,87%
80 a 100	0	0,00%	192	5,82%
100 a +	0	0,00%	99	3,00%
Total	3.301			

A Tabela 4.33 totaliza os resultados das tabelas de 4.23 até 4.33, e pode-se concluir que, de forma geral, a RNA Ponderada apresenta melhores resultados neste caso. Talvez isso não ocorresse se fosse refeita a clusterização.

Tabela 4.33 - Erro Relativo para Todos os Agrupamentos - Empresa

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	32459	54,12%	15002	25,01%
5 a 10	6401	10,67%	4492	7,49%
10 a 15	3019	5,03%	2889	4,82%
15 a 20	1499	2,50%	2347	3,91%
20 a 25	1379	2,30%	2212	3,69%
25 a 30	1016	1,69%	2015	3,36%
30 a 40	1227	2,05%	3645	6,08%
40 a 50	830	1,38%	3169	5,28%
50 a 60	635	1,06%	2925	4,88%
60 a 80	1109	1,85%	6076	10,13%
80 a 100	787	1,31%	5311	8,86%
100 a +	9616	16,03%	9894	16,50%
Total	59.977			

Considerando o percentual dos erros na faixa de 0% a 10%, conclui-se que:

- A RNA Dedicada apresentou melhores resultados para o agrupamento 1 (maior grupo);
- A RNA Ponderada apresentou melhores resultados para os agrupamentos 2 a 10.

Visto que para um agrupamento a RNA Dedicada é melhor e para os outros é a RNA Ponderada, na Tabela 4.34, é apresentado o resumo da aplicação da melhor rede. Nesse caso, a rede neural ponderada (E000) foi usada para os *clusters* 2 a 10, o que representa 59% do total de transformadores.

Tabela 4.34 - Comparação entre a Rede Empresa e o Agrupamento Melhorado

Faixa de Erro (%)	Resultado da Aplicação da melhor Rede Neural para cada um dos <i>clusters</i>	
0 a 5	40935	68,25%
5 a 10	6581	10,97%
10 a 15	2409	4,02%
15 a 20	1146	1,91%
20 a 25	962	1,60%
25 a 30	816	1,36%
30 a 40	1332	2,22%
40 a 50	1241	2,07%
50 a 60	908	1,51%
60 a 80	311	0,52%
80 a 100	115	0,19%
100 a +	3221	5,37%
Total	59.977	

Tendo em vista que a RNA Dedicada apresentou sistematicamente resultados piores que a RNA Ponderada, conclui-se que deveria ter sido feita uma nova clusterização utilizando apenas as 6 entradas.

4.5 Treinamento da Rede Neural A Partir dos Parâmetros dos Consumidores

Nesse treinamento, procurou-se separar os consumidores em quatro tipos. Isso foi obtido a partir da definição de quatro tipos de demanda típica, que são exibidos nas Figuras 4.12 a 4.15. Em seguida, todas as atividades de consumo foram reclassificadas nos quatro tipos mencionados. Nas Tabelas 4.35 a 4.38, são mostradas essas reclassificações. Foi, então, determinada a quantidade de cada tipo de consumidor em todos os transformadores da concessionária.

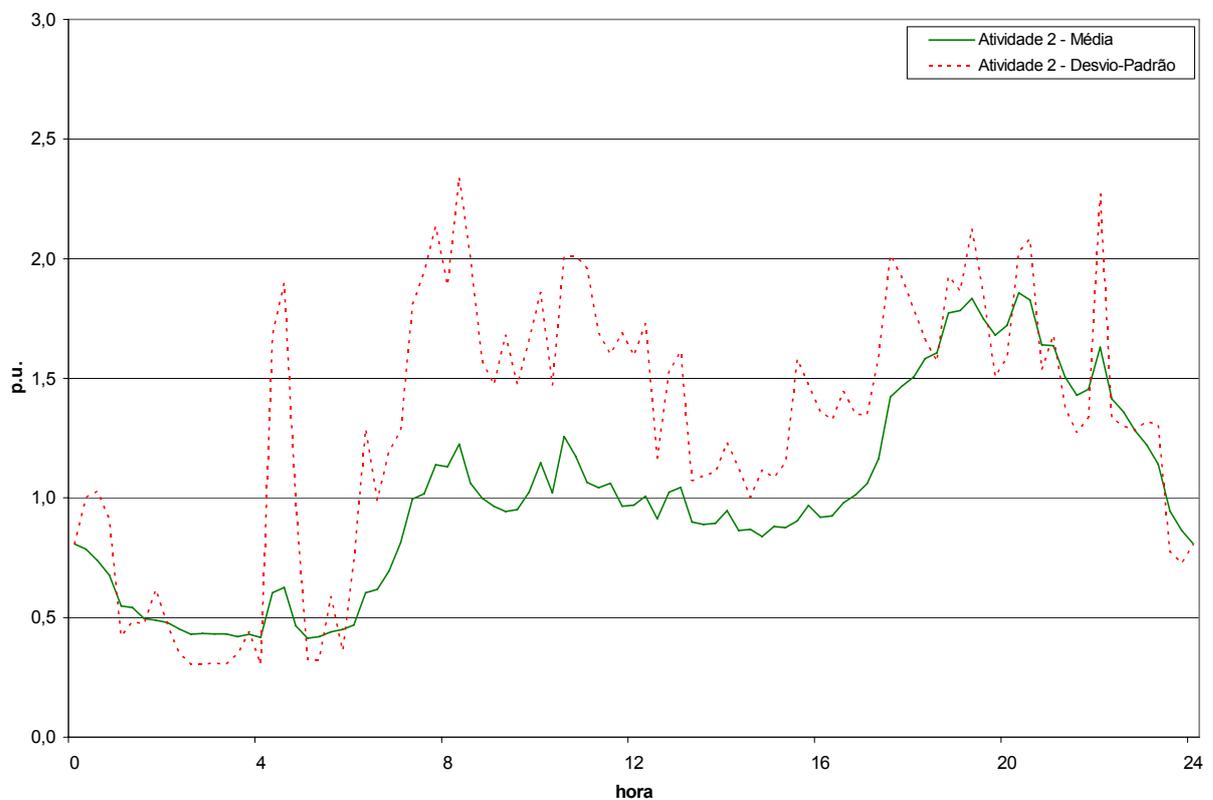


Figura 4.12 - Curva de Carga do Consumidor Tipo 1

Tabela 4.35 - Curvas Típicas de Consumidores Classificadas como do Tipo 1

Código	Descrição	Classe
0001	Residencial - Abaixo de 200 kWh / Mês	Residencial
0002	Residencial - (201 a 400) kWh / Mês	Residencial
0003	Residencial - (401 a 500) kWh / Mês	Residencial
0004	Residencial - Acima de 500 kWh / Mês	Residencial

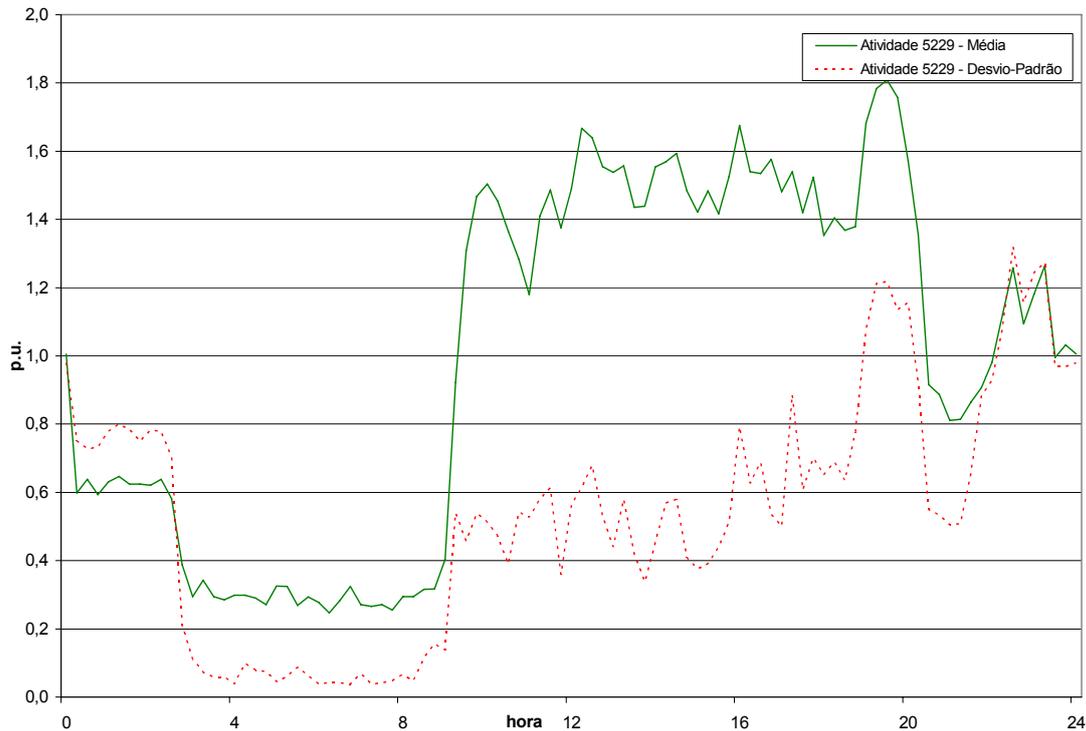


Figura 4.13 - Curva de Carga do Consumidor Tipo 2

Tabela 4.36 - Curvas Típicas de Consumidores Classificadas como do Tipo 2

Código	Descrição	Classe
6330	Administração de Imóveis	Comercial
5433	Assistência Médica, Odontológica e Veterinária	Comercial
6022	Comércio Atacadista de Leite e Derivados	Comercial
6009	Comércio Atacadista de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos para Uso Comercial, Profissional e Doméstico	Comercial
6014	Comércio Atacadista de Papel, Impressos e Artigos de Escritório	Comercial
6031	Comércio de Mercadorias em Geral, sem Produtos Alimentícios	Comercial
6119	Comércio Varejista de Brinquedos, Artigos Desportivos e Presentes	Comercial
6113	Comércio Varejista de Carnes e Peixes	Comercial
6108	Comércio Varejista de Produtos Químicos e Farmacêuticos	Comercial
3210	Construção Civil	Industrial
5761	Escritório de Empresa de Comércio Varejista	Comercial
1520	Fabricação de Estruturas de Madeira	Industrial
1370	Fabricação de Material Eletrônico	Industrial
1610	Fabricação de Móveis de Madeira, Vime e Junco	Industrial
1433	Fabricação de Peças e Acessórios para Veículos Automotores	Industrial
2670	Fabricação de Produtos de Padaria e Pastelaria	Industrial
2420	Fiação e Tecelagem	Industrial
5211	Hotéis e Motéis	Comercial
2920	Impressão de Material Escolar, Comercial e Industrial	Industrial
5322	Manutenção e Conservação de Veículos em Geral	Comercial
5229	Outros Serviços de Alimentação Não Especificados ou Não Classificados	Comercial
5221	Restaurantes e Lanchonetes	Comercial
1160	Serralharia, Fabricação de Tanques, Reservatórios	Industrial
5410	Serviços de Higiene - Barbearias, Saunas, Lavanderias etc.	Comercial
5052	Transportes Aéreos de Carga	Poderes Públicos

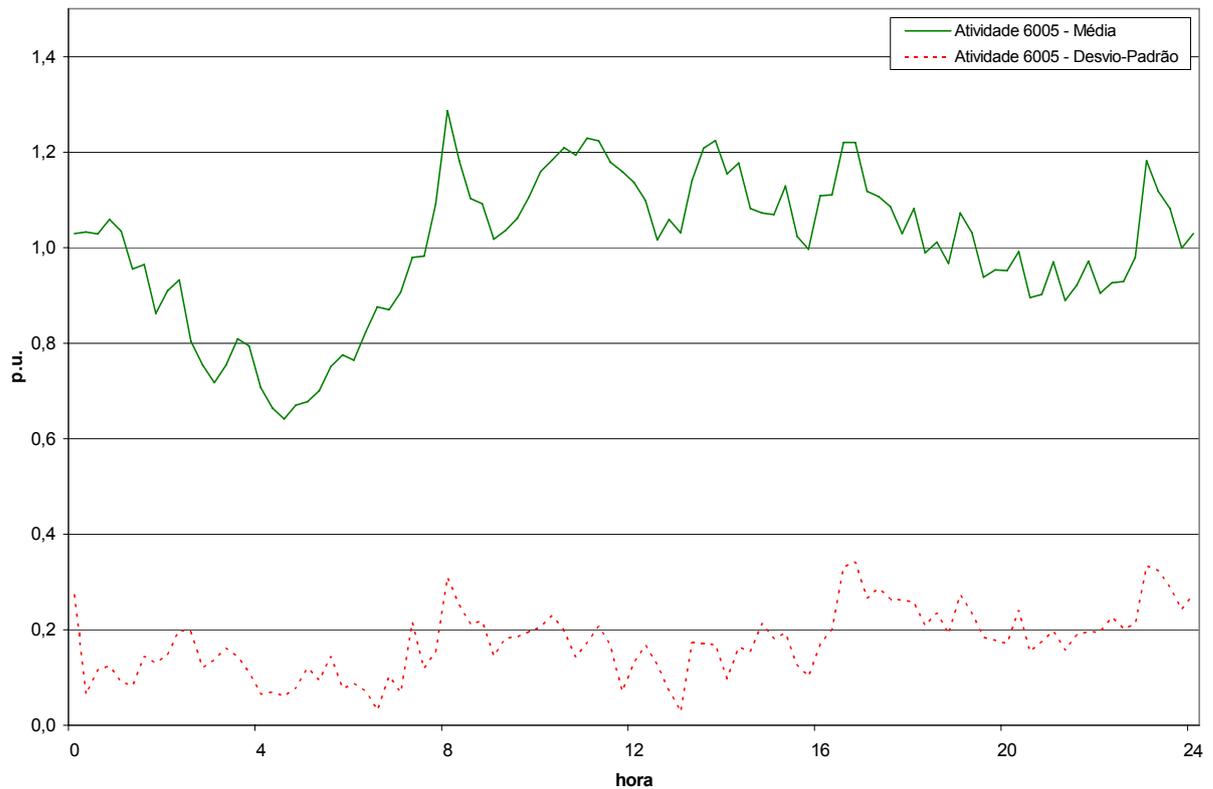


Figura 4.14 - Curva de Carga do Consumidor Tipo 3

Tabela 4.37 - Curvas Típicas de Consumidores Classificadas como do Tipo 3

Código	Descrição	Classe
6005	Comércio Atacadista de Ferragens e Produtos Metalúrgicos	Comercial
6029	Comércio Atacadista de Produtos Importados	Comercial
6109	Comércio Varejista de Combustíveis e Lubrificantes	Comercial
5930	Empresas de Capitalização	Poderes Públicos
5960	Empresas de Seguros	Poderes Públicos
5048	Garagens e Estacionamento de Veículos	Comercial
5440	Hospitais e Casas de Saúde	Poderes Públicos
5120	Rádiodifusão e Televisão	Poderes Públicos
6115	Supermercados	Comercial
5041	Transportes Urbanos de Passageiros, Inclusive Metroviários	Poderes Públicos

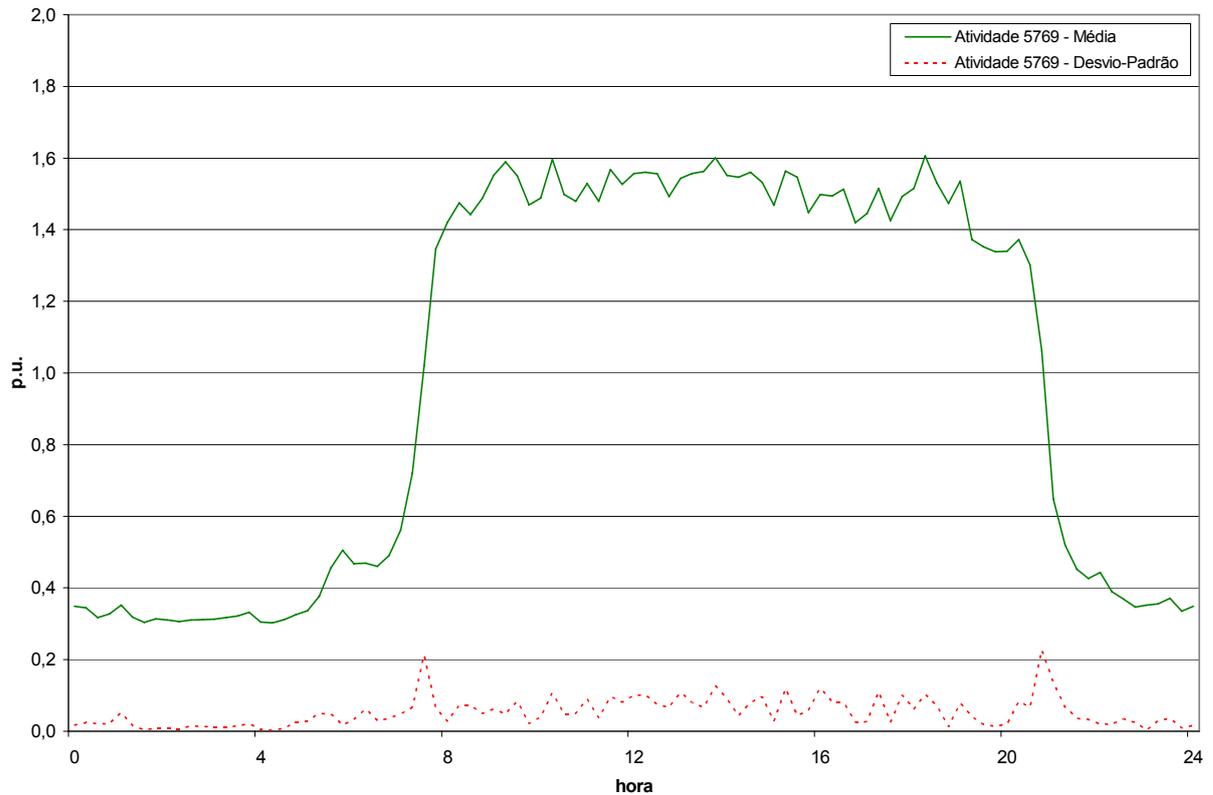


Figura 4.15 - Curva de Carga do Consumidor Tipo 4

Tabela 4.38 - Curvas Típicas de Consumidores Classificadas como do Tipo 4

Código	Descrição	Classe
8021	Associações Benéficas, Religiosas e Assistenciais	Consumo Próprio
5900	Bancos Comerciais e Caixas Econômicas	Comercial
5222	Bares, Botequins, Cafés, Confeitarias e Sorveterias	Comercial
6105	Comércio Varejista de Acessórios para Veículos	Comercial
6112	Comércio Varejista de Artigos de Vestuário	Comercial
6101	Comércio Varejista de Ferragens e Produtos Metalúrgicos	Comercial
6107	Comércio Varejista de Livros, Papel, Impressos e Artigos de Escritório	Comercial
6102	Comércio Varejista de Máquinas e Aparelhos Elétricos	Comercial
6106	Comércio Varejista de Móveis, Artigos de Habitação e de Utilidade Doméstica	Comercial
6199	Comércio Varejista de Produtos Não Especificados ou Não Classificados	Comercial
6111	Comércio Varejista de Tecidos	Comercial
6103	Comércio Varejista de Veículos	Comercial
6104	Comércio Varejista de Veículos e Acessórios	Comercial
2510	Confecção de Roupas e Agasalhos	Industrial
5769	Escritório de Empresa de Atividade Não Especificada ou Não Classificada	Comercial
5465	Estabelecimentos Particulares de Cursos Livres	Comercial
6114	Mercearias, Armazéns e Padarias	Comercial
5536	Serviços de Contabilidade e Despachante	Poderes Públicos

Após a reclassificação dos consumidores de cada transformador, foi realizada uma nova clusterização, seguindo a mesma metodologia descrita anteriormente, tendo como entrada os seguintes campos:

- Quantidade e consumo total dos consumidores do tipo 1;
- Quantidade e consumo total dos consumidores do tipo 2;
- Quantidade e consumo total dos consumidores do tipo 3;
- Quantidade e consumo total dos consumidores do tipo 4;
- Potência Nominal do transformador.

Portanto, 9 variáveis de entrada.

Os 10 novos *clusters* resultantes são descritos na Tabela 4.39:

Tabela 4.39 - Resultado da Clusterização dos Transformadores

Cluster	Freq.	Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3		Tipo 4	
		Qtd.	kWh	Qtd.	kWh	Qtd.	kWh	Qtd.	kWh
1	30898	5,62	973,87	0,45	188,98	0,07	68,46	0,85	392,37
2	12162	46,71	8592,05	1,20	460,12	0,14	108,26	1,90	807,42
3	8026	86,63	16616,92	1,82	802,98	0,22	188,21	2,85	1375,52
4	3237	136,12	27791,64	2,47	1401,40	0,32	354,15	4,00	2251,46
5	3194	9,69	1947,99	1,69	773,97	0,31	207,00	5,50	6847,48
6	1542	11,04	2253,80	3,85	7285,71	0,33	242,97	3,21	1462,04
7	1197	26,50	5631,83	5,79	3796,27	0,86	778,66	18,09	22414,43
8	610	199,88	49215,86	2,31	1671,97	0,43	342,15	3,75	2905,44
9	347	29,20	6224,92	8,01	22352,17	0,53	540,14	8,41	5219,83
10	272	21,43	4652,67	2,59	1541,48	1,92	16015,69	4,97	3160,39

Em que:

- Qtd.: quantidade média de consumidores de um determinado tipo no *cluster*;
- kWh: energia média desse tipo de consumidor no *cluster*.

Notar que as quantidades de consumidores na Tabela 4.39 não são valores inteiros devido ao fato de se tratarem de valores médios.

Os dados desses *clusters* serão utilizados no treinamento de uma rede ponderada, também denominada RNA Ponderada Direta, e de uma rede neural treinada especialmente para cada *cluster*, denominada RNA Dedicada Direta.

Os parâmetros de arquitetura e treinamento utilizados são similares aos utilizados no Item 4.3.

Tabela 4.40 - Arquitetura das Redes Neurais

TOTAL DE CAMADAS	4
Neurônios na camada de Entrada	9
Neurônios na segunda camada	16
Neurônios na terceira camada	8
Neurônios na camada de Saída	1

Neste caso, o número de operações de multiplicação será: $9*16+16*8+8*1=280$. Entretanto, é importante salientar que esta alternativa prescinde do cálculo das curvas diárias de carregamento dos transformadores (m, s) que têm um esforço computacional grande.

A Tabela 4.41 apresenta a quantidade de transformadores nos vetores de treinamento e teste de todas as redes neurais treinadas.

Tabela 4.41 - Distribuição dos Transformadores nos Vetores de Treinamento e Teste

CÓDIGO DA REDE NEURAL	TOTAL DE TRANSFORMADORES NO CLUSTER	QUANTIDADE DE VETORES DE TREINAMENTO	QUANTIDADE DE VETORES DE TESTE
CE000SE000001	30898	3507	1993
CE000SE000002	12162	3501	2499
CE000SE000003	8026	3001	2999
CE000SE000004	3237	1296	1618
CE000SE000005	3194	1279	1596
CE000SE000006	1542	618	770
CE000SE000007	1197	480	598
CE000SE000008	610	245	304
CE000SE000009	347	140	173
CE000SE0000010	272	110	135
E000	61485	7496	2959

Já as Tabelas 4.42 até 4.51 apresentam a distribuição de erros resultantes da aplicação das redes neurais treinadas, tanto para aquelas treinadas especialmente para cada *cluster* quanto para a rede ponderada, para ser genérica o suficiente para calcular as perdas em todos os transformadores de distribuição.

Tabela 4.42 - Erro Relativo para o Agrupamento 1

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	1556	5,29%	4009	13,64%
5 a 10	1758	5,98%	3442	11,71%
10 a 15	1879	6,39%	2935	9,99%
15 a 20	1909	6,50%	2334	7,94%
20 a 25	1887	6,42%	1789	6,09%
25 a 30	1456	4,95%	1307	4,45%
30 a 40	1884	6,41%	1925	6,55%
40 a 50	1187	4,04%	1265	4,30%
50 a 60	873	2,97%	932	3,17%
60 a 80	1222	4,16%	1482	5,04%
80 a 100	880	2,99%	2496	8,49%
100 a +	12899	43,89%	5474	18,63%
Total	29.390			

Tabela 4.43 - Erro Relativo para o Agrupamento 2

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	1088	8,95%	5573	45,82%
5 a 10	2673	21,98%	2673	21,98%
10 a 15	4076	33,51%	1090	8,96%
15 a 20	2101	17,28%	537	4,42%
20 a 25	798	6,56%	312	2,57%
25 a 30	344	2,83%	240	1,97%
30 a 40	244	2,01%	291	2,39%
40 a 50	69	0,57%	191	1,57%
50 a 60	45	0,37%	113	0,93%
60 a 80	55	0,45%	178	1,46%
80 a 100	37	0,30%	96	0,79%
100 a +	632	5,20%	868	7,14%
Total	12.162			

Tabela 4.44 - Erro Relativo para o Agrupamento 3

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	2447	30,49%	3993	49,75%
5 a 10	3180	39,62%	1796	22,38%
10 a 15	1382	17,22%	635	7,91%
15 a 20	343	4,27%	273	3,40%
20 a 25	114	1,42%	152	1,89%
25 a 30	58	0,72%	87	1,08%
30 a 40	60	0,75%	120	1,50%
40 a 50	35	0,44%	81	1,01%
50 a 60	30	0,37%	66	0,82%
60 a 80	39	0,49%	89	1,11%
80 a 100	43	0,54%	76	0,95%
100 a +	295	3,68%	658	8,20%
Total	8026			

Tabela 4.45 - Erro Relativo para o Agrupamento 4

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	1558	48,13%	1601	49,46%
5 a 10	849	26,23%	731	22,58%
10 a 15	357	11,03%	270	8,34%
15 a 20	135	4,17%	102	3,15%
20 a 25	72	2,22%	69	2,13%
25 a 30	51	1,58%	48	1,48%
30 a 40	53	1,64%	66	2,04%
40 a 50	26	0,80%	41	1,27%
50 a 60	17	0,53%	33	1,02%
60 a 80	18	0,56%	43	1,33%
80 a 100	24	0,74%	55	1,70%
100 a +	77	2,38%	178	5,50%
Total	3.237			

Tabela 4.46 - Erro Relativo para o Agrupamento 5

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	591	18,50%	452	14,15%
5 a 10	573	17,94%	528	16,53%
10 a 15	567	17,75%	503	15,75%
15 a 20	407	12,74%	383	11,99%
20 a 25	328	10,27%	269	8,42%
25 a 30	212	6,64%	193	6,04%
30 a 40	182	5,70%	257	8,05%
40 a 50	63	1,97%	168	5,26%
50 a 60	35	1,10%	113	3,54%
60 a 80	45	1,41%	93	2,91%
80 a 100	47	1,47%	49	1,53%
100 a +	144	4,51%	186	5,82%
Total	3.194			

Tabela 4.47 - Erro Relativo para o Agrupamento 6

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	336	21,79%	212	13,75%
5 a 10	242	15,69%	186	12,06%
10 a 15	177	11,48%	159	10,31%
15 a 20	136	8,82%	139	9,01%
20 a 25	124	8,04%	114	7,39%
25 a 30	93	6,03%	97	6,29%
30 a 40	110	7,13%	155	10,05%
40 a 50	98	6,36%	110	7,13%
50 a 60	51	3,31%	79	5,12%
60 a 80	48	3,11%	90	5,84%
80 a 100	14	0,91%	79	5,12%
100 a +	113	7,33%	122	7,91%
Total	1.542			

Tabela 4.48 - Erro Relativo para o Agrupamento 7

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	272	22,72%	466	38,93%
5 a 10	204	17,04%	141	11,78%
10 a 15	149	12,45%	78	6,52%
15 a 20	108	9,02%	54	4,51%
20 a 25	91	7,60%	53	4,43%
25 a 30	56	4,68%	58	4,85%
30 a 40	80	6,68%	65	5,43%
40 a 50	60	5,01%	48	4,01%
50 a 60	22	1,84%	34	2,84%
60 a 80	19	1,59%	48	4,01%
80 a 100	43	3,59%	117	9,77%
100 a +	93	7,77%	35	2,92%
Total	1.197			

Tabela 4.49 - Erro Relativo para o Agrupamento 8

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	234	38,36%	347	56,89%
5 a 10	128	20,98%	87	14,26%
10 a 15	60	9,84%	43	7,05%
15 a 20	50	8,20%	18	2,95%
20 a 25	29	4,75%	25	4,10%
25 a 30	21	3,44%	13	2,13%
30 a 40	20	3,28%	24	3,93%
40 a 50	16	2,62%	9	1,48%
50 a 60	8	1,31%	10	1,64%
60 a 80	6	0,98%	7	1,15%
80 a 100	31	5,08%	14	2,30%
100 a +	7	1,15%	13	2,13%
Total	610			

Tabela 4.50 - Erro Relativo para o Agrupamento 9

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	72	20,75%	8	2,31%
5 a 10	51	14,70%	9	2,59%
10 a 15	40	11,53%	12	3,46%
15 a 20	23	6,63%	16	4,61%
20 a 25	28	8,07%	22	6,34%
25 a 30	19	5,48%	32	9,22%
30 a 40	22	6,34%	47	13,54%
40 a 50	22	6,34%	39	11,24%
50 a 60	13	3,75%	33	9,51%
60 a 80	10	2,88%	43	12,39%
80 a 100	16	4,61%	36	10,37%
100 a +	31	8,93%	50	14,41%
Total	347			

Tabela 4.51 - Erro Relativo para o Agrupamento 10

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	67	24,63%	125	45,96%
5 a 10	43	15,81%	25	9,19%
10 a 15	33	12,13%	16	5,88%
15 a 20	30	11,03%	11	4,04%
20 a 25	23	8,46%	13	4,78%
25 a 30	14	5,15%	14	5,15%
30 a 40	11	4,04%	21	7,72%
40 a 50	10	3,68%	13	4,78%
50 a 60	0	0,00%	10	3,68%
60 a 80	8	2,94%	13	4,78%
80 a 100	4	1,47%	2	0,74%
100 a +	29	10,66%	9	3,31%
Total	272			

A Tabela 4.52 totaliza os resultados dos erros relativos que foram apresentados nas Tabelas 4.42 até 4.51.

Tabela 4.52 - Erro Relativo para Todos os Agrupamentos - Empresa

Faixa de Erro (%)	Aplicando RNA Ponderada		Aplicando RNA Dedicada	
0 a 5	8221	13,71%	16786	27,99%
5 a 10	9701	16,17%	9618	16,04%
10 a 15	8720	14,54%	5741	9,57%
15 a 20	5242	8,74%	3867	6,45%
20 a 25	3494	5,83%	2818	4,70%
25 a 30	2324	3,87%	2089	3,48%
30 a 40	2666	4,45%	2971	4,95%
40 a 50	1586	2,64%	1965	3,28%
50 a 60	1094	1,82%	1423	2,37%
60 a 80	1470	2,45%	2086	3,48%
80 a 100	1139	1,90%	3020	5,04%
100 a +	14320	23,88%	7593	12,66%
Total	59.977			

Considerando o percentual dos erros na faixa de 0% a 20%, conclui-se que:

- A RNA Dedicada apresentou melhores resultados para os agrupamentos 1, 2, 7, 8 e 10;
- A RNA Ponderada apresentou melhor desempenho para os *clusters* 3, 4, 5, 6 e 9, o que representa 27,25% do total de transformadores.

Visto que para alguns agrupamentos a RNA Dedicada é melhor e para outros é a RNA Ponderada, na Tabela 4.53, é apresentado o resumo da aplicação da melhor rede neural para cada um dos *clusters*.

Tabela 4.53 - Comparação entre a Rede Empresa e o Agrupamento Melhorado

Faixa de Erro (%)	Resultado da Aplicação da melhor Rede Neural para cada um dos <i>clusters</i>	
0 a 5	15524	25,88%
5 a 10	11263	18,78%
10 a 15	6685	11,15%
15 a 20	3998	6,67%
20 a 25	2858	4,77%
25 a 30	2065	3,44%
30 a 40	2753	4,59%
40 a 50	1770	2,95%
50 a 60	1245	2,08%
60 a 80	1888	3,15%
80 a 100	2869	4,78%
100 a +	7059	11,77%
Total	59.977	

4.6 Análise dos Resultados e Perda Global

Utilizando-se as arquiteturas de rede neural descritas nos Itens 4.3, 4.4 e 4.5, pode-se determinar a perda global (todos os transformadores), valores esses somados na Tabela 4.54 (utilizando a melhor rede entre a rede ponderada e aquela treinada para cada *cluster*). Além disso, foi estimada, de forma aproximada, a quantidade de operações de multiplicação necessárias para o cálculo de uma única perda para cada uma das arquiteturas, o que fornece uma estimativa do tempo de processamento necessário.

Tabela 4.54 - Comparação da Perda Global Calculada e as Perdas Obtidas pelas RNAs Treinadas

	Perda Global (kWh)	Erro (%)	Operações Matemáticas de Soma e Multiplicação
Método Analítico	650744,5		$2*96*11+2 = 2.114$
Arquitetura do Item 4.3 (48 entradas)	714165,3	9,7%	$48*35+35*24+24*1 = 2.544$
Arquitetura do Item 4.4 (6 entradas)	482367,7	-25,96%	$6*18+18*10+10 = 298$
Arquitetura do Item 4.5 (9 entradas)	502157,8	-22,8%	$9*16+16*8+8 = 280$

Conclui-se que:

- Evidentemente, por representar melhor a curva de carga, a arquitetura do Item 4.3 foi a melhor, dado um erro global de 9,7% em relação ao calculado pelo método analítico.
- As arquiteturas dos Itens 4.4 e 4.5 tiveram, respectivamente, erros de 25,96% e 22,8, porém seu processamento ocorre em tempo menor.
- Deve ser ressaltado que se partiu do princípio de que o “método analítico” leva ao resultado correto, o que pode não ser absolutamente verdade. O uso da arquitetura em 4.5, juntamente com valores de perdas medidas, pode-se constituir num método com precisão razoável e tempo de processamento adequado.
- A rede neural descrita no Item 4.3 (24 pontos da curva de carga) apresenta como resultado uma precisão melhor que 5%, em 87% dos transformadores, e é a que apresenta o menor erro global. A desvantagem desse método é a quantidade de operações matemáticas necessárias para se chegar a este resultado; é maior que o necessário no método analítico, como pode ser observado na Tabela 4.54.
- Os resultados da rede neural descrita no Item 4.4 representam um melhor compromisso entre precisão e rapidez do que a do Item 4.3.

- A rede neural descrita no Item 4.5 apresenta uma precisão global tão boa quanto a do Item 4.4. Entretanto, deve-se observar que esse tipo de rede neural apresenta a vantagem de não necessitar do cálculo das curvas diárias de carregamento dos transformadores.

Capítulo 5

5 Conclusões, Contribuições e Futuros Desdobramentos

5.1 Conclusões

O método analítico é uma inovação interessante por utilizar dados normalmente existentes nas companhias distribuidoras de energia, como tipo de consumidor e consumo, e também por prescindir do fator de perdas e do fator de diversidade.

As arquiteturas de RNA apresentadas possuem precisão adequada ao problema. Também foi visto que, dependendo da que for escolhida, uma arquitetura pode apresentar a vantagem de não necessitar do cálculo das curvas diárias de carregamento dos transformadores.

5.2 Contribuições do Trabalho

O presente estudo foi construído sob a base teórica de vários outros trabalhos [4] a [17], que foram publicados ao longo da última década em periódicos, seminários e conferências de grande circulação, tais como: CIREN, IEEE e outros, tendo sua gênese a partir dos estudos conduzidos nos projetos do CED, Centro de Excelência de Distribuição de Energia Elétrica, IEE-USP.

Dessa forma, uma das contribuições deste trabalho consistiu na aplicação do conhecimento acumulado no cálculo da curva de carga de transformadores obtida a partir da agregação de curvas de carga típicas de consumidores e seu consumo no problema do cálculo de perdas técnicas na rede de distribuição. A aplicação de princípios estatísticos nessa curva de carga, durante o cálculo das perdas, permitiu a utilização de critérios mais fundamentados, conseguindo-se obter valores mais próximos às perdas reais, com a mesma quantidade de dados.

Desenvolveu-se uma metodologia inédita, denominada Método Analítico, que aplica técnicas estatísticas para o cálculo das perdas, partindo das curvas diárias de carregamento do transformador.

Por usar a agregação da curva dos consumidores, o método trata, de forma implícita, da diversidade da carga e prescinde do uso do fator de perdas.

Outro aspecto inovador foi a utilização de técnicas de redes neurais artificiais para o cálculo de perdas Joule. Nesse sentido, foram explorados diferentes arquiteturas de RNA, parâmetros de treinamento e técnicas de agrupamento, visando aperfeiçoar o cálculo. Foram estudadas também alternativas de representação do carregamento elétrico do segmento de rede, na precisão e velocidade dos cálculos. Estas alternativas incluem desde 48 entradas até 6 entradas. Também neste caso o fator de diversidade está implícito e não há necessidade do uso do fator de perdas. Todos os métodos mostraram-se eficientes.

5.3 Tópicos para Desenvolvimento

A arquitetura proposta, baseada nas formulações apresentadas, para a solução de problemas de estimação de perdas na rede de distribuição de energia elétrica é bastante flexível.

Logo, existe um vasto campo de investigação na utilização de alternativas dessa metodologia, no desenvolvimento de um protótipo de um sistema com base em redes neurais artificiais para a estimativa das perdas por segmento do sistema de distribuição.

Outros estudos poderão ser feitos para melhorar a precisão desse tipo de sistema, a partir de outras variáveis que possam influenciar nas perdas, dispensando, portanto, o conhecimento da topologia da rede da qual se deseja estimar as perdas.

Uma melhoria dessa metodologia, a ser testada, seria usar a alternativa de cálculo de perdas por RNA usando, no treinamento, valores de perdas medidos no lugar das perdas calculadas com o método analítico.

E, ainda, elaborar testes sistemáticos e desenvolver novos conceitos na aplicação dos métodos descritos no cálculo para redes primárias.

Referências

1. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço Energético Nacional 2004**, 169 p. ISS 0101-6636. CDU 620.9:553.04(81). Brasília, 2004. BRASIL. Disponível em <http://www.mme.gov.br/download.do?attachmentId=1288&download>
2. GUIMARÃES, L. C. **Visão da ABRADDEE**. 1º Workshop: Furto/Fraude de Energia e Furtos de Condutoros/Equipamentos. ABRADDEE. Disponível em http://abradee.org.br/Downloads/1_Worshop_Furtos/abradee.pdf
3. BRASIL. **Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica**. Portaria n. 466 de 12 de novembro de 1997 do DNAEE.
4. JARDINI, J. A.; SCHMIDT, H. P.; TAHAN, C. M. V.; OLIVEIRA, C. C. B.; AHN, S. U. **Distribution transformer loss of life evaluation: a novel approach based on daily load profiles**. IEEE Transactions on Power Delivery, United States, v. 15, n. 1, pp. 361-366, 2000.
5. LEAL, A. G.; JARDINI, J. A.; MAGRINI, L. C.; AHN, S. U.; BATTANI, D. **Management System of Distribution Transformer Loading**. In: Transmission and Distribution 2002. T&D 2002. São Paulo: IEEE, 2002.
6. VIEIRA, C. A. H. **Estabelecimento da curva diária de carga de consumidores residenciais**. São Paulo, SP. 1993. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
7. FIGUEREDO, F. M. **Estudo sobre curvas de carga de consumidores comerciais**. São Paulo, SP. 1994. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
8. CASOLARI, R. P. **Curva de carga de consumidores industriais - agregação com outras curvas**. São Paulo, SP. 1994. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
9. AHN, S. U. **Metodologia para Seleção e Gerenciamento de Transformadores de Distribuição, Aplicando Técnicas de Redes Neurais Artificiais**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP (PEA), 1997.
10. CASOLARI, R. P.; JARDINI, J. A. **Curvas de Carga de Consumidores e Aplicações na Engenharia de Distribuição**. São Paulo, 1999. v. 1. 500 p.
11. JARDINI, J. A.; TAHAN, C. M. V.; GOUVEA, M. R.; AHN, S. U.; FIGUEIREDO, F. M. **Curvas de carga típicas e agregação dos consumidores residenciais, comerciais e industriais de baixa tensão**. In: ENCONTRO LUSO-AFRO-BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO E EXPLORAÇÃO DE REDES DE ENERGIA, Rio de Janeiro, 1999. v. 4. pp. 391-397.

12. JARDINI, J. A.; TAHAN, C. M. V.; AHN, S. U.; CABRAL, S. L. S. **Determination of the typical daily load curve for residential area based on field measurements.** In: IEEE T&D, Chicago, 1994. v. 2. pp. 1-5.
13. JARDINI, J. A. **Curva de carga - posse e hábitos de consumo de energia elétrica.** IEEE em Revista, São Paulo, n. 1, p. 10, 1998.
14. JARDINI, J. A.; FIGUEIREDO, F. M.; FERRARI, E. L.; TAHAN, C. M. V. **Curvas de carga de consumidores comerciais e industriais em baixa tensão.** Eletricidade Moderna, São Paulo, v. 4, n. 289, pp. 190-201, 1998.
15. JARDINI, J. A.; SCHMIDT, H. P.; AHN, S. U. **Seleção e classificação de transformadores de distribuição utilizando redes neurais.** In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, São Paulo, 1998. pp. 647-650.
16. JARDINI, J. A.; TAHAN, C. M. V.; AHN, S. U.; CASOLARI, R. P.; FIGUEIREDO, F. M. **Daily load curves - data base established on field measurements.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION ON ELECTRICITY DISTRIBUTION, Buenos Aires, 1996.
17. JARDINI, J. A.; FERRARI, E. L.; FARIA, O.; AHN, S. U.; TAHAN, C. M. V. **Curva de carga de consumidores residenciais: avaliação estatística.** In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, n. 12, v. 10, Recife, 1994.
18. SCHMIDT, H. P.; OLIVEIRA, C. C. B.; MÉFFE, A.; ROSA, M. A. **Loss estimation in LV circuits using intelligent techniques - the RGE experience.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION, Barcelona, 2003.
19. AHN, S. U.; SCHMIDT, H. P.; BATTANI, D. **Fast evaluation of technical losses: the concept of equivalent current.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION, Barcelona, 2003.
20. SOUZA, R. C.; CHRISTO, E. S.; LESSA, F.; LESSA, M.; SALESSE, A. V. **Metodologia para Estimção e Previsão dos Perfis das Curvas de Carga por Subestação e Classes de Consumo.** In: II CITENEL - CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, ANEEL, Salvador, 2003. v. II, pp. 17-21.
21. CODI – COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO. **Método para Determinação, Análise e Otimização das Perdas Técnicas em Sistemas de Distribuição. Documento Técnico CODI-3.2.19.34.0,** Agosto, 1996.
22. MEFFE, A. **Metodologia para Cálculo de Perda Técnicas por Segmento do Sistema de Distribuição.** 2001. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: Carlos César Barioni de Oliveira.

23. OLIVEIRA, C. C. B.; KAGAN, N.; MEFFE, A.; JONATHAN, S.; CAPARROZ, S.; CAVARETTI, J. L. **A new method for the computation of technical losses in electrical power distribution systems.** Electricity Distribution, 2001. Part 1: Contributions. CIRED. 16th International Conference and Exhibition on (IEEE Conf. Public n. 482), June 2001, v. 5, pp. 18-21.
24. BATTANI, D. **Corrente equivalente para avaliação de perdas em redes primárias de distribuição de energia elétrica.** 1. 2004. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Orientador: Hernán Prieto Schmidt.
25. NADIRA, R.; BENCHLUCH, S.; DORTOLINA, C. A. **A novel approach to computing distribution losses.** Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2003 IEEE PES, 7-12 Sept. 2003, v. 2, pp. 659 - 663.
26. ALMEIDA, M. A. D.; SILVEIRA, D. B. F.; DE MEDEIROS, M. F., JR. **Estimating loads in distribution feeders using a state estimator algorithm with additional adjustment of transformers loading factors.** Circuits and Systems, 2003. ISCAS '03. Proceedings of the 2003 International Symposium on, v. 3, 25-28, May 2003. Pp. III-328 - III - 331, v. 3.
27. DAVIDSON, I. E. **Evaluation and effective management of non-technical losses in electrical power networks.** African Conference in Africa, 2002. IEEE AFRICON. 6th, v. 1, 2-4 Oct. 2002, pp. 473 - 477.
28. DAVIDSON, I. E.; ODUBIYI, A.; KACHIENGA, M. O.; MANHIRE, B. **Technical loss computation and economic dispatch model for T&D systems in a deregulated ESI.** Power Engineering Journal, v. 16, Issue 2, April 2002, pp. 55-60.
29. KINNUNEN, M.; LAKERVI, E.; KARKKAINEN, S. **Estimation and role of distribution system losses in open markets.** Power System Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002. International Conference on, 13-17 Oct. 2002, v. 2, pp.a 897-901.
30. STRAUCH, M. **Desenvolvimento de metodologia para cálculo de perdas elétricas em redes de distribuição de baixa tensão.** 2002. 103 f. Dissertação (Mestrado em Regulação da Indústria de Energia), Universidade de Salvador, Salvador, BA.
31. FERREYRA, R. O.; PAOLETICH, P. J. **Model for losses calculation and breakdown in distribution systems.** Electricity Distribution, 2001. Part 1: Contributions. CIRED. 16th International Conference and Exhibition on (IEEE Conf. Publ n. 482), 18-21 June 2001, v. 5, p. 5.
32. POVEDA, M. **A new method to calculate power distribution losses in an environment of high unregistered loads.** Transmission and Distribution Conference, 1999 IEEE, 11-16 April 1999, v. 2, pp. 609- 614.

33. GRAINGER, J. J.; KENDREW, T. J. **Evaluation of technical losses on electric distribution systems**. Electricity Distribution, 1989. CIRED 1989. 10th International Conference on, 8-12 May 1989, v. 6, pp. 488- 493.
34. DISTRIBUTION TRANSFORMER DIVISION ATHENS, GEORGIA. **Distribution Transformer Guide**. Jefferson City, Missouri. June, 1979. Revised April, 1986.
35. NEUPAUER, J. C. **Unbalanced Open-Wye Open-Delta Transformer Banks**. A.I.E.E Transactions PAS, v. 75, p. III, pp. 570-572, August 1956.
36. NEUPAUER, J. C.; SMITH, C. L. **Motor-Starting Lamp Flicker on Open-Delta Transformer Banks**. A.I.E.E. Transactions PAS, v. 77, p. III, pp. 1568-1576, February 1959.
37. SEEMATTER, S. C.; RICHARD, E. F. **Computer Analysis of 3-Phase — Induction Motor Operation on Rural Open Delta Distribution Terms**. Trans. on Industry Applications, v. 1 a 12, n. 5, 1976.
38. BRAGA, A. P.; LUDERMIR, T. B.; CARVALHO, A. C. P. L. F. **Redes Neurais Artificiais - Teoria e Aplicações**. Editora LTC, 2000.
39. SEEMATTER, S. C.; RICHARD, E. F. **Computer Analysis of 3-Phase — Induction Motor Operation on Rural Open Delta Distribution Systems**. IEEE Trans. on Industry Applications, v. 1 a 12, n. 5, pp 479-485, Sept./Oct. 1976.
40. ANDERSON D. R.; SWEENEY D. J.; WILLIAMS T. A. **Estatística aplicada à administração e economia**. 2^a ed. São Paulo: Pioneira, 2002.
41. LEAL, A. G. ; JARDINI, J. A.; MAGRINI, L. C.; AHN, S. U.; Schmidt, H. P.; CASOLARI, R. P. **Distribution System Losses Evaluation by ANN Approach**. In: 2006 Power System Conference and Exposition, 2006, Atlanta, USA.
42. YASUOKA, J. **Previsão de carga em sistemas de distribuição de energia elétrica utilizando redes neurais artificiais**. 2002. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Orientador: Hernán Prieto Schmidt.
43. HASHIMOTO, K. **Metodologia Agregada para Avaliação de Perdas em Sistemas de Distribuição**. CSPE – EPUSP, Setembro de 2000.
44. TAHAN, C. M. V.; HASHIMOTO, K.; PENTEADO, A. A.; ARANGO, H.; PELEGRINI, M. A. **Experiência e Propostas para Regulação do Nível de Perdas Técnicas em Distribuidoras de Energia Elétrica**. In: V CIERTEC - SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DE PERDAS, EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA E PROTEÇÃO DA RECEITA NO SETOR ELÉTRICO, 2005, Maceió.
45. GOUVEA, M. R.; TAHAN, C. M. V.; HASHIMOTO, K. **Aggregated Methodology for the Evaluation of Technical Losses in Distribution Systems**. In: CSPE/EPUSP - T&D - IEEE/PES T&D 2002, 2001, São Paulo.

46. GOUVEA, M. R.; HASHIMOTO, K.; MALIUK, I. R. P.; TAHAN, C. M. V. **Metodologia Agregada para Avaliação de Perdas Técnicas em Sistemas de Distribuição.** In: XIV SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, Foz do Iguaçu, 2000.
47. GOUVEA, M. R.; MALIUK, I. R. P.; HASHIMOTO, K. **Metodologia Agregada para Avaliação das Perdas de Distribuição de Energia Elétrica.** In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE REGULÇÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS CONCEDIDOS, Bahia, 2000.
48. TAHAN, C. M. V.; HASHIMOTO, K.; MALIUK, I. R. P.; GOUVEA, M. R. **Metodologia Agregada para Avaliação de Perdas Técnicas em Sistemas de Distribuição.** In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 14, 2000, Foz do Iguaçu, Brasil.
49. CAMPOS, M. M.; SAITO, K. **Sistemas Inteligentes em Controle e Automação de Processos.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2004.
50. BEALE, R.; JACKSON, T. **Neural Computing: an Introduction.** Bristol: Adam Hilger, 1990.
51. MUELLER, A. **Uma Aplicação de Redes Neurais Artificiais na Previsão do Mercado Acionário.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Julho de 1996.
52. ANDRADE, L. P. **Procedimento Interativo de Agrupamento de Dados.** Rio de Janeiro, 2004, v. 3, p. 193, 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M. Sc., Engenharia Civil, 2004) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
53. MACHADO FILHO, O. M. **Exploração e Análise de Agrupamento de Dados.** Tese de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.

A n e x o s

I. Anexo I – Alocação da Carga nos Transformadores

Existem várias ligações para o transformador de distribuição, e para tais é necessário definir a alocação de carga do consumidor. Este anexo é um extrato do livro *Distribution Transformer Guide* [34], cuja base teórica é fundamentada pelas referências [35], [36] e [37].

I.A. Transformador Trifásico

Quando o transformador for trifásico, 100% da energia consumida será fornecida equilibradamente pelo transformador trifásico.

I.B. Estrela-Aberta Aterrada / Delta-Aberto Atrasado (*Open Delta Lagging*)

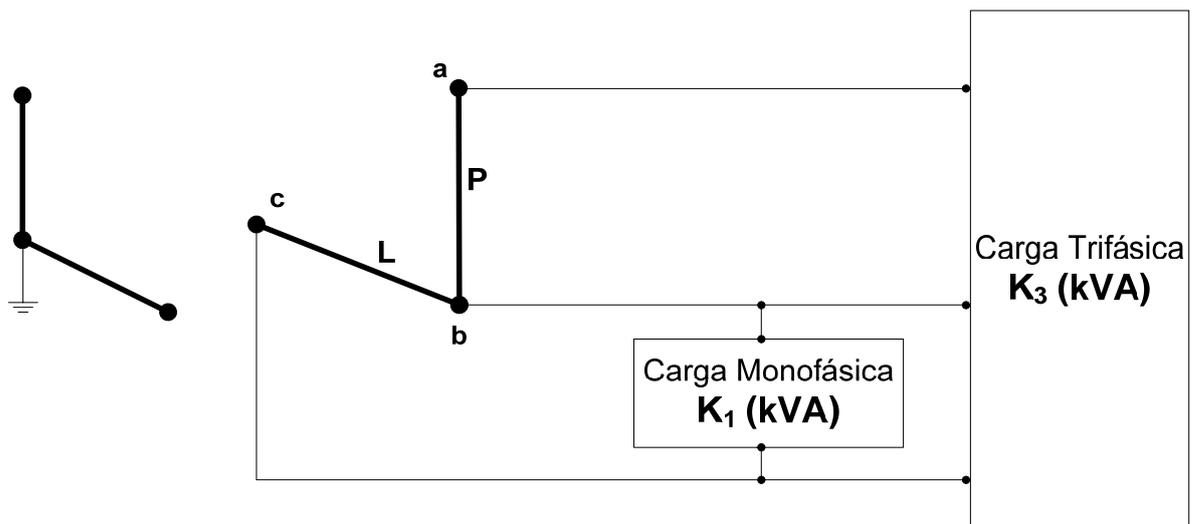


Figura I.1 - Ligação estrela-aberta aterrada – delta aberto atrasado

$$KVA_L = \left[\frac{K_3^2}{3} + K_1^2 + \frac{2 * K_3 * K_1}{\sqrt{3}} * \cos(\alpha - 30^\circ) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$KVA_P = \frac{K_3}{\sqrt{3}}$$

Em que:

kVA_L – carga em kVA fornecida pelo transformador Luz;

kVA_P – carga em kVA fornecida pelo transformador de força;

K_1 – carga monofásica em kVA;

K_3 – carga trifásica balanceada em kVA;

$\alpha = \theta_3 - \theta_1$ em graus;

θ_3 – ângulo do fator da potência trifásica;

θ_1 – ângulo do fator da potência monofásica.

Nota: no Brasil a carga monofásica é ligada ao transformador denominado Luz, que tem o centro aterrado formando o 110/220. Neste caso, precisa ser examinada a validade das equações deste anexo.

I.C. Estrela-Aberta Aterrada / Delta-Aberto Adiantado (*Open Delta Leading*)

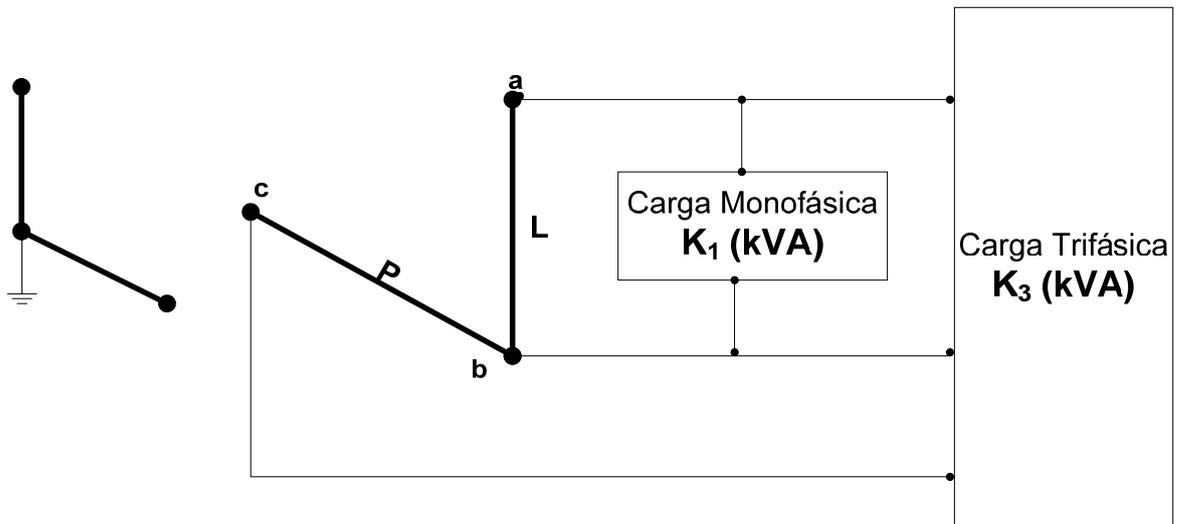


Figura I.2 - Ligação estrela-aberta aterrada – delta aberto adiantado

$$KVA_L = \left[\frac{K_3^2}{3} + K_1^2 + \frac{2 * K_3 * K_1 * \cos(\alpha + 30^\circ)}{\sqrt{3}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$KVA_P = \frac{K_3}{\sqrt{3}}$$

Em que:

kVA_L – carga em kVA fornecida pelo transformador Luz;

kVA_P – carga em kVA fornecida pelo transformador de força;

K_1 – carga monofásica em kVA;

K_3 – carga trifásica balanceada em kVA;

$\alpha = \theta_3 - \theta_1$ em graus;

θ_3 – ângulo do fator da potência trifásica;

θ_1 – ângulo do fator da potência monofásica.

I.D. Delta-Aberto / Delta-Aberto

Independentemente de a montagem ser delta-aberto adiantado ou atrasado, as equações de cálculo da distribuição de carga nos transformadores de força e de luz são as mesmas que na montagem do banco de transformadores estrela aberta aterrada/Delta Aberto.

I.E. Estrela / Delta

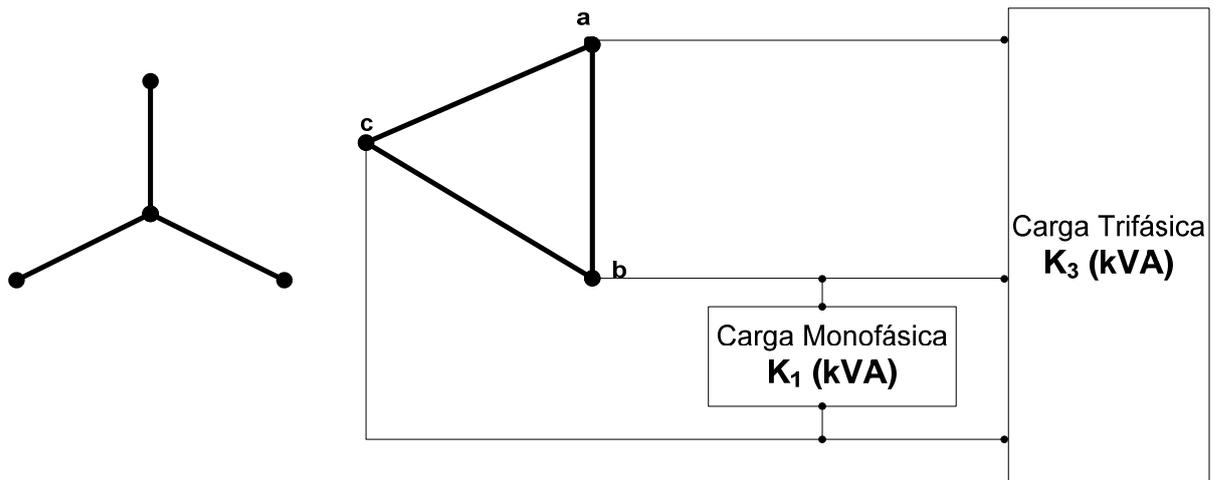


Figura I.3 - Ligação estrela – delta

$$KVA_{ab} = \frac{1}{3} * [K_3^2 + K_1^2 - 2 * K_3 * K_1 * \cos(\alpha + 120^\circ)]^{\frac{1}{2}}$$

$$KVA_{bc} = \frac{1}{3} * [K_3^2 + 4 * K_1^2 + 4 * K_3 * K_1 * \cos(\alpha)]^{\frac{1}{2}}$$

$$KVA_{ca} = \frac{1}{3} * [K_3^2 + K_1^2 - 2 * K_3 * K_1 * \cos(\alpha + 120^\circ)]^{\frac{1}{2}}$$

Em que:

kVA_{ab} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases a e b;

kVA_{bc} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases b e c;

kVA_{ca} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases c e a;

K_1 – carga monofásica em kVA;

K_3 – carga trifásica balanceada em kVA;

$\alpha = \theta_3 - \theta_1$ em graus;

θ_3 – ângulo do fator da potência trifásica;

θ_1 – ângulo do fator da potência monofásica.

I.F. Delta / Delta

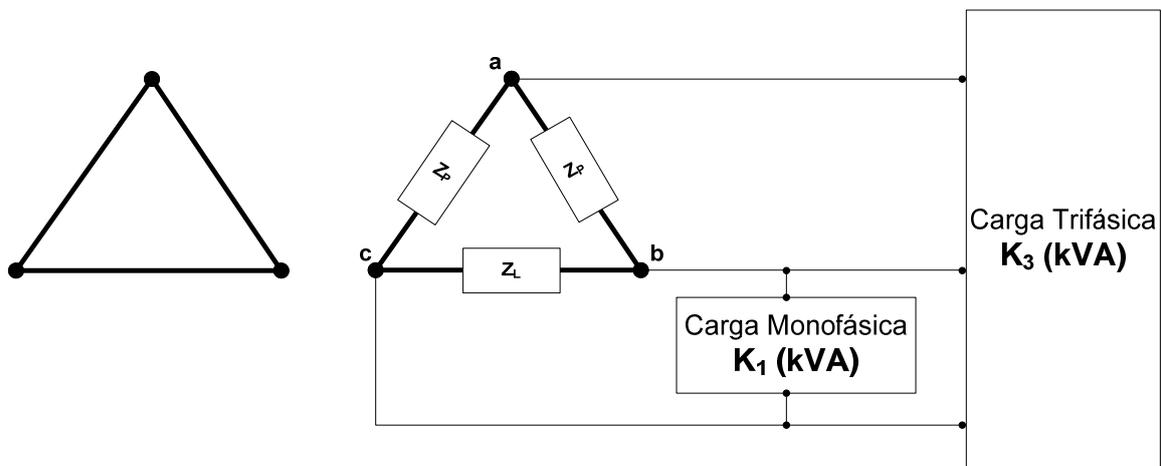


Figura I.4 - Ligação delta – delta

$$KVA_{ab} = \frac{1}{3} * \left[M_4^2 * K_3^2 + M_3^2 * K_1^2 - 2 * M_3^2 * M_4^2 * K_3 * K_1 * \cos(\eta_4 - \eta_3 - \alpha) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$KVA_{bc} = \frac{1}{M_1} * \left[K_3^2 + 4 * K_1^2 + 4 * K_3 * K_1 * \cos(\alpha) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$KVA_{ca} = \frac{1}{3} * \left[M_2^2 * K_3^2 + M_3^2 * K_1^2 - 2 * M_2 * M_3 * K_3 * K_1 * \cos(\eta_2 - \eta_3 - \alpha) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Em que:

kVA_{ab} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases a e b;

kVA_{bc} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases b e c;

kVA_{ca} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases c e a;

K₁ – carga monofásica em kVA;

K₃ – carga trifásica balanceada em kVA;

$\alpha = \theta_3 - \theta_1$ em graus;

θ_3 – ângulo do fator da potência trifásica;

θ_1 – ângulo do fator da potência monofásica;

Z_p, Z_L – impedância em Ohms do enrolamento do transformador.

$$M_1 = \left| \frac{2 * Z_p + Z_L}{Z_p} \right|$$

$$M_3 = \left| \frac{3 * Z_L}{2 * Z_p + Z_L} \right|$$

$$M_2 = \left| \frac{-\frac{3}{2} * Z_L - j \frac{\sqrt{3}}{2} * (2 * Z_p + Z_L)}{2 * Z_p + Z_L} \right|$$

$$M_4 = \left| \frac{-\frac{3}{2} * Z_L + j \frac{\sqrt{3}}{2} * (2 * Z_p + Z_L)}{2 * Z_p + Z_L} \right|$$

η_1, η_2, η_3 e η_4 representam os ângulos em graus dos valores M das equações acima.

I.G. Delta / Delta com Transformadores com mesma impedância

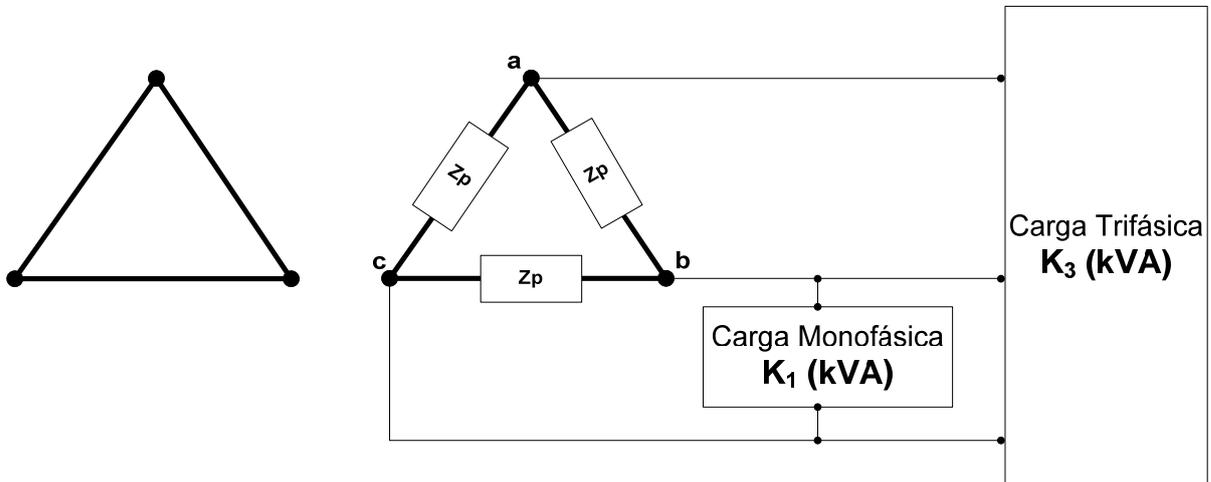


Figura I.5 - Ligação delta – delta

$$KVA_{ab} = \frac{1}{3} * [K_3^2 + K_1^2 - 2 * K_3 * K_1 * \cos(120^\circ - \alpha)]^{\frac{1}{2}}$$

$$KVA_{bc} = \frac{1}{3} * [K_3^2 + 4 * K_1^2 + 4 * K_3 * K_1 * \cos(\alpha)]^{\frac{1}{2}}$$

$$KVA_{ca} = \frac{1}{3} * [K_3^2 + K_1^2 - 2 * K_3 * K_1 * \cos(120^\circ + \alpha)]^{\frac{1}{2}}$$

Em que:

kVA_{ab} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases a e b;

kVA_{bc} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases b e c;

kVA_{ca} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases c e a;

K_1 – carga monofásica em kVA;

K_3 – carga trifásica balanceada em kVA;

$\alpha = \theta_3 - \theta_1$ em graus;

θ_3 – ângulo do fator da potência trifásica;

θ_1 – ângulo do fator da potência monofásica.

I.H. Delta / Delta com carga trifásica, mesmo ângulo de impedância para Z_P e Z_L

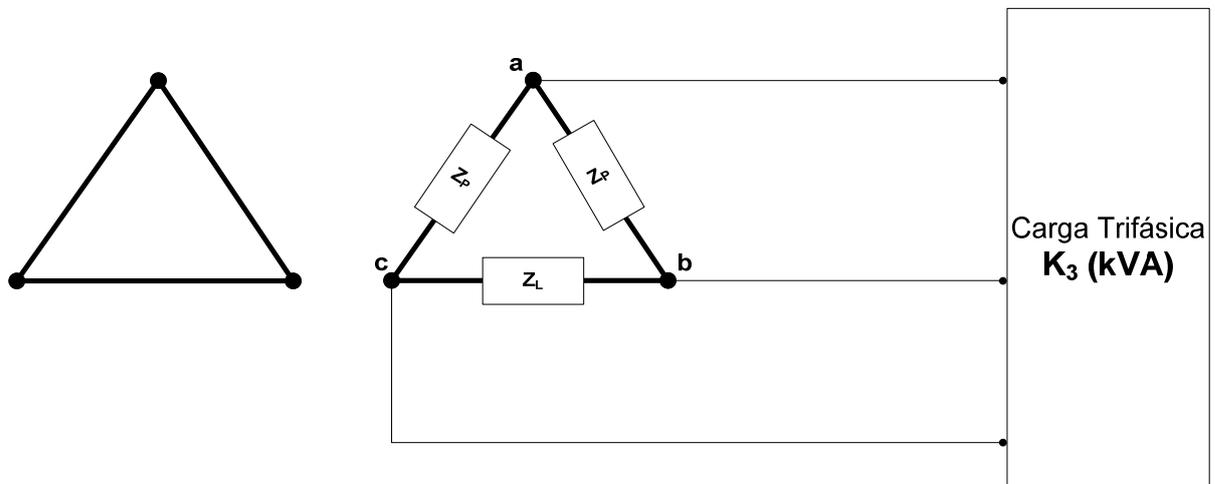


Figura I.6 - Ligação delta – delta com carga trifásica, mesmo ângulo de impedância para Z_P e Z_L
 Equações de carregamento quando a ligação delta-delta está conectada a apenas uma carga trifásica balanceada. Essas equações somente podem ser aplicadas quando o ângulo de impedância de todos os transformadores for idêntico.

$$KVA_{ab} = \frac{K_3}{\sqrt{3}} * \frac{\sqrt{|Z_L|^2 + |Z_P| * |Z_L| + |Z_L|^2}}{2 * |Z_P| + |Z_L|}$$

$$KVA_{bc} = K_3 * \frac{|Z_P|}{2 * |Z_P| + |Z_L|}$$

$$KVA_{ca} = KVA_{ab}$$

Em que:

kVA_{ab} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases a e b;

kVA_{bc} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases b e c;

kVA_{ca} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases c e a;

K_1 – carga monofásica em kVA;

K_3 – carga trifásica balanceada em kVA;

$|Z_P|$ = Módulo da Impedância Z_P ;

$|Z_L|$ – Módulo da Impedância Z_L .

I.I. Delta / Estrela Aterrada – Carga entre fase e neutro

Com um banco de transformadores ligados em delta – estrela aterrada, uma carga monofásica pode ser conectada tanto entre fase e neutro, como na Figura I.7, quanto entre fases, como na figura I.8. Esse tipo de ligação é utilizado para fornecer uma combinação de cargas trifásicas e monofásicas. Cargas secundárias monofásicas podem ser conectadas tanto entre fase e neutro, quanto entre fases.

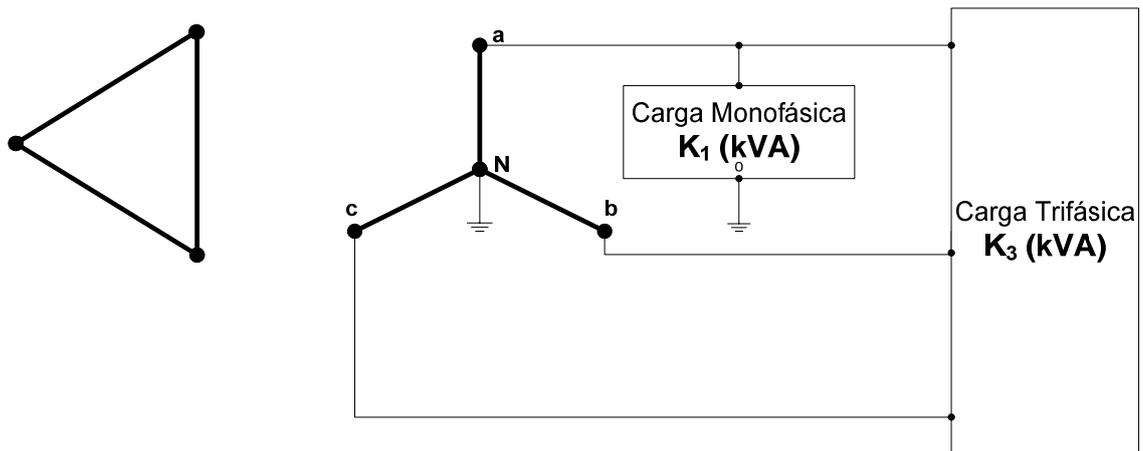


Figura I.7 - Ligação estrela-aberta aterrada – delta aberto atrasado

$$KVA_{ab} = \left[\frac{K_3^2}{9} + K_1^2 - \frac{2}{3} * K_3 * K_1 * \cos(120^\circ - \alpha) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$KVA_{bc} = \frac{K_3}{3}$$

$$KVA_{ca} = \frac{K_3}{3}$$

Em que:

kVA_{ab} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases a e N;

kVA_{bc} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases b e N;

kVA_{ca} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases c e N;

K_1 – carga monofásica em kVA;

K_3 – carga trifásica balanceada em kVA;

$\alpha = \theta_3 - \theta_1$ em graus;

θ_3 – ângulo do fator da potência trifásica;

θ_1 – ângulo do fator da potência monofásica.

I.J. Delta / Estrela Aterrada – Carga entre fases

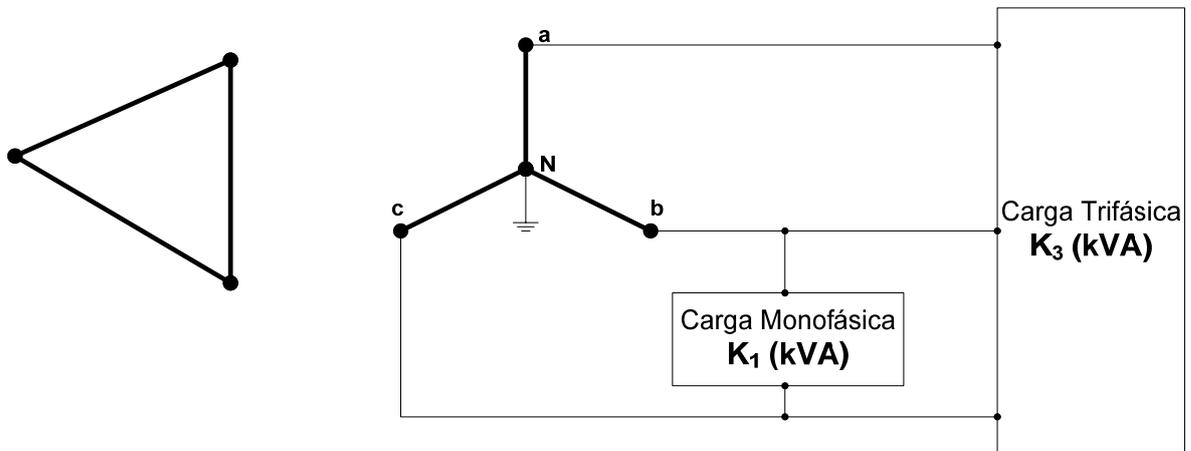


Figura I.8 - Ligação delta-estrela aterrada

$$KVA_a = \frac{K_3}{3}$$

$$KVA_b = \left[\frac{K_3^2}{9} + \frac{K_1^2}{3} + \frac{2 * K_3 * K_1}{3 * \sqrt{3}} * \cos(\alpha + 30^\circ) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$KVA_c = \left[\frac{K_3^2}{9} + \frac{K_1^2}{3} + \frac{2 * K_3 * K_1}{3 * \sqrt{3}} * \cos(\alpha - 30^\circ) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Em que:

kVA_{ab} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases a e N;

kVA_{bc} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases b e N;

kVA_{ca} – carga em kVA fornecida pelo transformador conectado entre as fases c e N;

K_1 – carga monofásica em kVA;

K_3 – carga trifásica balanceada em kVA;

$\alpha = \theta_3 - \theta_1$ em graus;

θ_3 – ângulo do fator da potência trifásica;

θ_1 – ângulo do fator da potência monofásica.

II. Anexo II – Curvas de Carga Típicas dos Consumidores

Tabela II.1 - Atividades de Classe Residencial

Código da Atividade	Descrição
0001	Residencial - Abaixo de 200 kWh / Mês
0002	Residencial - (201 a 400) kWh / Mês
0003	Residencial - (401 a 500) kWh / Mês
0004	Residencial - Acima de 500 kWh / Mês

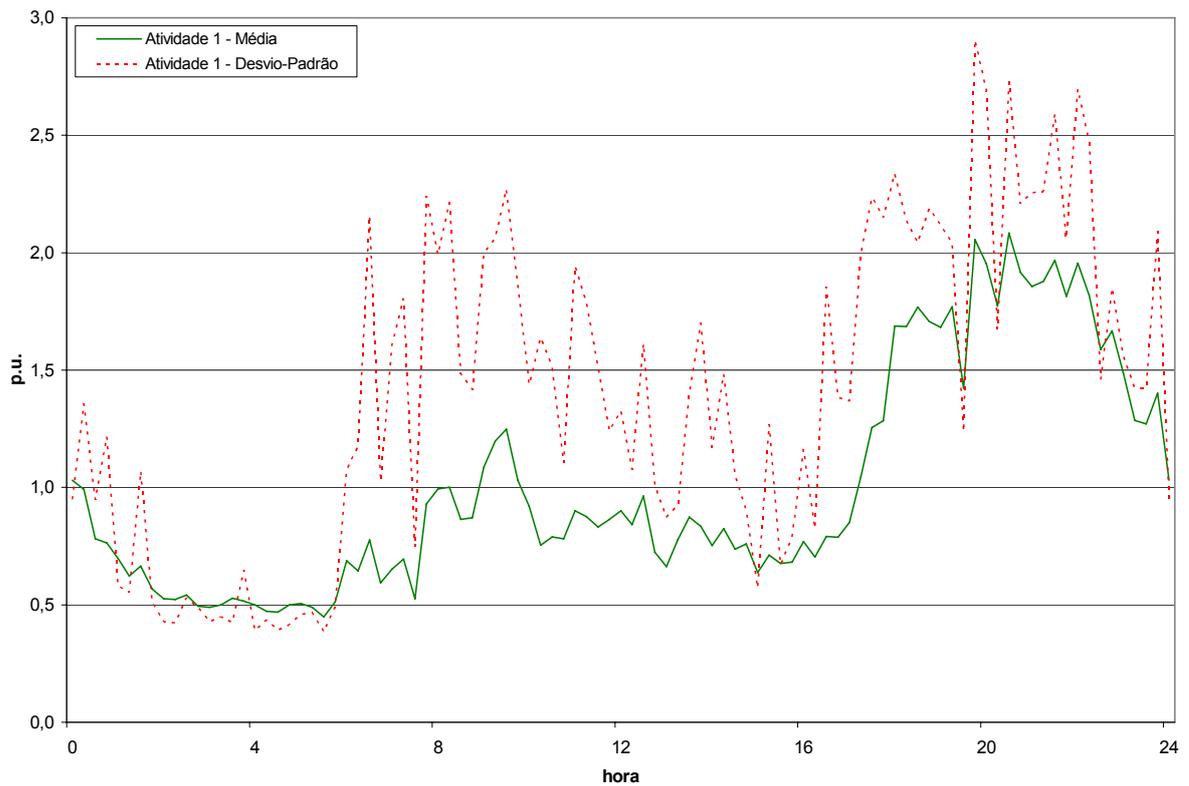


Figura II.1 - Curva de Carga Residencial - Abaixo de 200 kWh / Mês

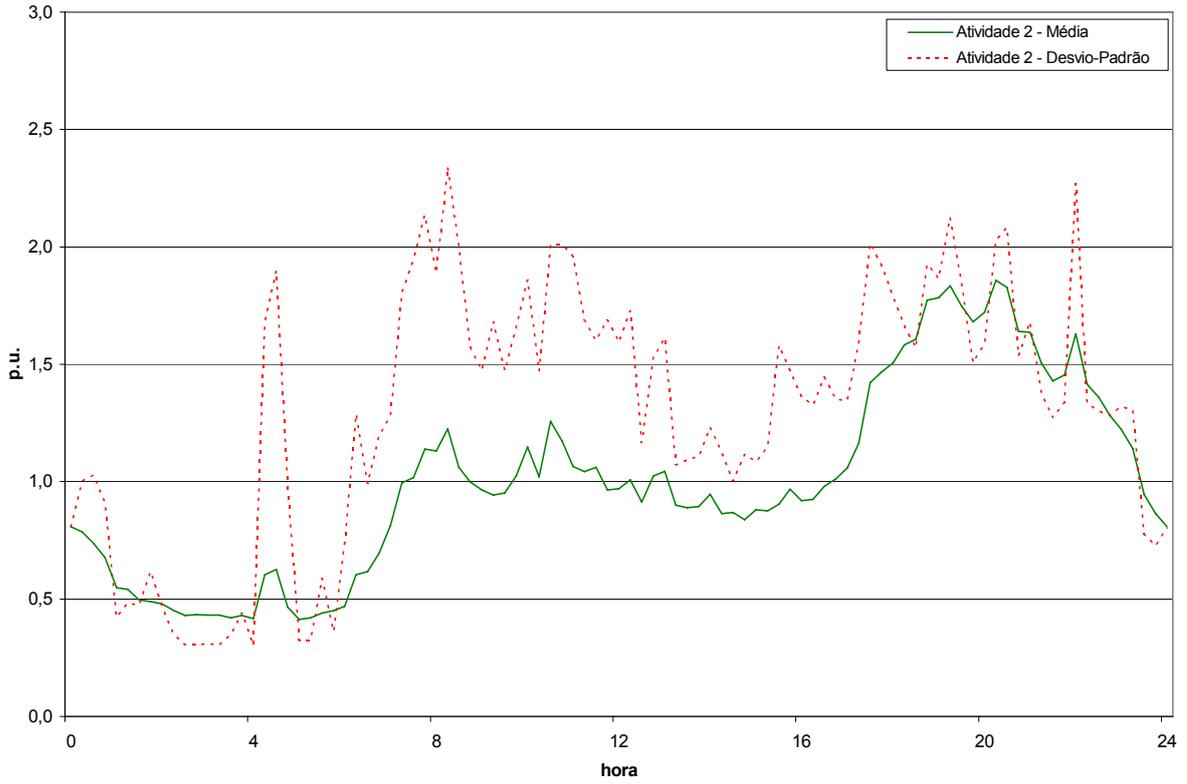


Figura II.2 - Curva de Carga Residencial - (201 a 400) kWh / Mês

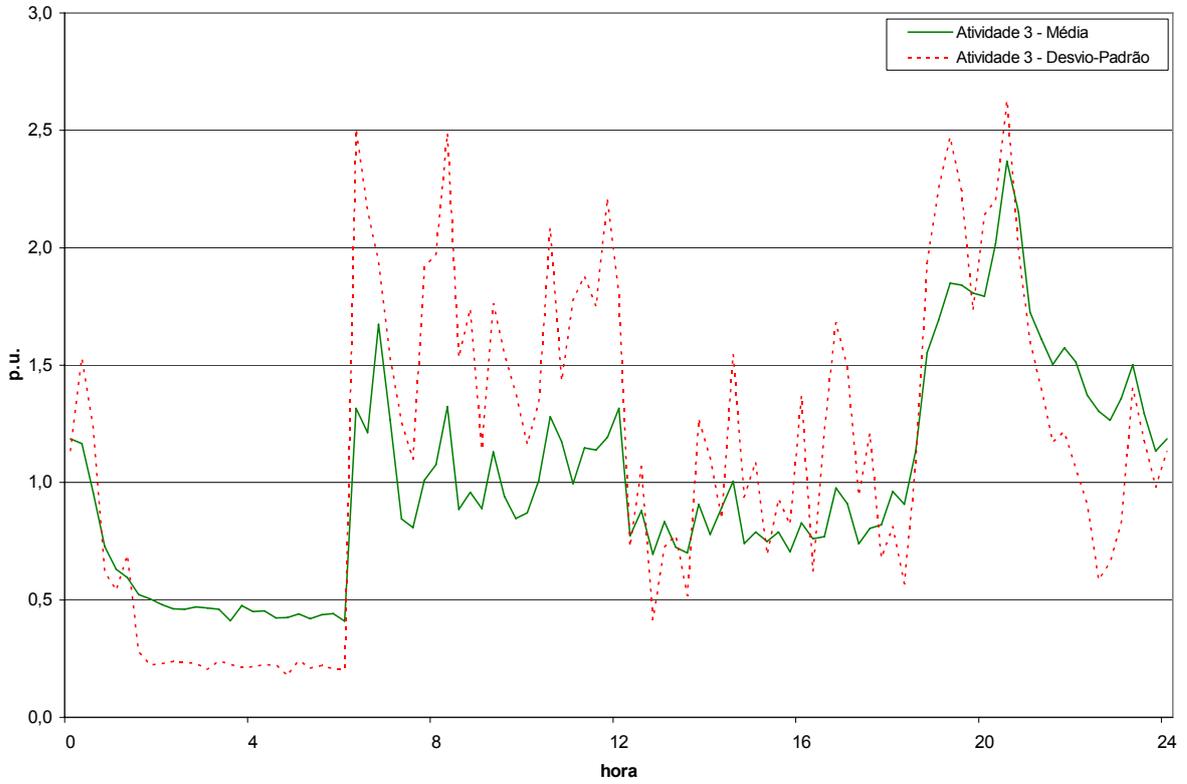


Figura II.3 - Curva de Carga Residencial - (401 a 500) kWh / Mês

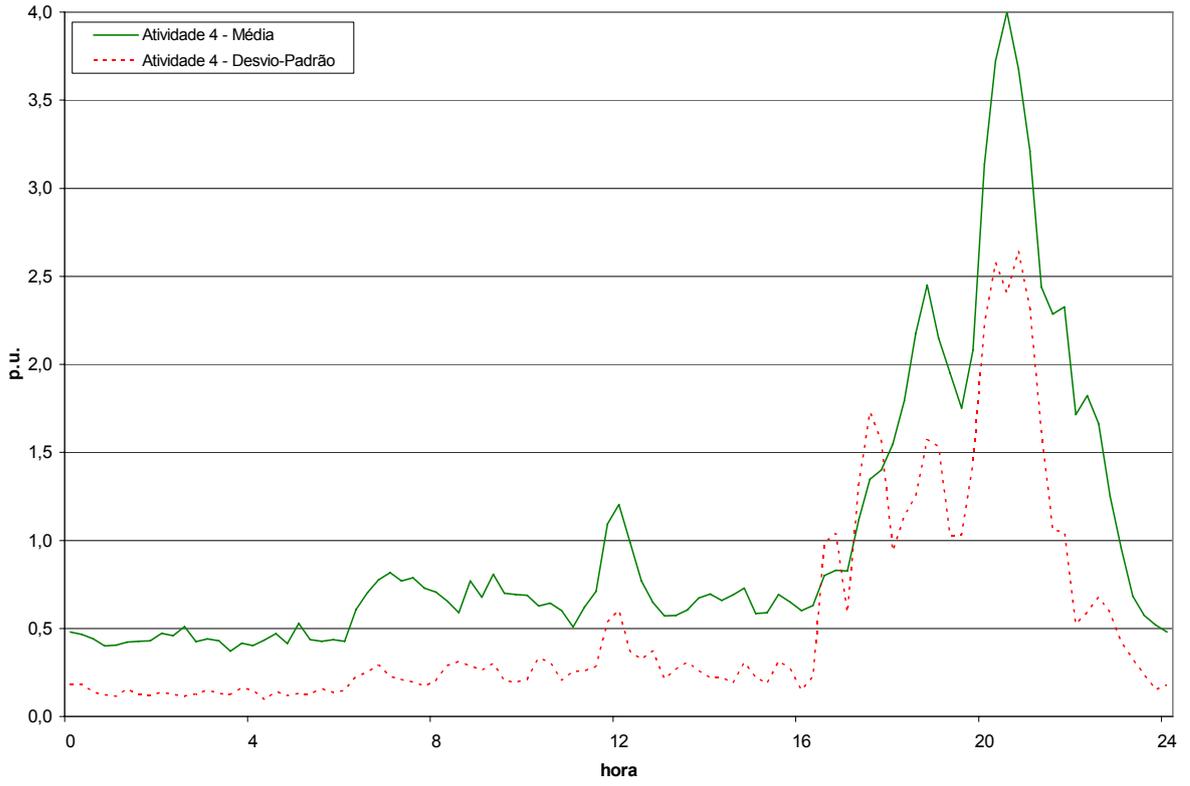


Figura II.4 - Curva de Carga Residencial - Acima de 500 kWh / Mês

Tabela II.2 - Atividades de Classe Comercial

Código da Atividade	Descrição
5048	Garagens e Estacionamento de Veículos
5211	Hotéis e Motéis
5221	Restaurantes e Lanchonetes
5222	Bares, Botequins, Cafés, Confeitarias e Sorveterias
5229	Outros Serviços de Alimentação Não Especificados ou Não Classificados
5322	Manutenção e Conservação de Veículos em Geral
5410	Serviços de Higiene – Barbearias, Saunas, Lavanderias etc.
5433	Assistência Médica, Odontológica e Veterinária
5465	Estabelecimentos Particulares de Cursos Livres
5761	Escritório de Empresa de Comércio Varejista
5769	Escritório de Empresa de Atividade Não Especificada ou Não Classificada
5900	Bancos Comerciais e Caixas Econômicas
6005	Comércio Atacadista de Ferragens e Produtos Metalúrgicos
6009	Comércio Atacadista de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos para Uso Comercial, Profissional e Doméstico
6014	Comércio Atacadista de Papel, Impressos e Artigos de Escritório
6022	Comércio Atacadista de Leite e Derivados
6029	Comércio Atacadista de Produtos Importados
6031	Comércio de Mercadorias em Geral, sem Produtos Alimentícios
6101	Comércio Varejista de Ferragens e Produtos Metalúrgicos
6102	Comércio Varejista de Máquinas e Aparelhos Elétricos
6103	Comércio Varejista de Veículos
6104	Comércio Varejista de Veículos e Acessórios
6105	Comércio Varejista de Acessórios para Veículos
6106	Comércio Varejista de Móveis, Artigos de Habitação e de Utilidade Doméstica
6107	Comércio Varejista de Livros, Papel, Impressos e Artigos de Escritório
6108	Comércio Varejista de Produtos Químicos e Farmacêuticos
6109	Comércio Varejista de Combustíveis e Lubrificantes
6111	Comércio Varejista de Tecidos
6112	Comércio Varejista de Artigos de Vestuário
6113	Comércio Varejista de Carnes e Peixes
6114	Mercearias, Armazéns e Padarias
6115	Supermercados
6119	Comércio Varejista de Brinquedos, Artigos Desportivos, Recreativos e para Presentes - Exclusive Magazines
6199	Comércio Varejista de Produtos Não Especificados ou Não Classificados
6330	Administração de Imóveis

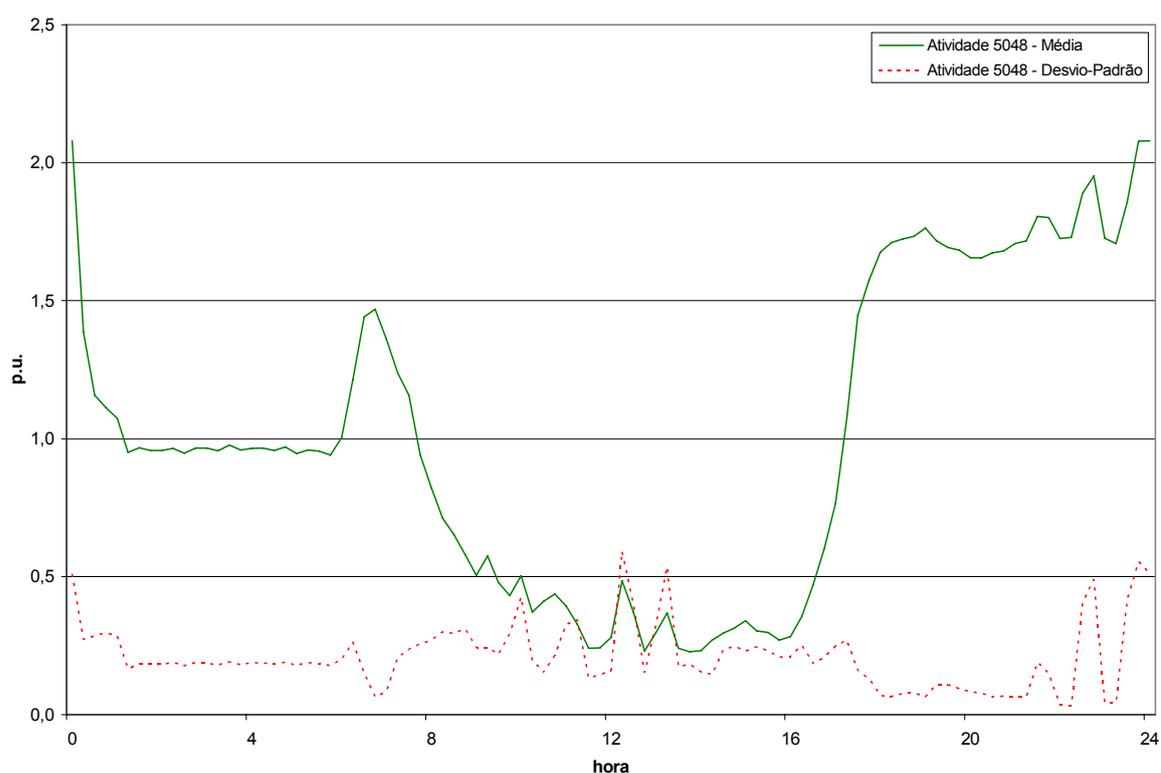


Figura II.5 - Curva de Carga de Garagens e Estacionamento de Veículos

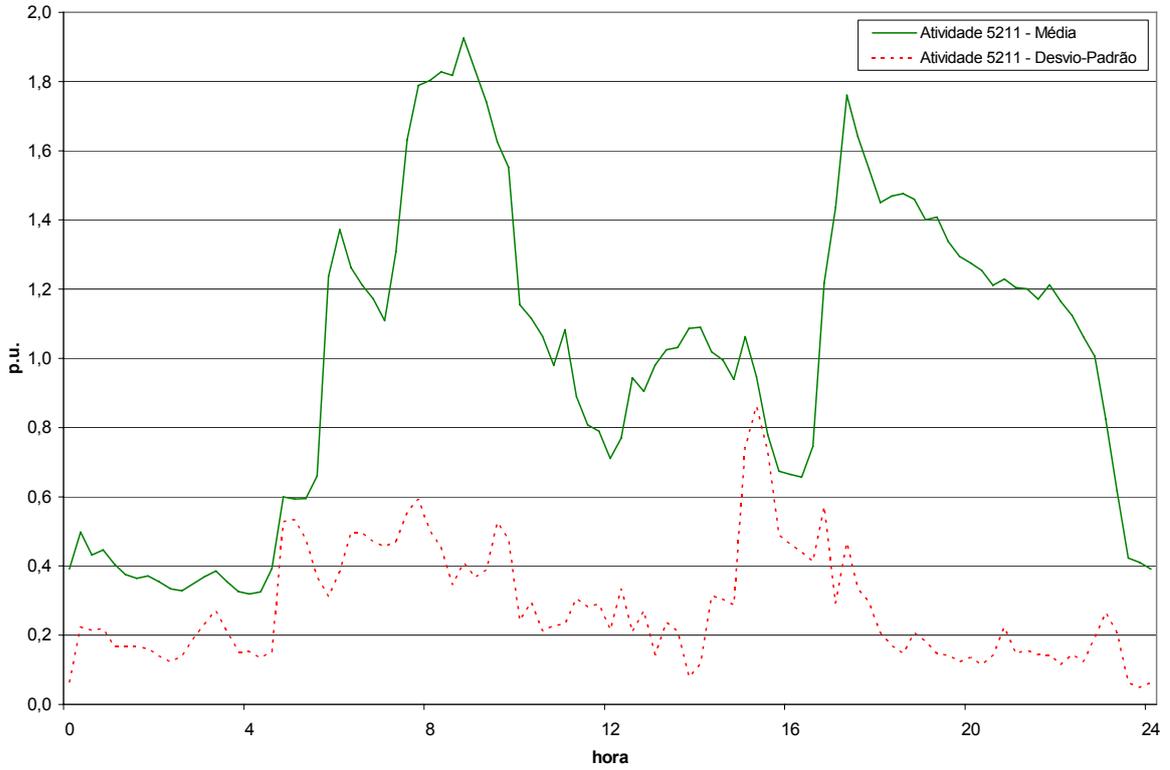


Figura II.6 - Curva de Carga de Hotéis e Motéis

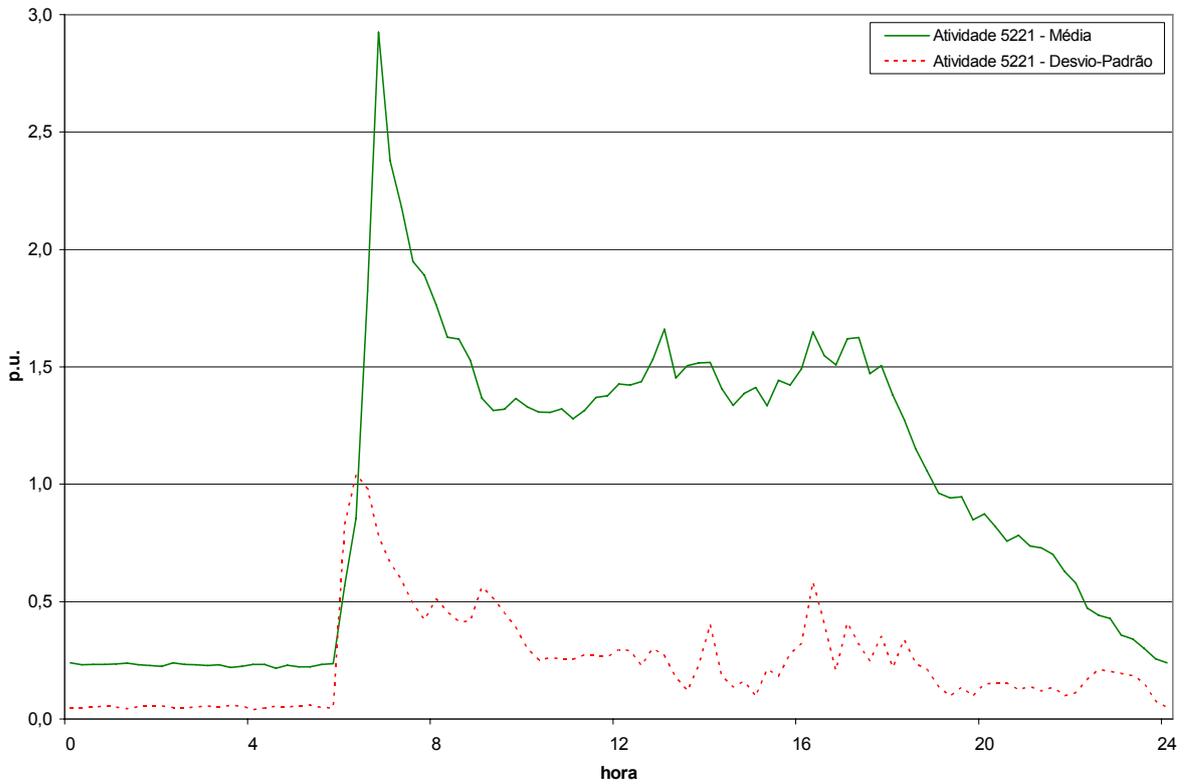


Figura II.7 - Curva de Carga de Restaurantes e Lanchonetes

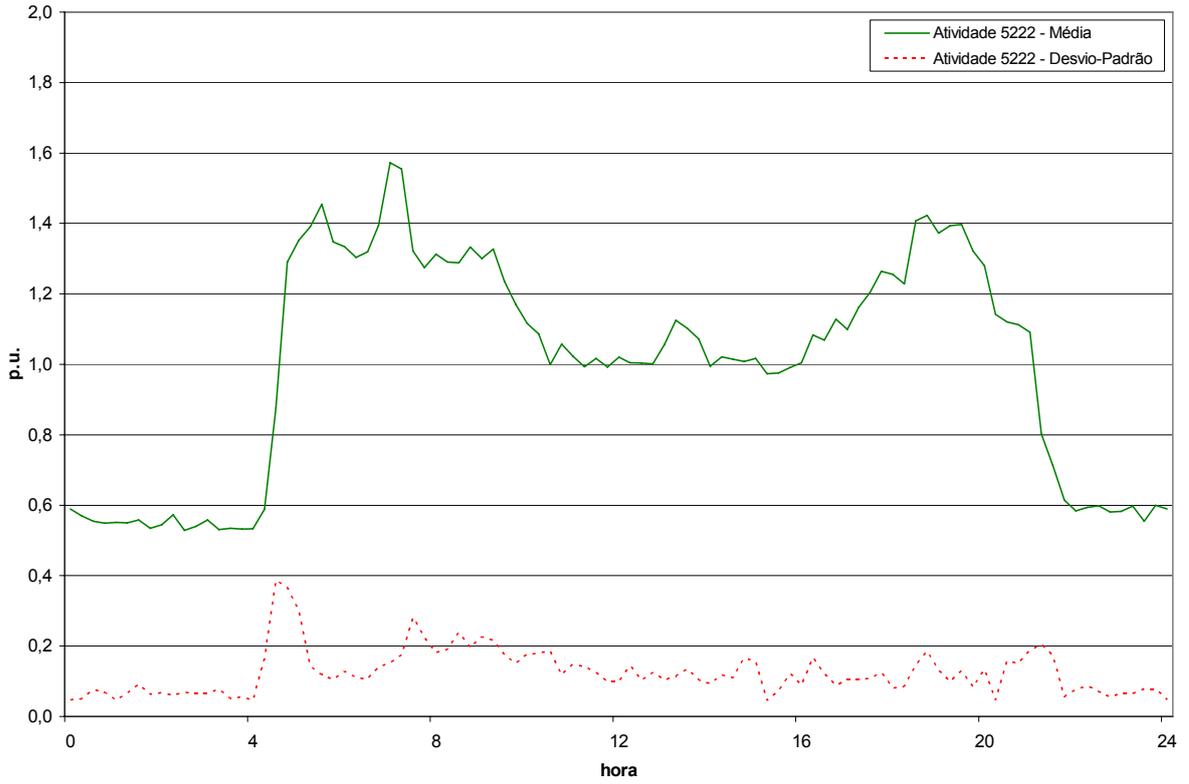


Figura II.8 - Curva de Carga de Bares, Botequins, Cafés, Confeitarias e Sorveterias

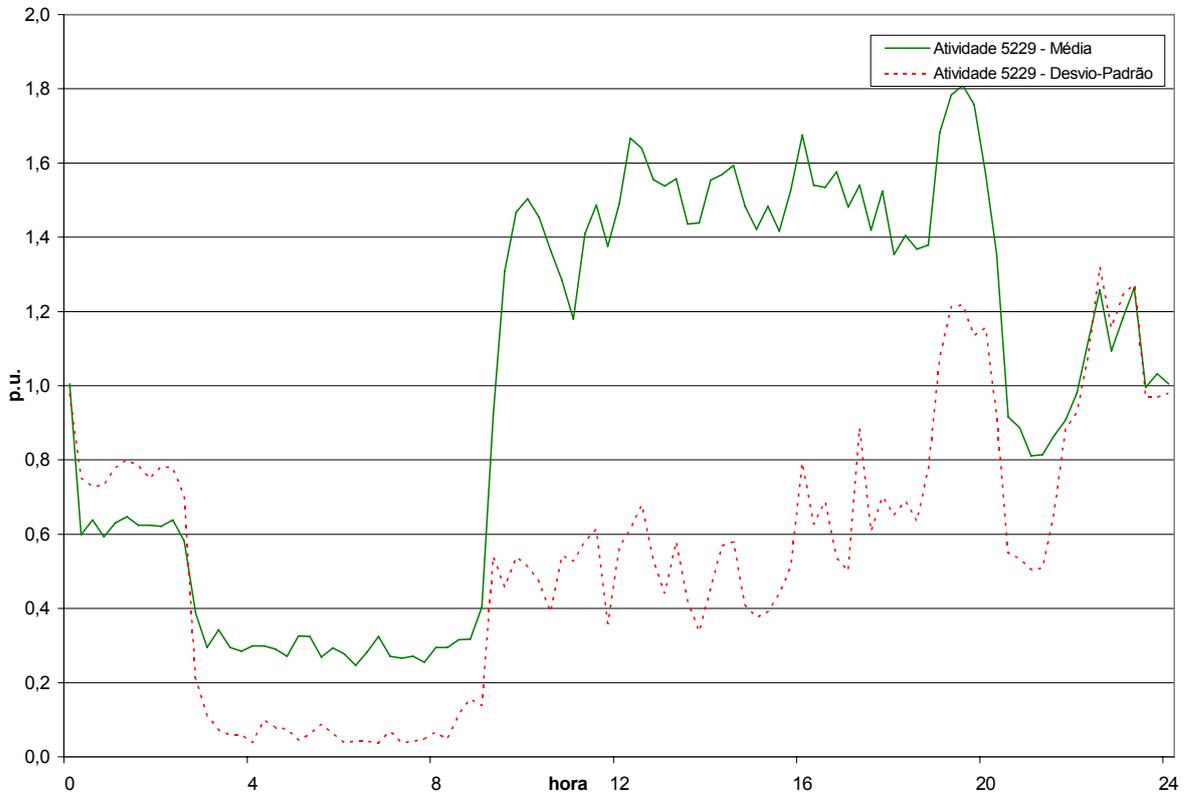


Figura II.9 - Curva de Carga de Outros Serviços de Alimentação Não Especificados

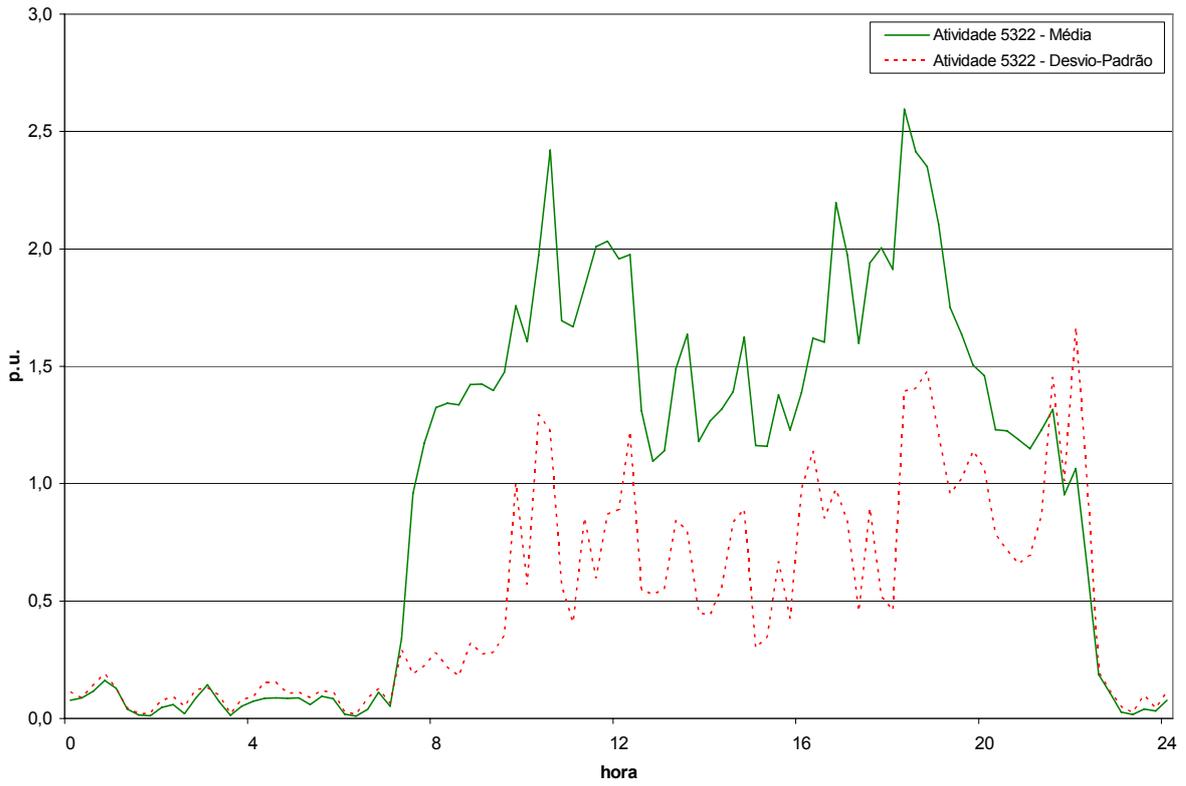


Figura II.10 - Curva de Carga de Manutenção e Conservação de Veículos em Geral

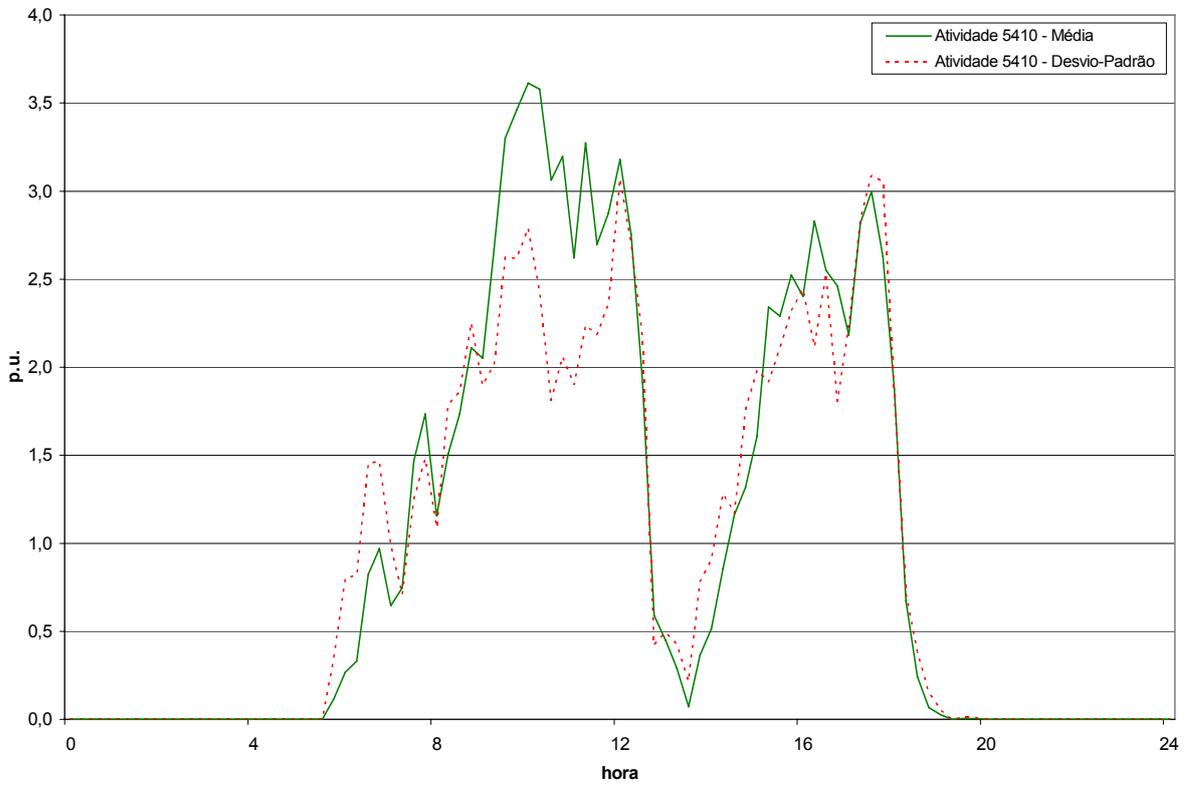


Figura II.11 - Curva de Carga de Serviços de Higiene – Barbearias, Saunas, Lavanderias etc.

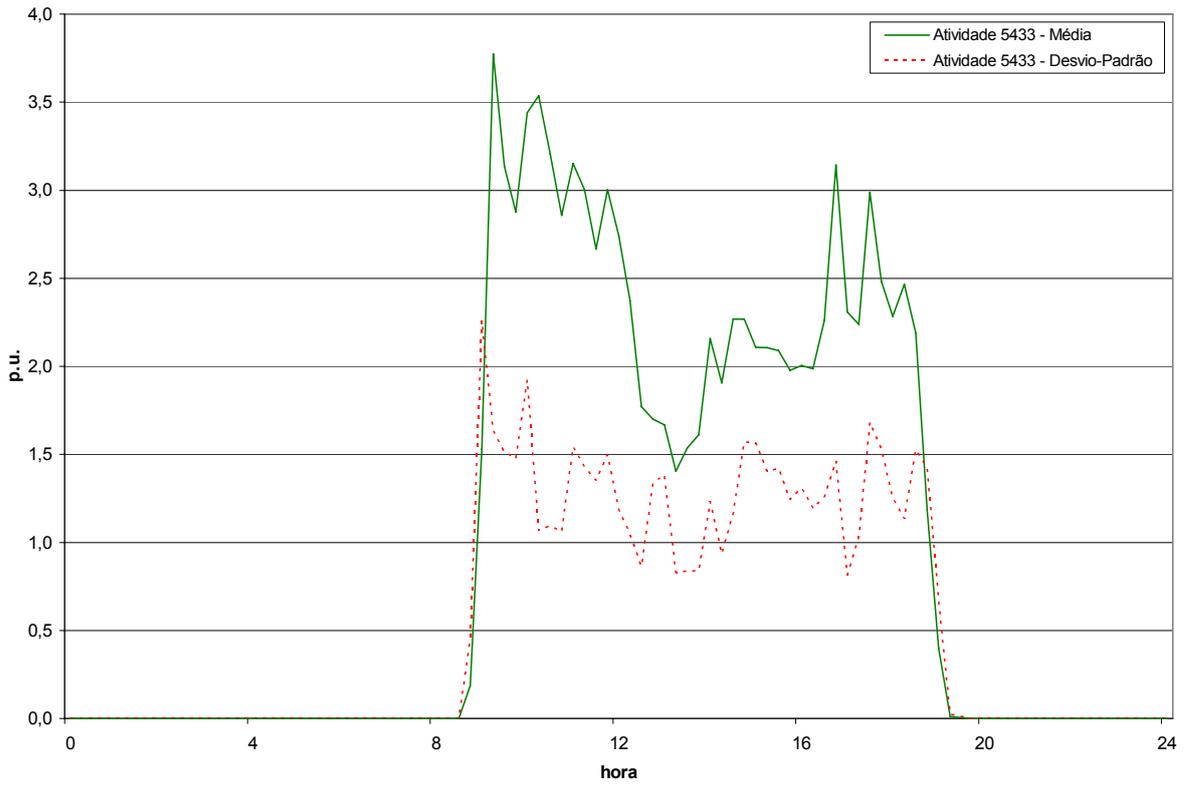


Figura II.12 - Curva de Carga de Assistência Médica, Odontológica e Veterinária

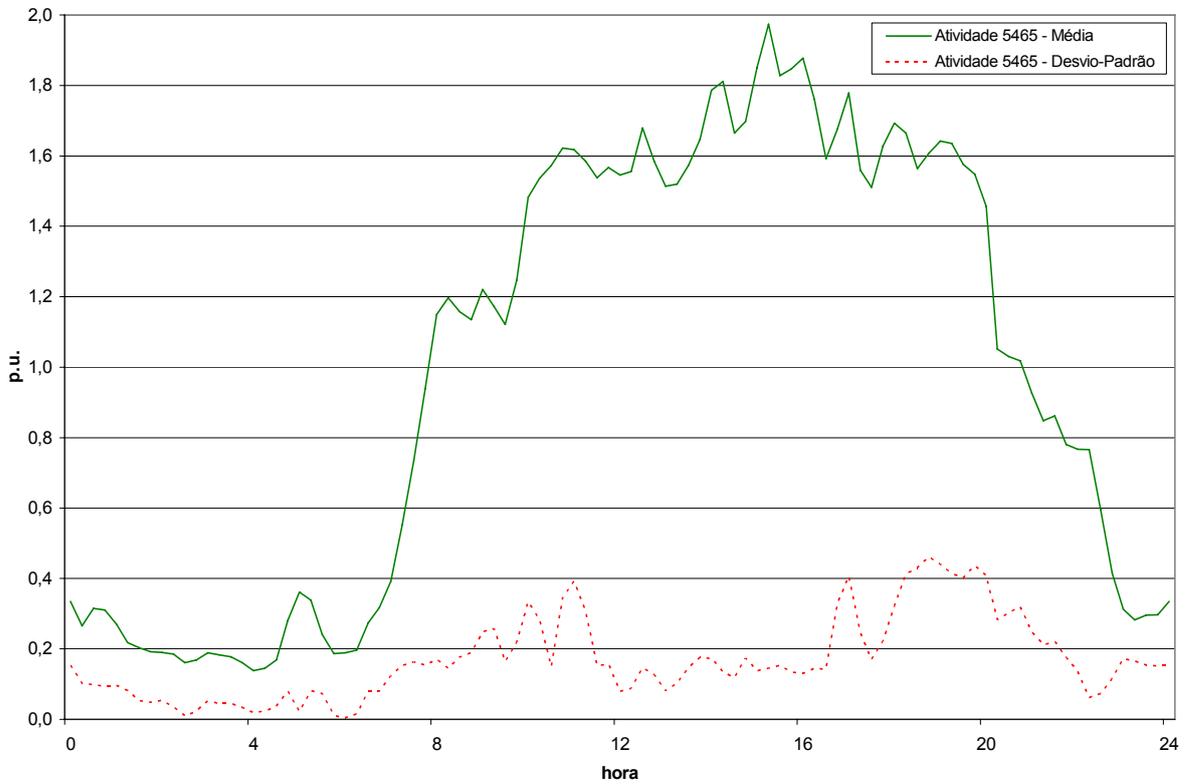


Figura II.13 - Curva de Carga de Estabelecimentos Particulares de Cursos Livres

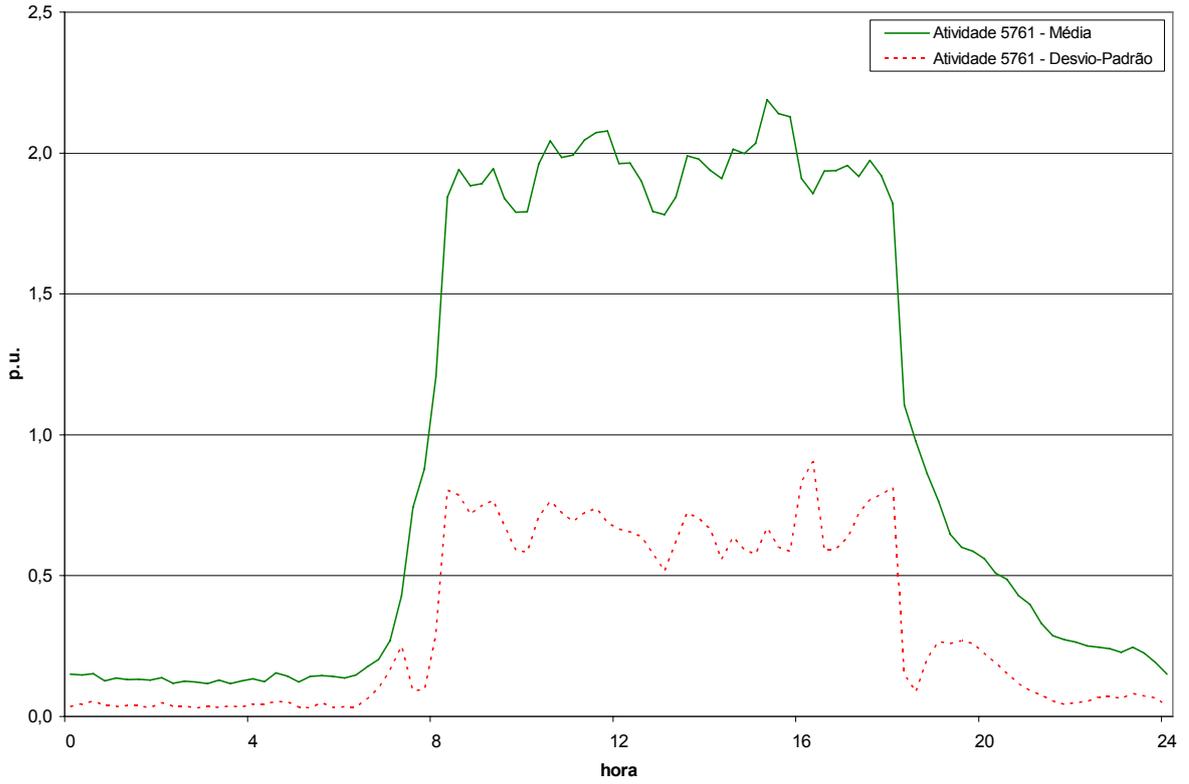


Figura II.14 - Curva de Carga de Escritório de Empresa de Comércio Varejista

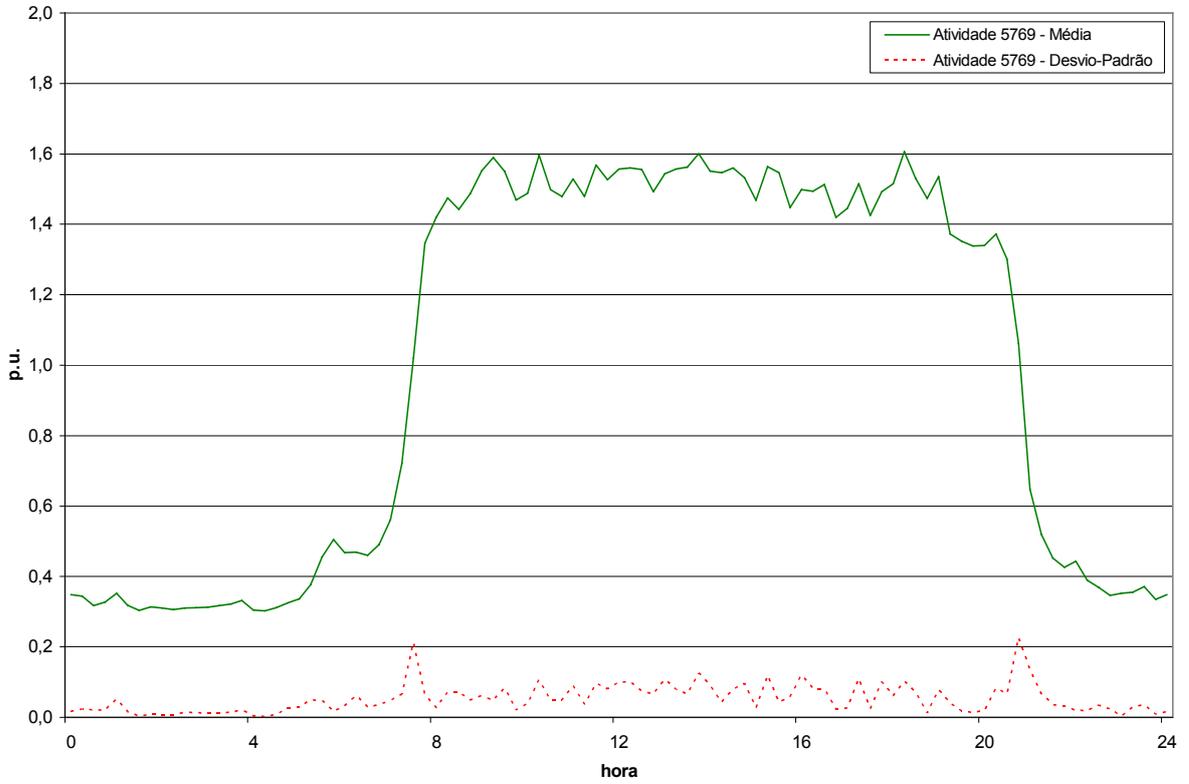


Figura II.15 - Curva de Carga de Escritório de Empresa de Atividade Não Especificada

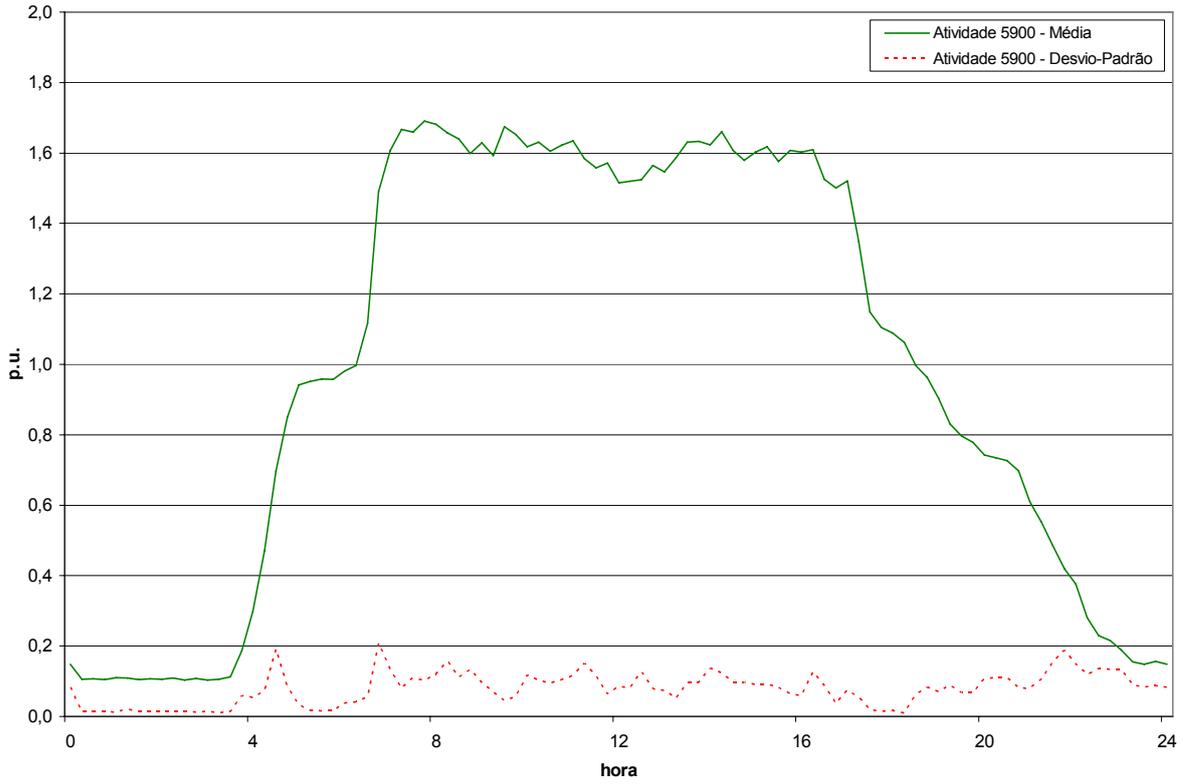


Figura II.16 - Curva de Carga de Bancos Comerciais e Caixas Econômicas

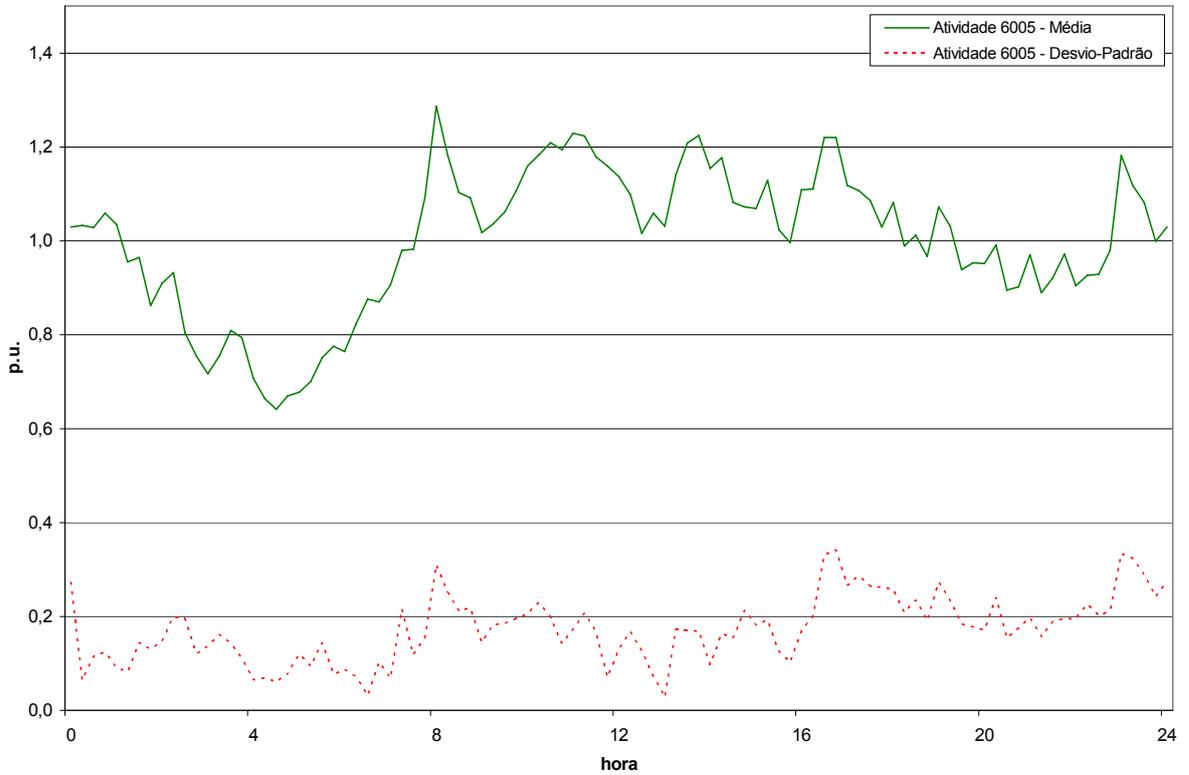


Figura II.17 - Curva de Carga de Comércio Atacadista de Ferragens e Produtos Metalúrgicos

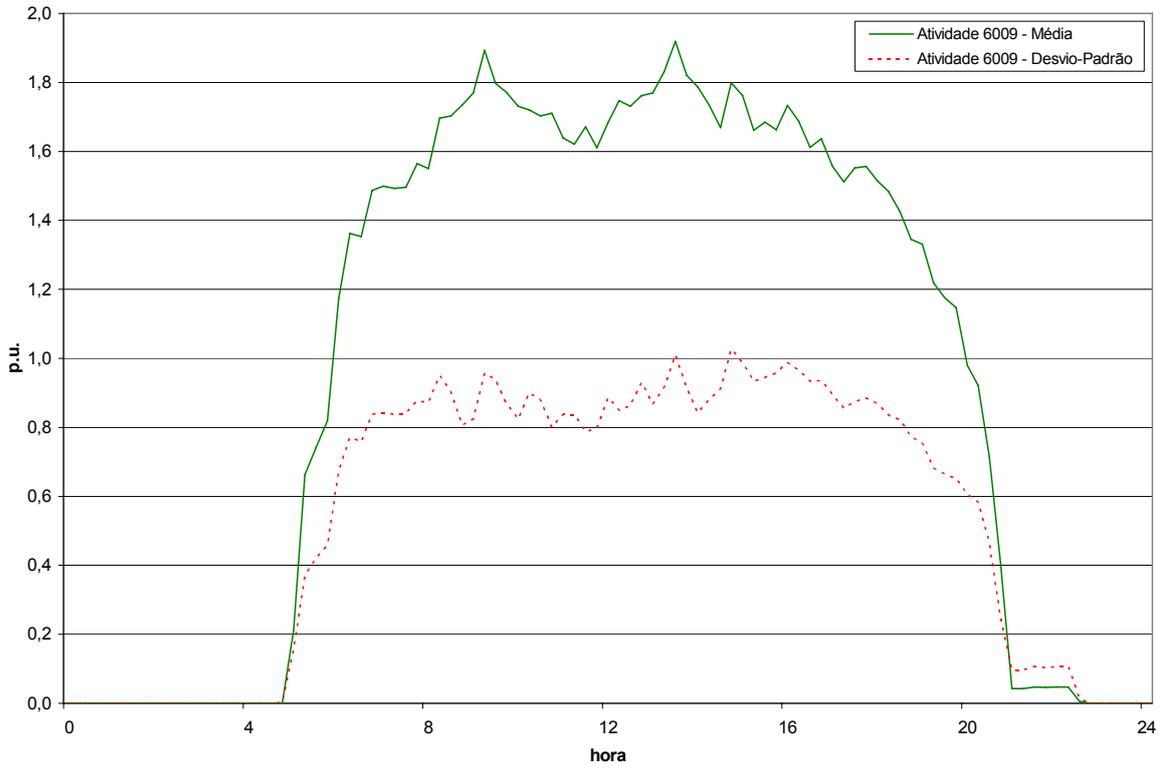


Figura II.18 - Curva de Carga de Comércio Atacadista de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos para Uso Comercial, Profissional e Doméstico

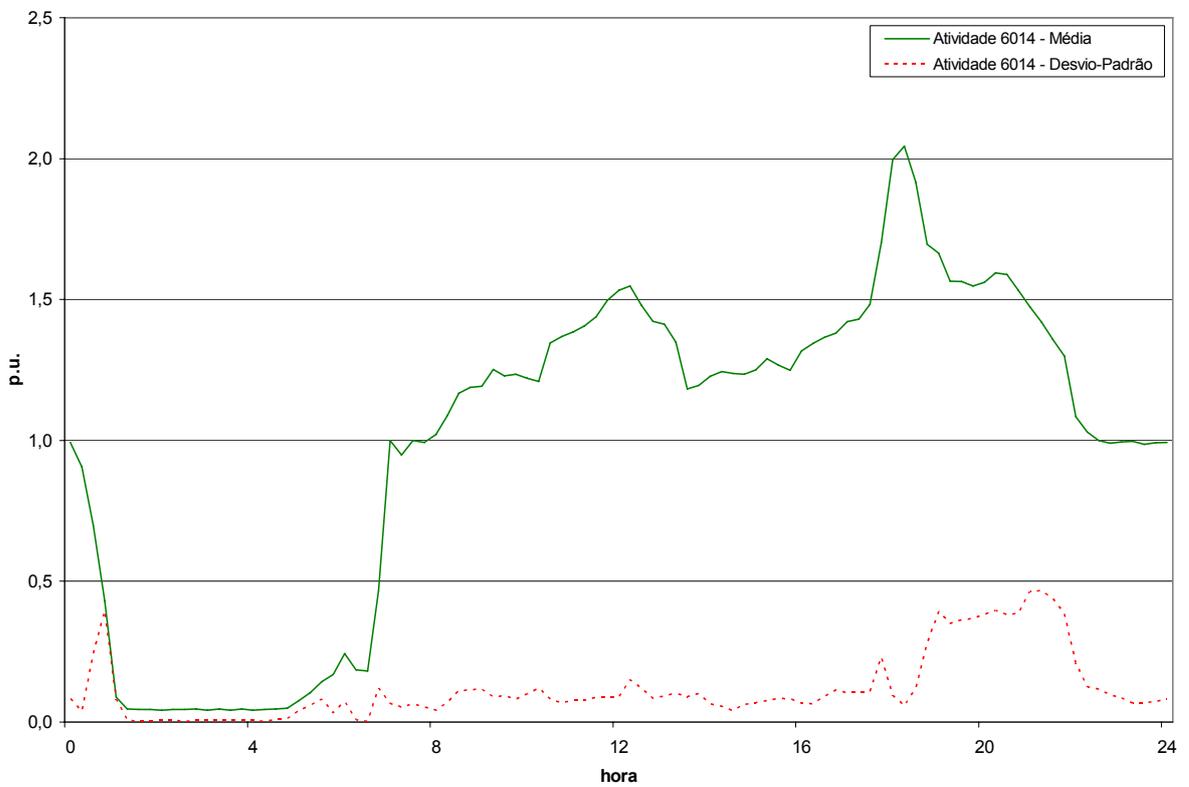


Figura II.19 - Curva de Carga de Comércio Atacadista de Papel, Impressos e Artigos de Escritório

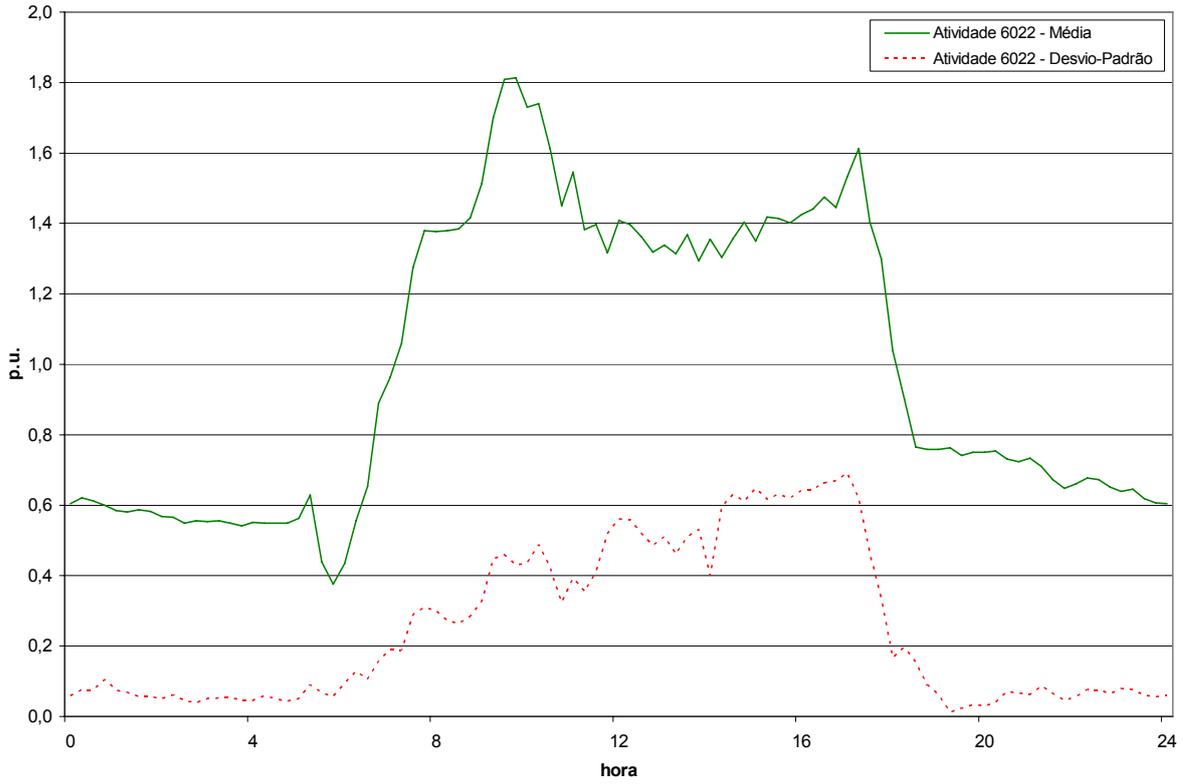


Figura II.20 - Curva de Carga de Comércio Atacadista de Leite e Derivados

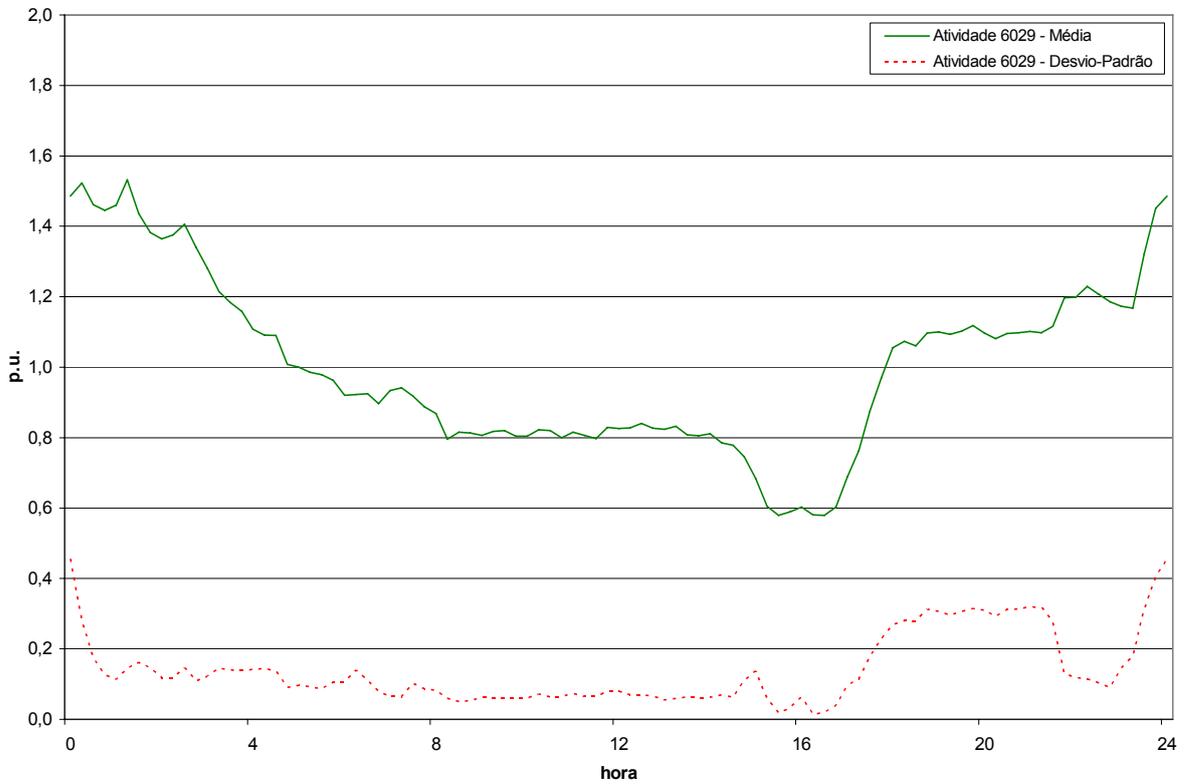


Figura II.21 - Curva de Carga de Comércio Atacadista de Produtos Importados

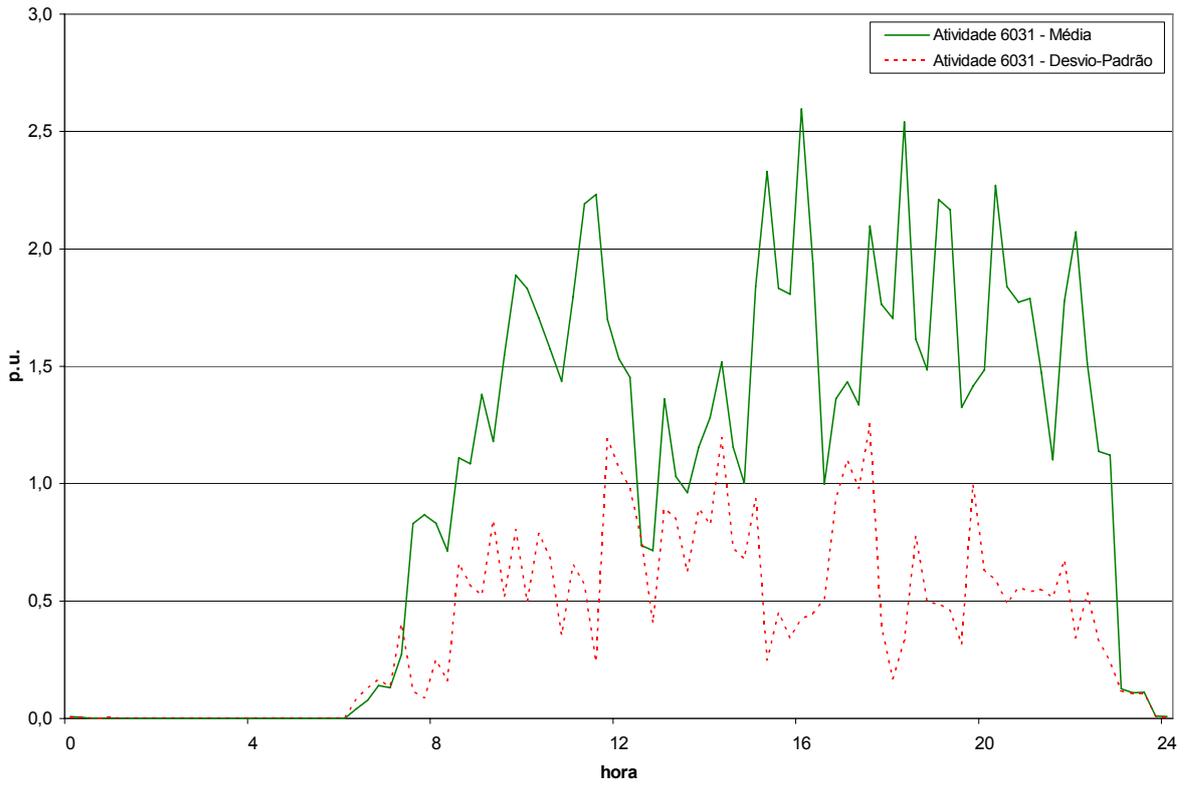


Figura II.22 - Curva de Carga de Comércio de Mercadorias em Geral, sem Produtos Alimentícios

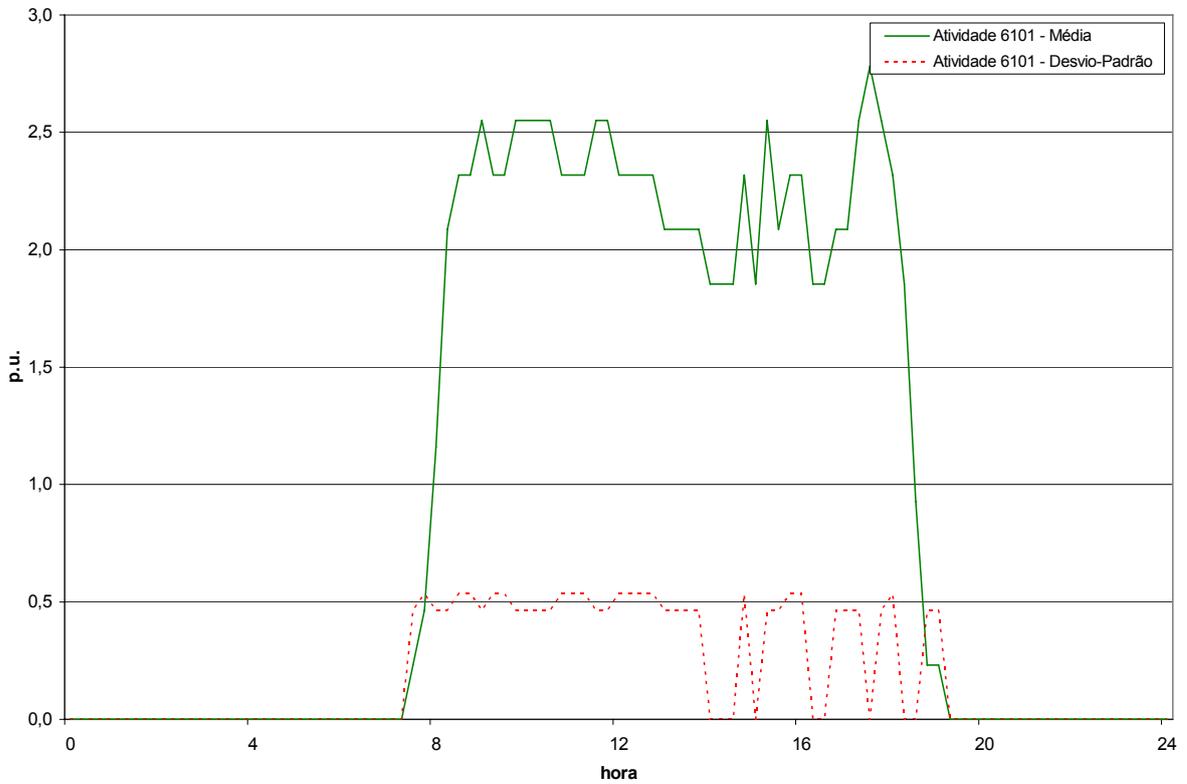


Figura II.23 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Ferragens e Produtos Metalúrgicos

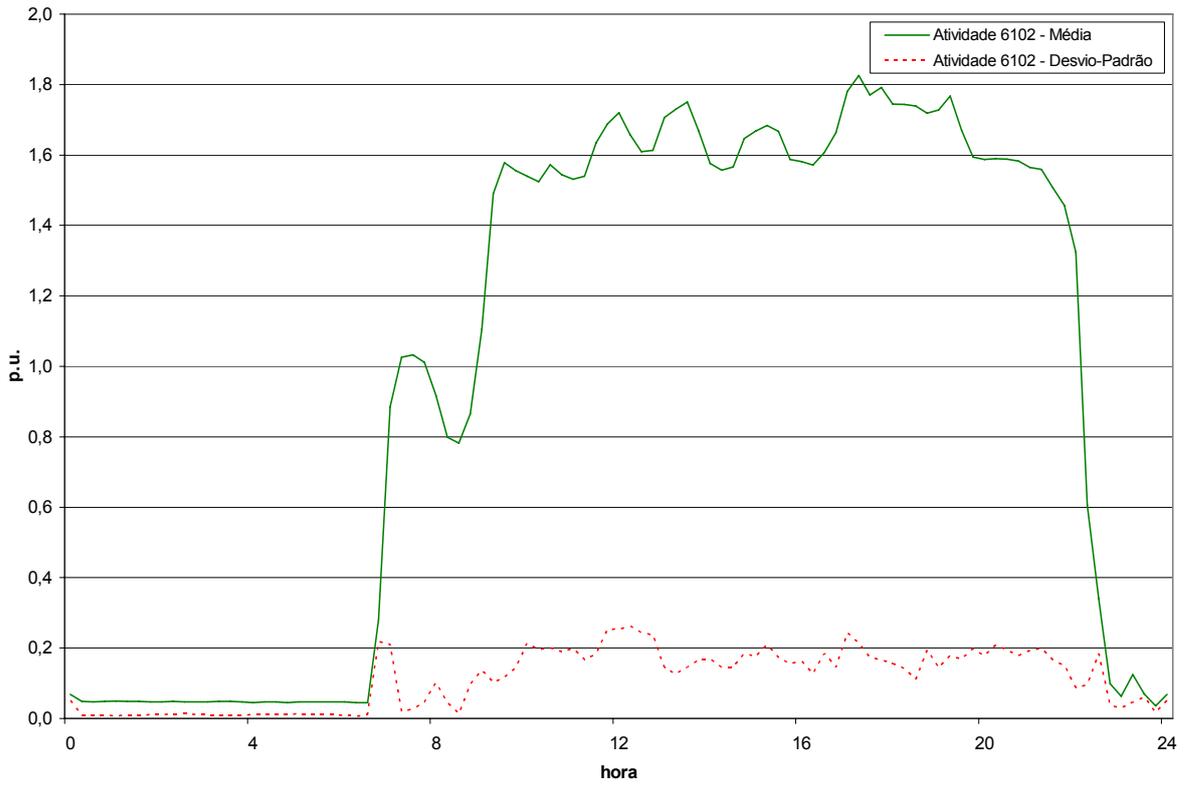


Figura II.24 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Máquinas e Aparelhos Elétricos

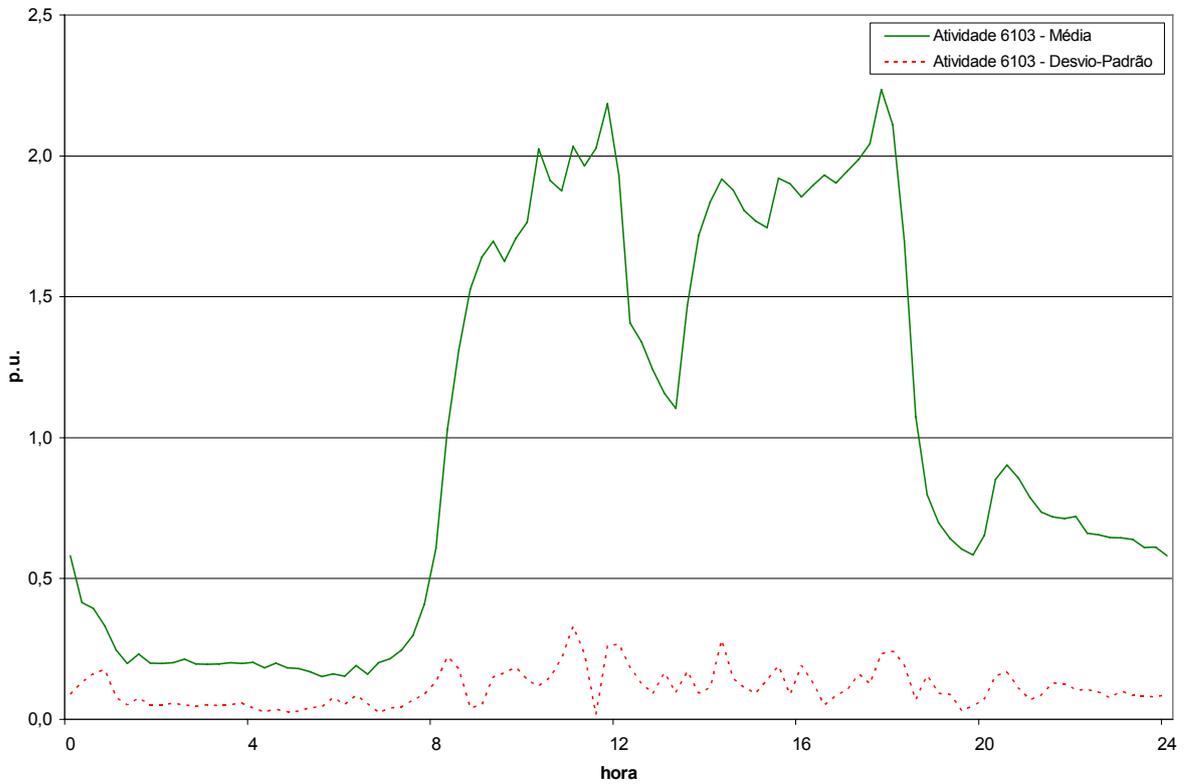


Figura II.25 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Veículos

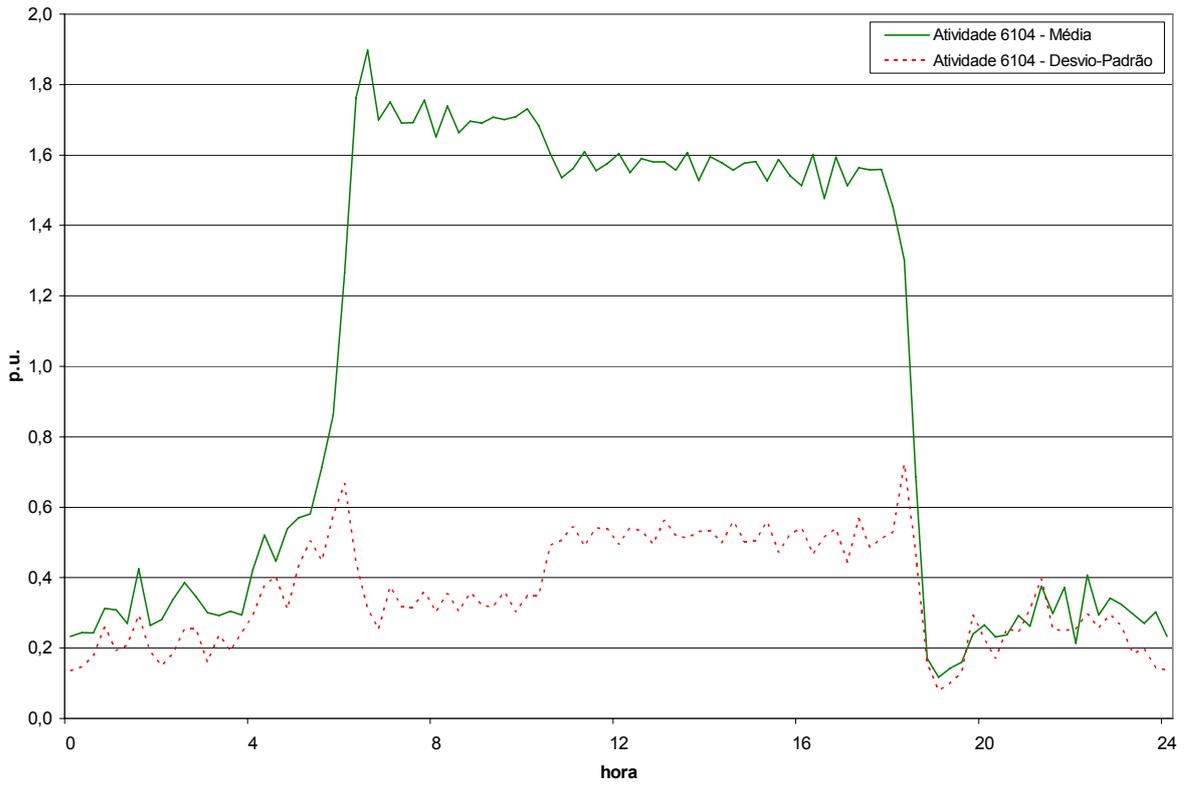


Figura II.26 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Veículos e Acessórios

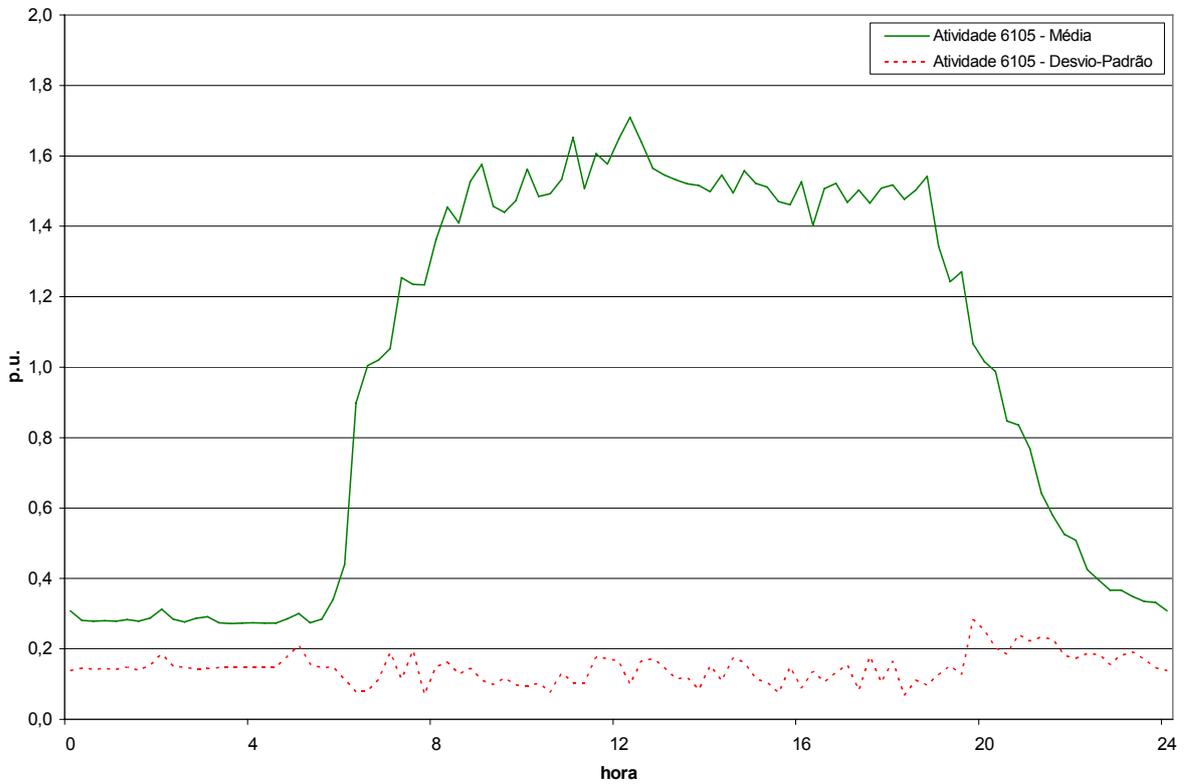


Figura II.27 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Acessórios para Veículos

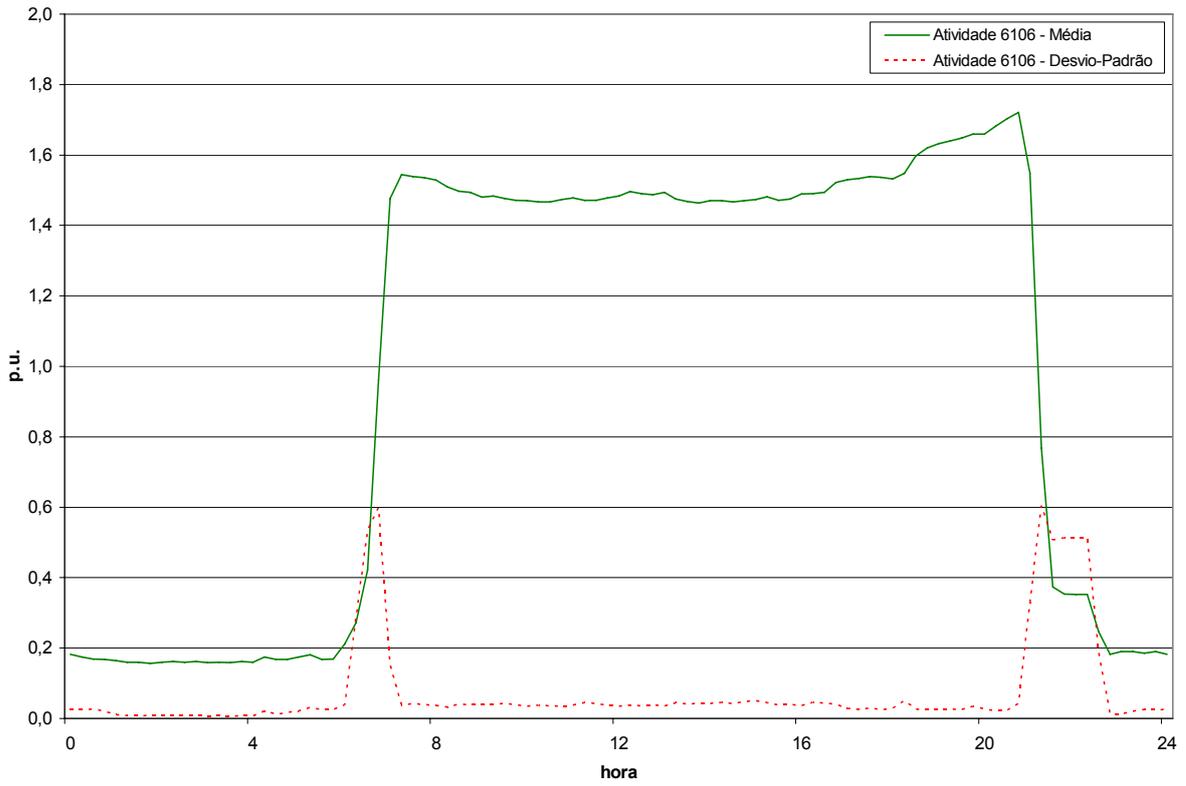


Figura II.28 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Móveis, Artigos de Habitação e de Utilidade Doméstica

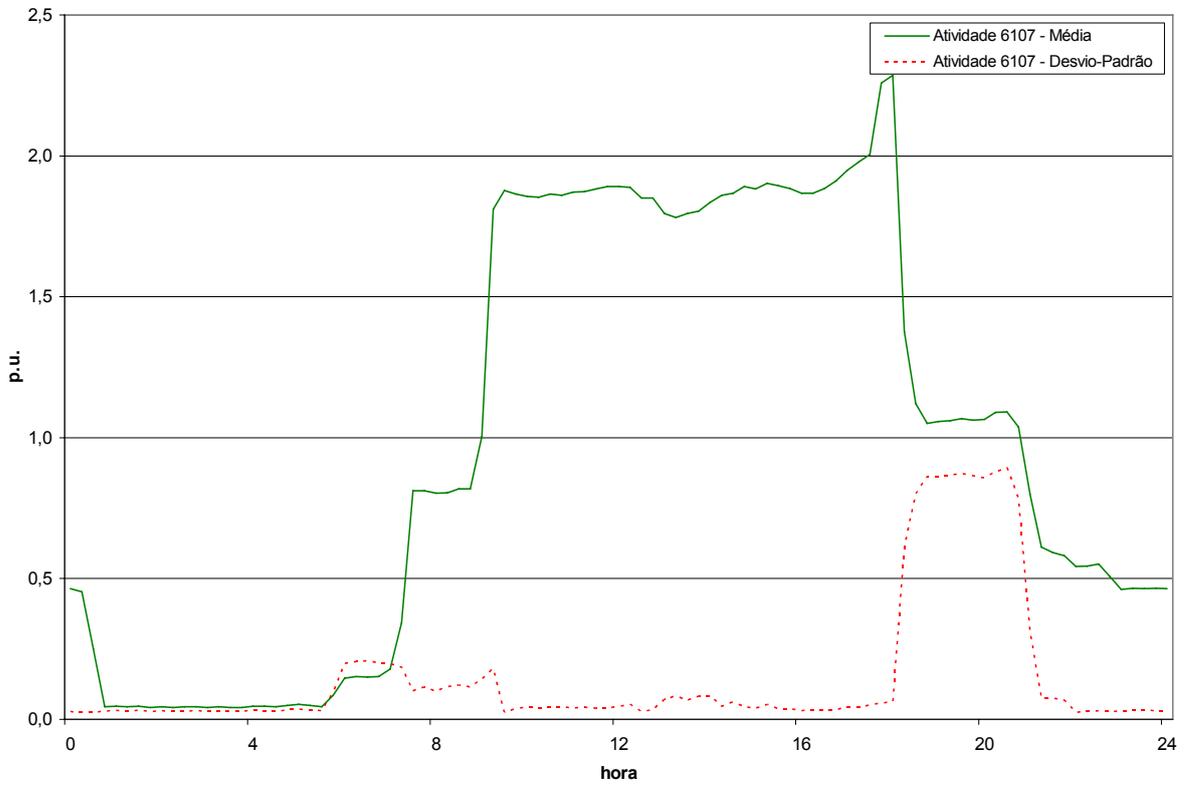


Figura II.29 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Livros, Papel, Impressos e Artigos de Escritório

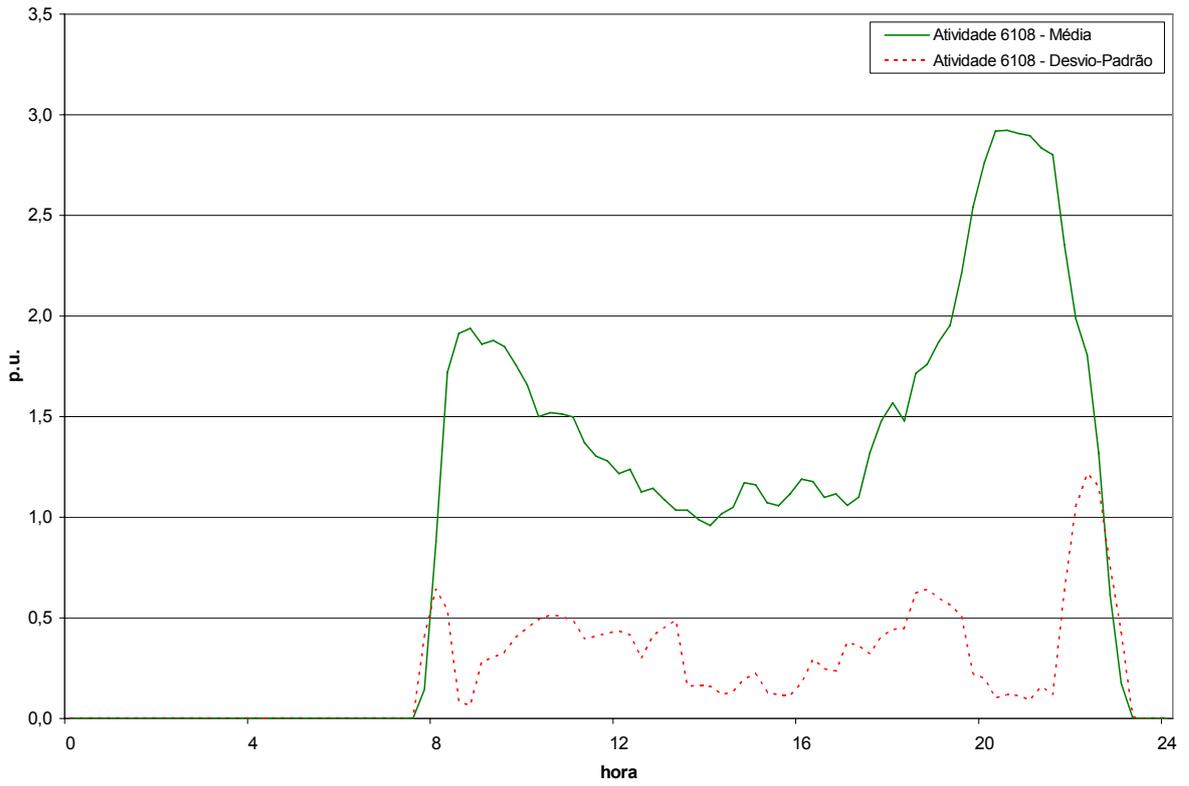


Figura II.30 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Produtos Químicos e Farmacêuticos

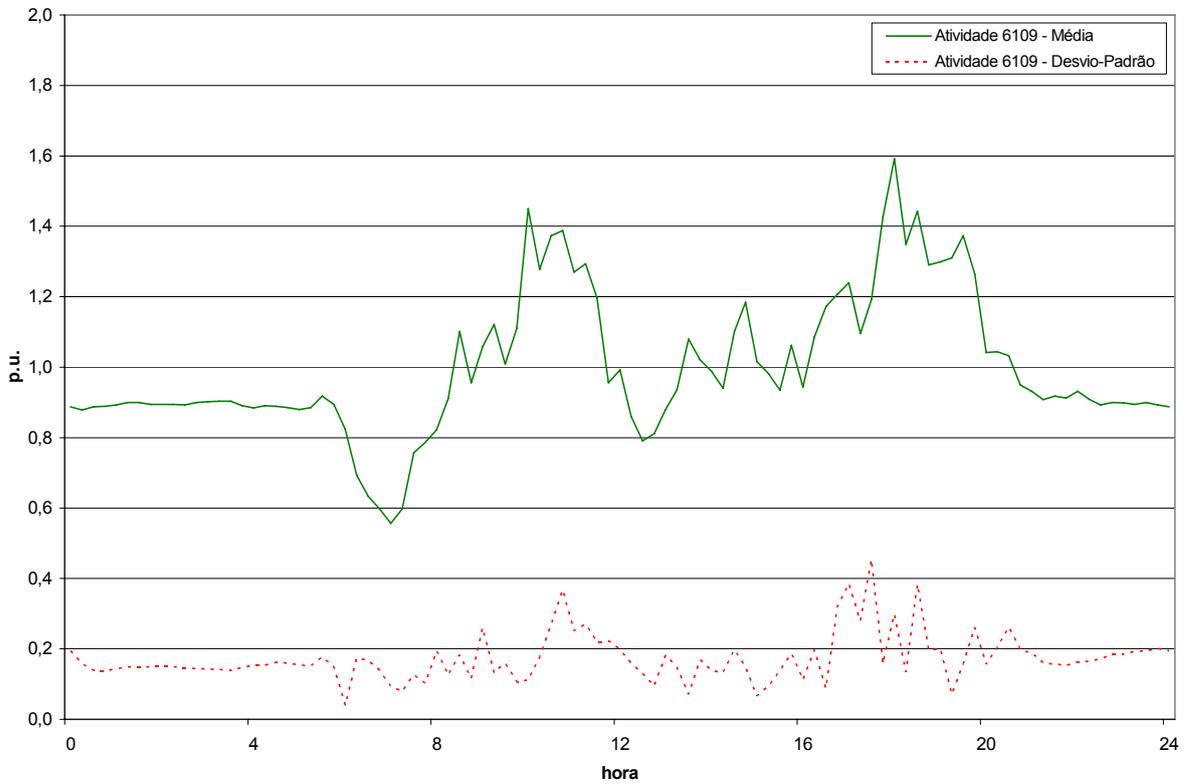


Figura II.31 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Combustíveis e Lubrificantes

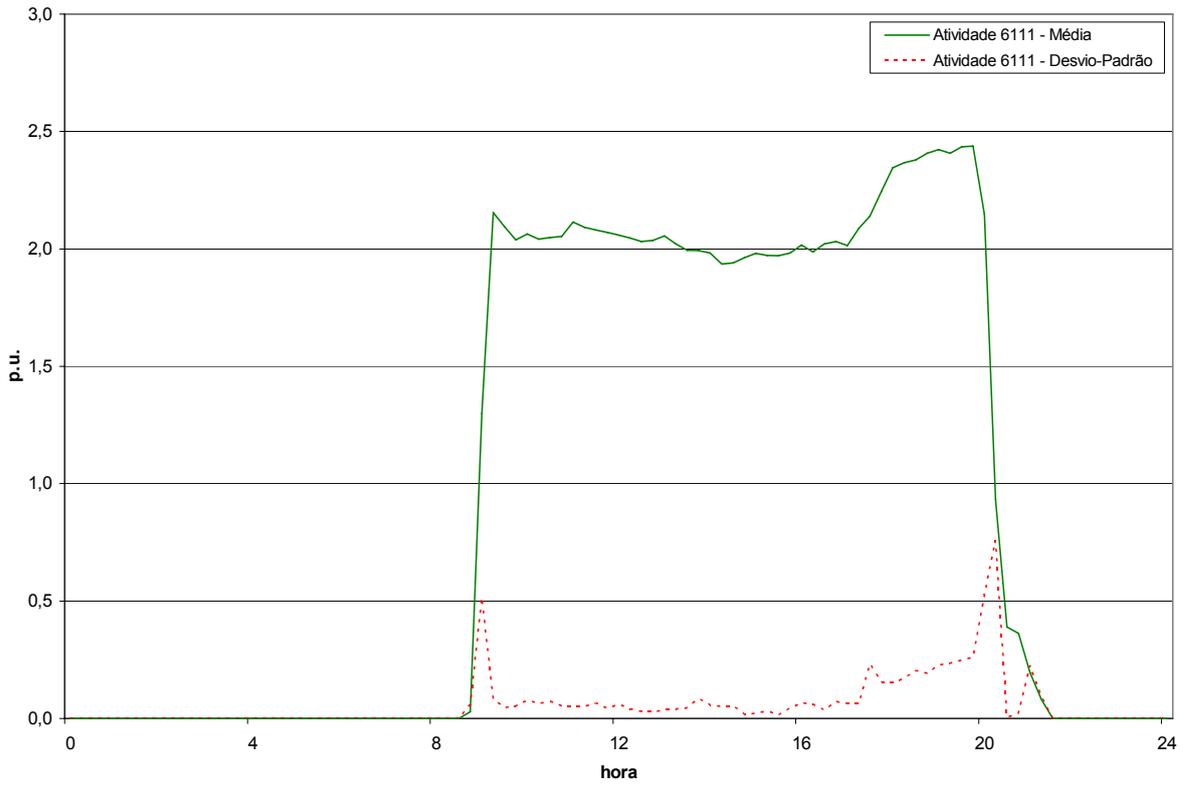


Figura II.32 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Tecidos

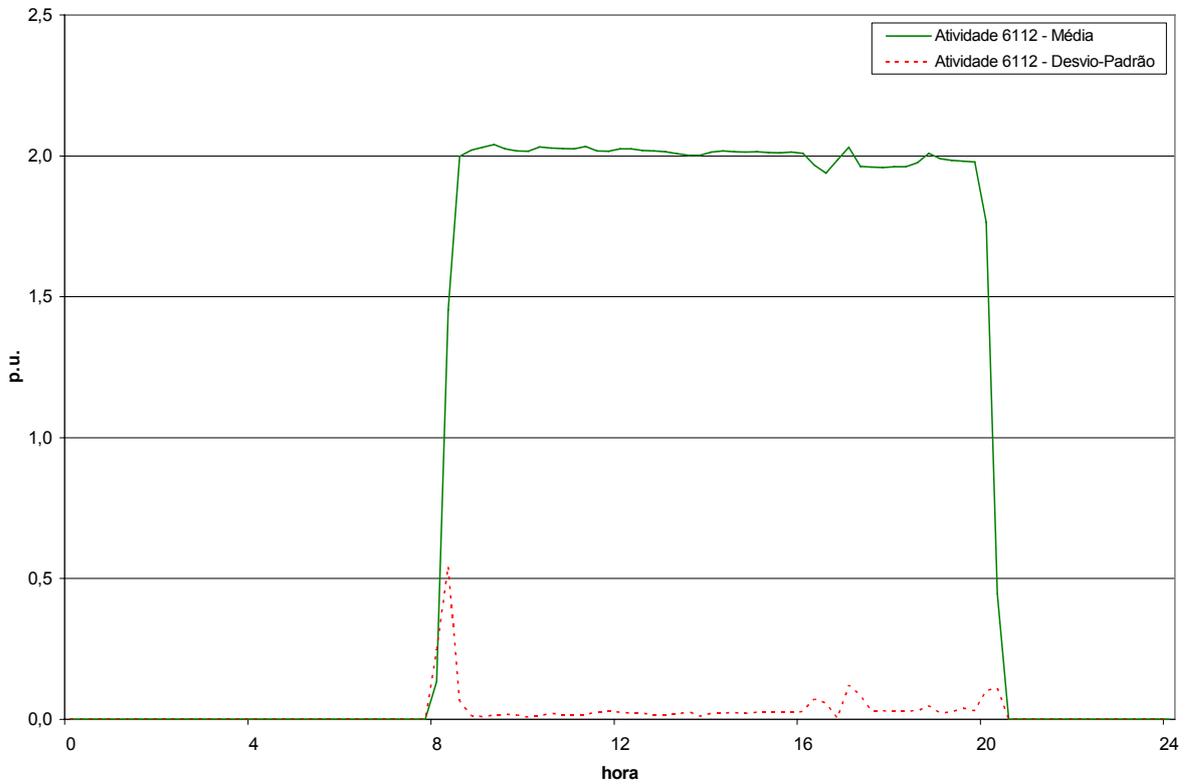


Figura II.33 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Artigos de Vestuário

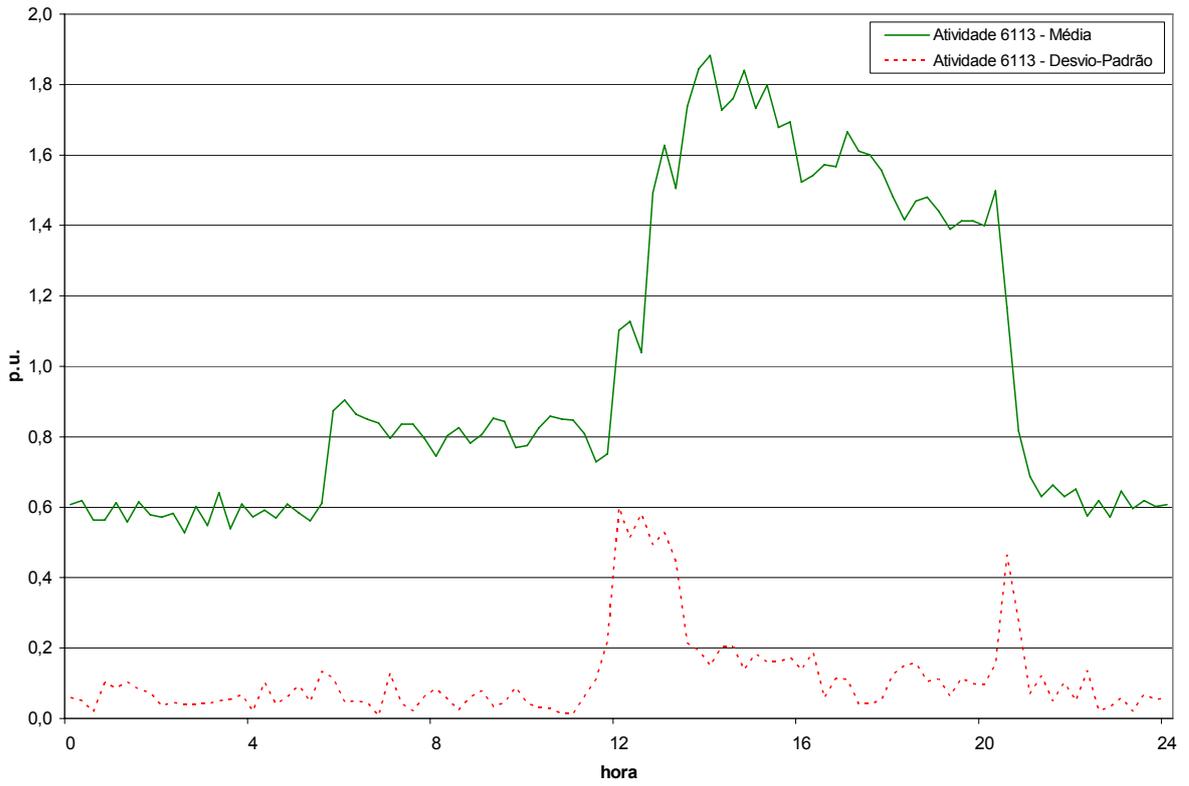


Figura II.34 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Carnes e Peixes

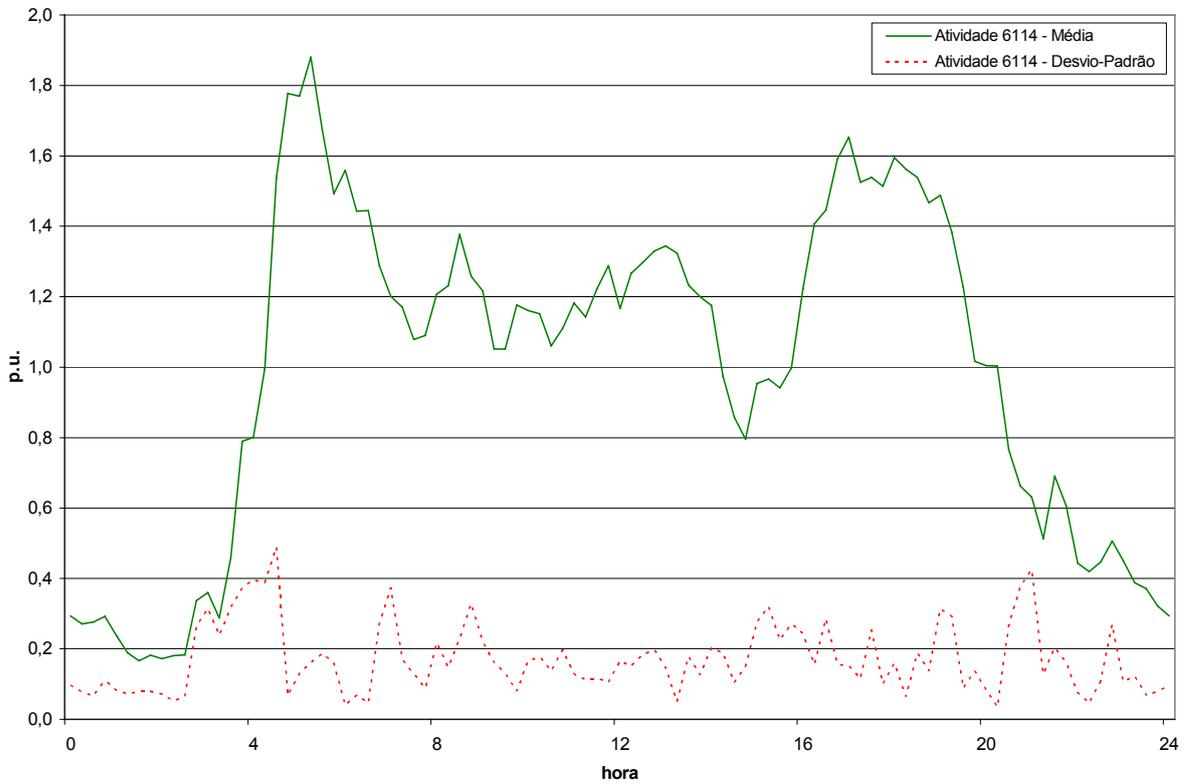


Figura II.35 - Curva de Carga de Mercarias, Armazéns e Padarias

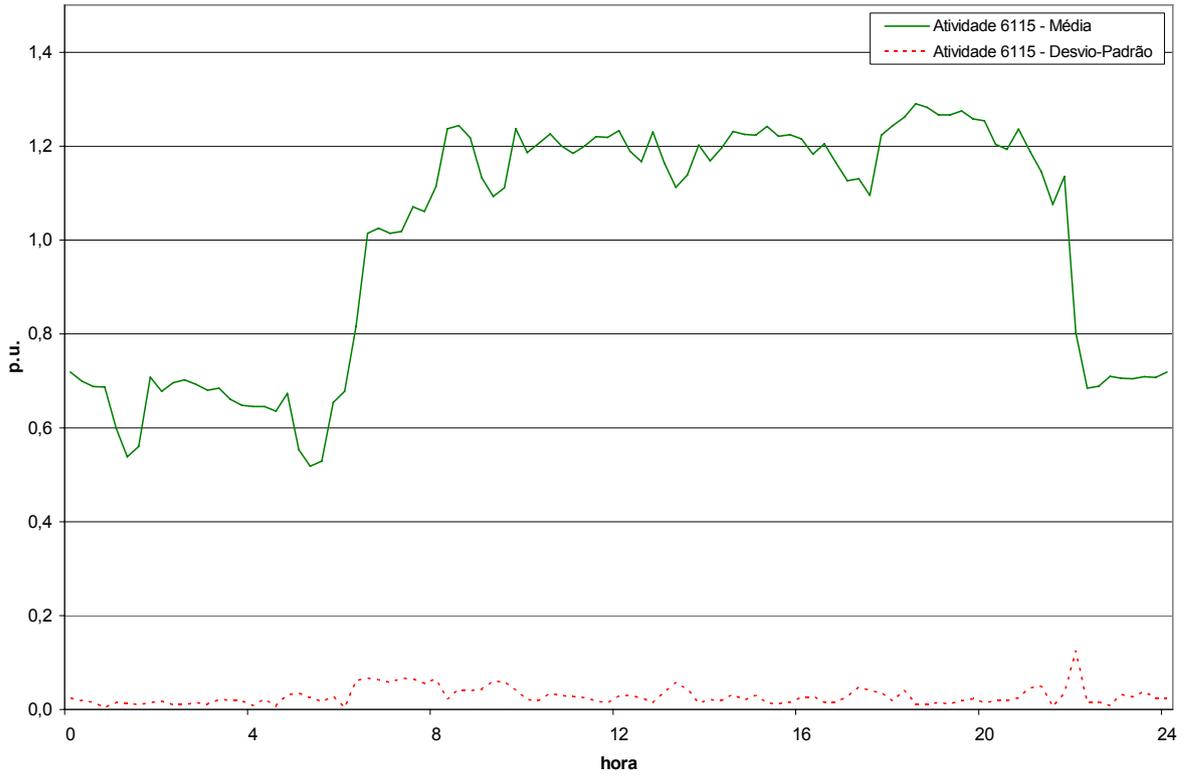


Figura II.36 - Curva de Carga de Supermercados

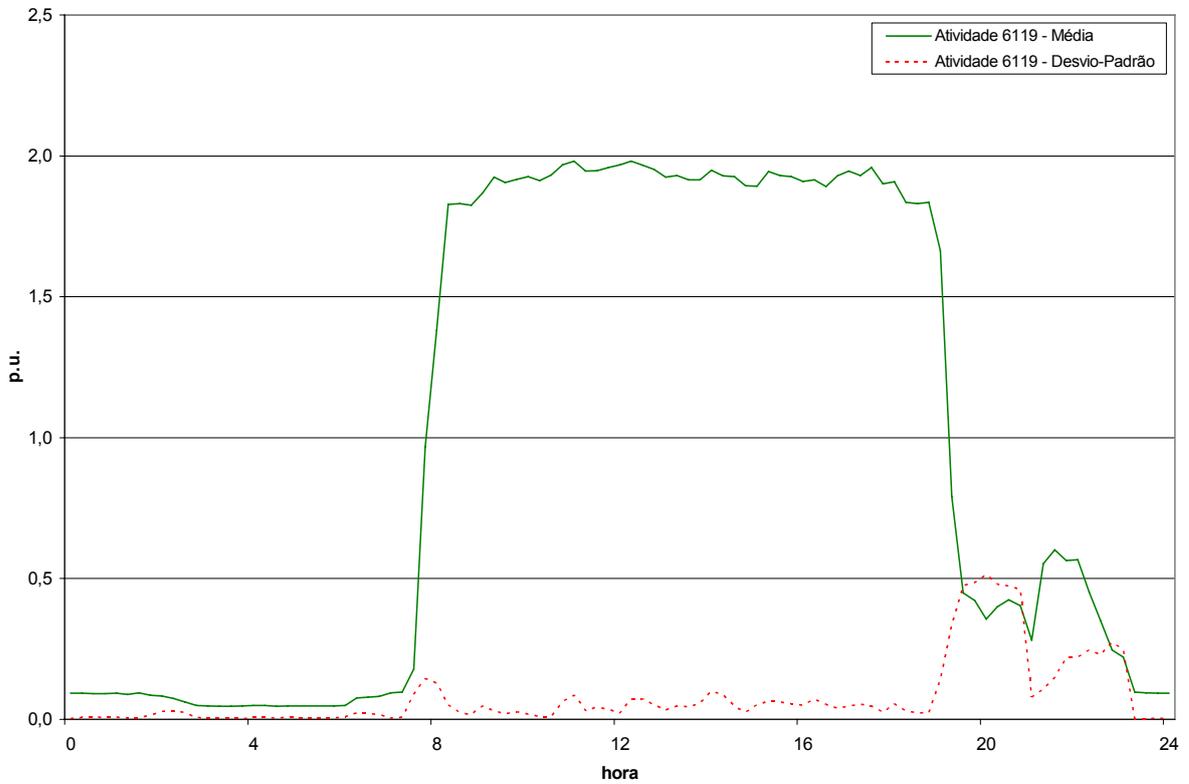


Figura II.37 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Brinquedos, Artigos Desportivos, Recreativos e para Presentes - Exclusive Magazines

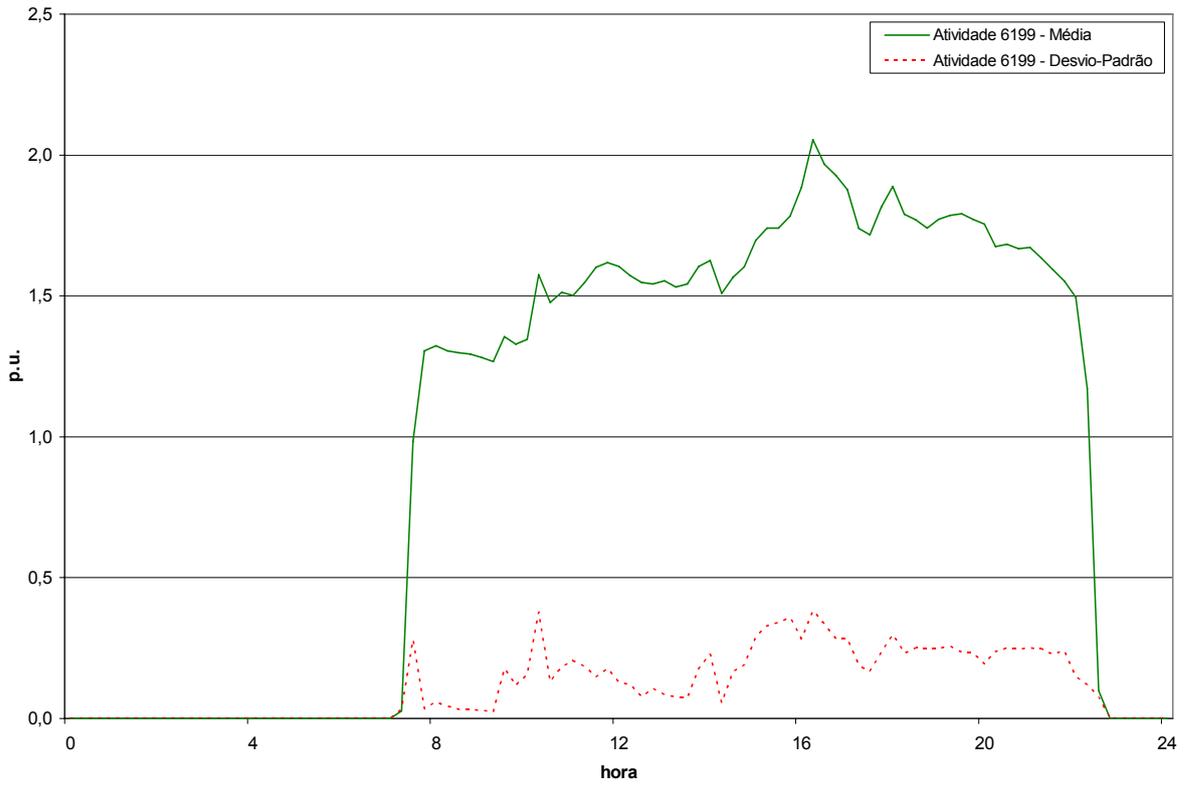


Figura II.38 - Curva de Carga de Comércio Varejista de Produtos Não Especificados ou Não Classificados

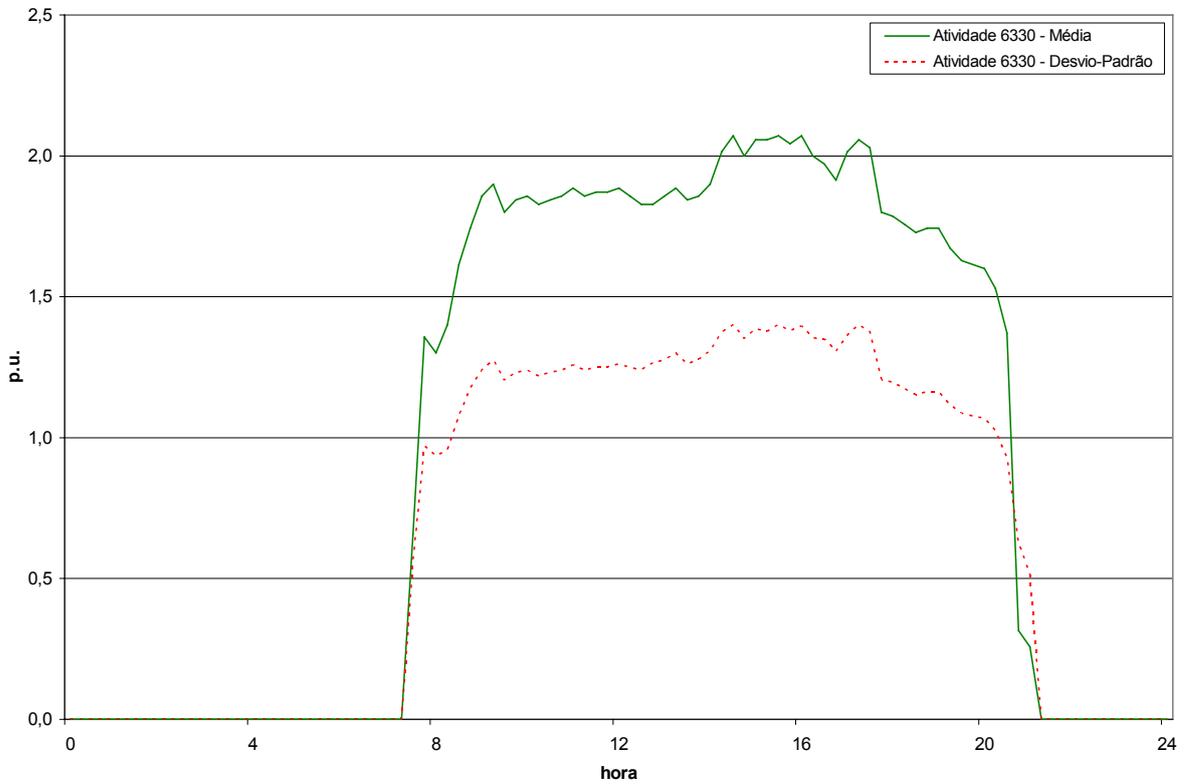


Figura II.39 - Curva de Carga de Administração de Imóveis

Tabela II.3 - Atividades de Classe Industrial

Código da Atividade	Descrição
1160	Serralharia, Fabricação de Tanques, Reservatórios
1370	Fabricação de Material Eletrônico - Excluído o Destinado a Aparelhos e Equipamentos de Comunicações
1433	Fabricação de Peças e Acessórios para Veículos Automotores - Excluído os de Instalação Elétrica e de Borracha
1520	Fabricação de Estruturas de Madeira
1610	Fabricação de Móveis de Madeira, Vime e Junco
2420	Fiação e Tecelagem
2510	Confeção de Roupas e Agasalhos
2670	Fabricação de Produtos de Padaria e Pastelaria
2920	Impressão de Material Escolar, Comercial e Industrial
3210	Construção Civil

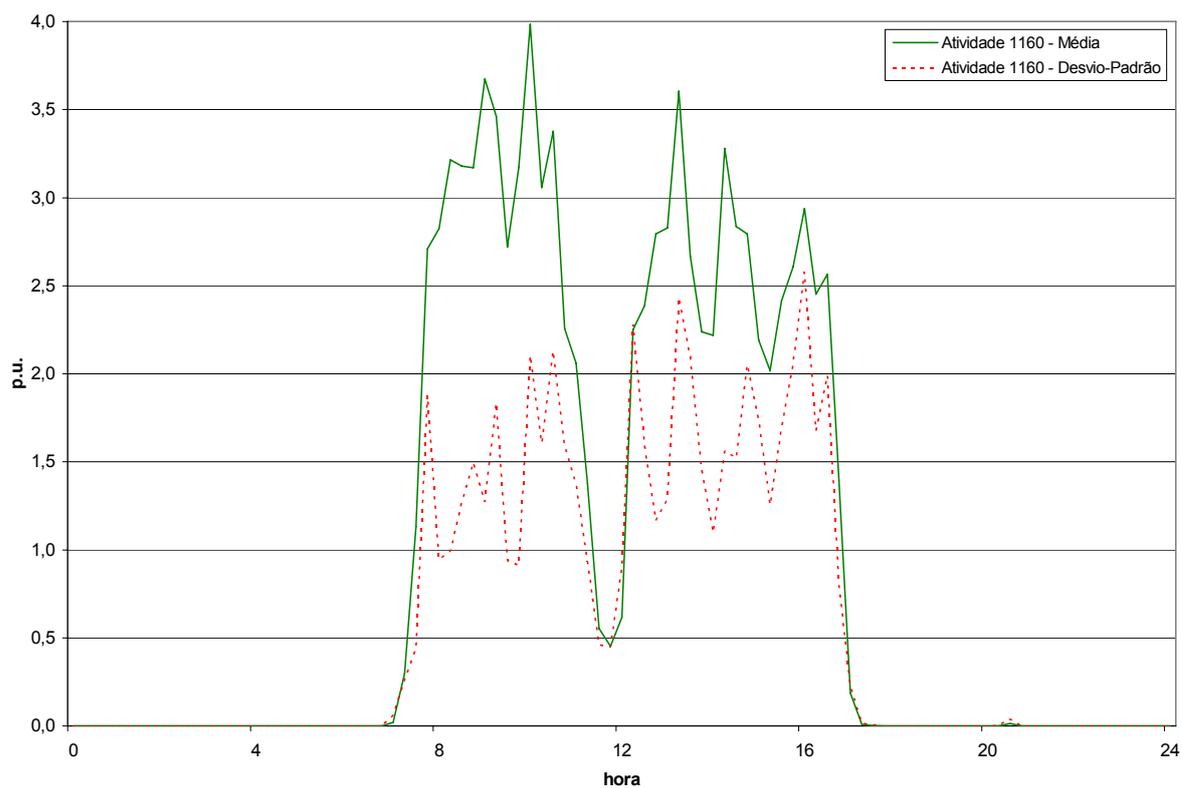


Figura II.40 - Curva de Carga de Serralharia, Fabricação de Tanques, Reservatórios

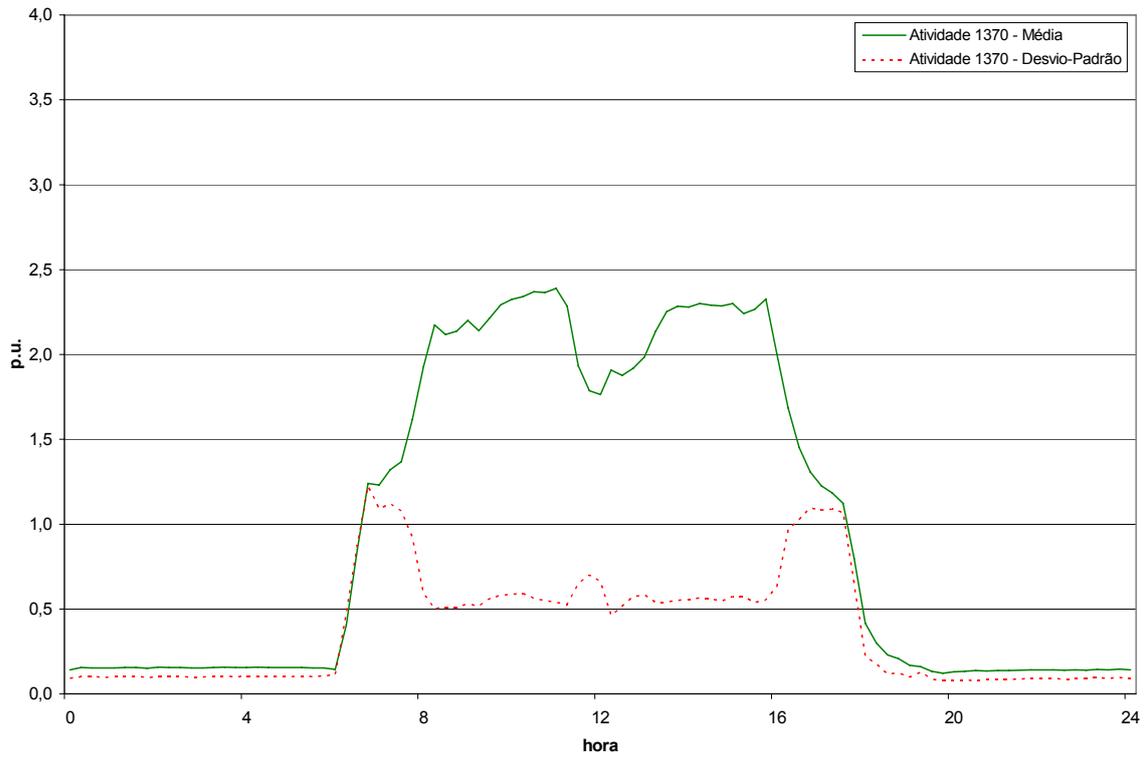


Figura II.41 - Curva de Carga de Fabricação de Material Eletrônico - Exclusive o Destinado a Aparelhos e Equipamentos de Comunicações

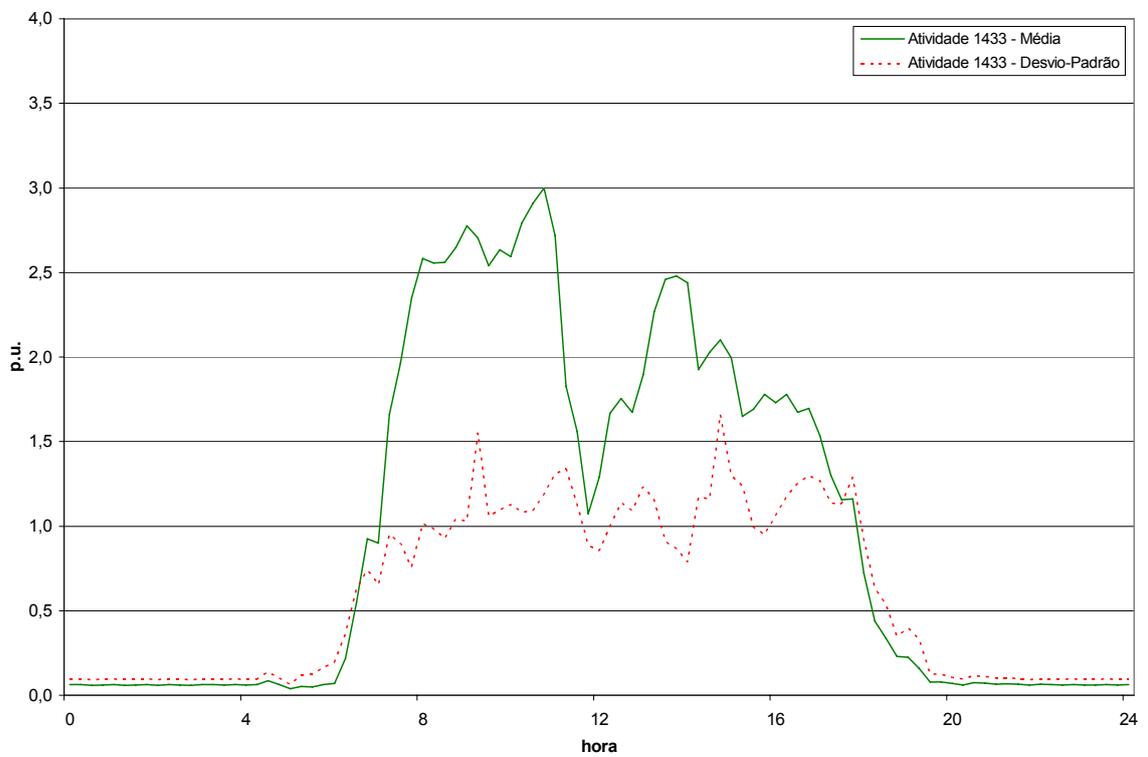


Figura II.42 - Curva de Carga de Fabricação de Peças e Acessórios para Veículos Automotores - Exclusive os de Instalação Elétrica e de Borracha

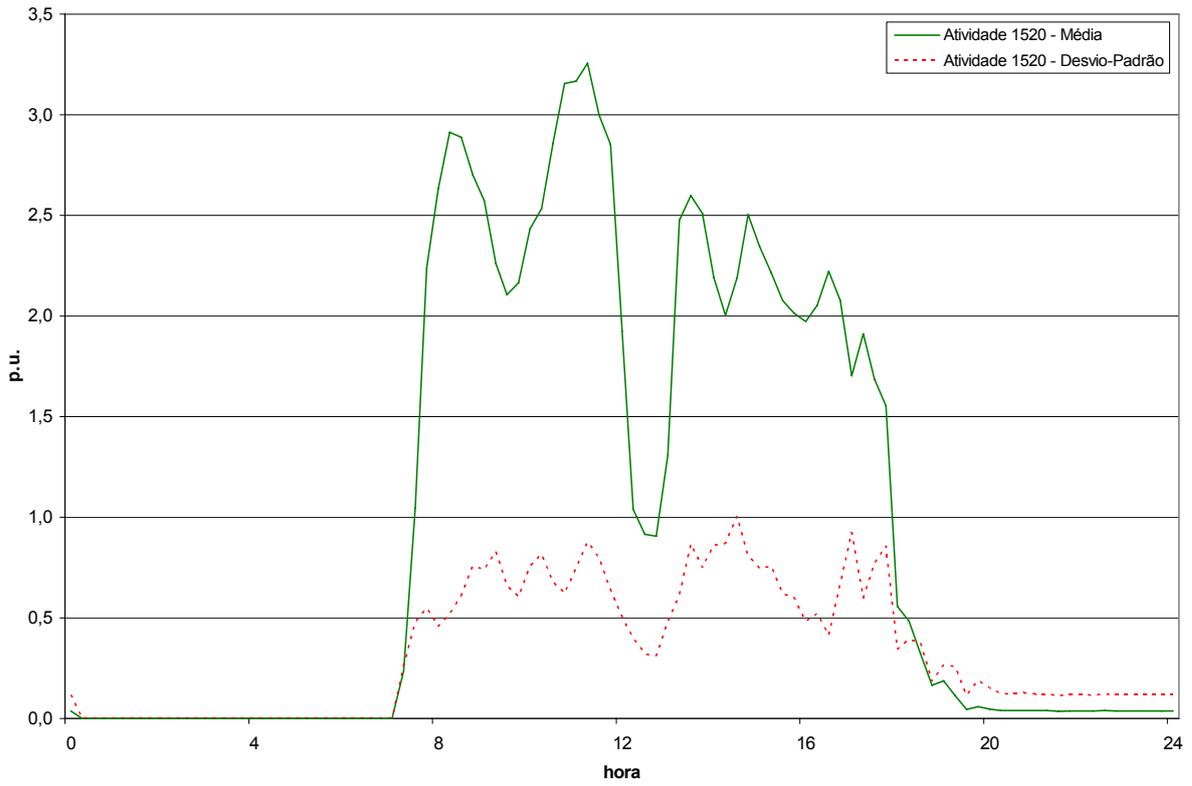


Figura II.43 - Curva de Carga de Fabricação de Estruturas de Madeira

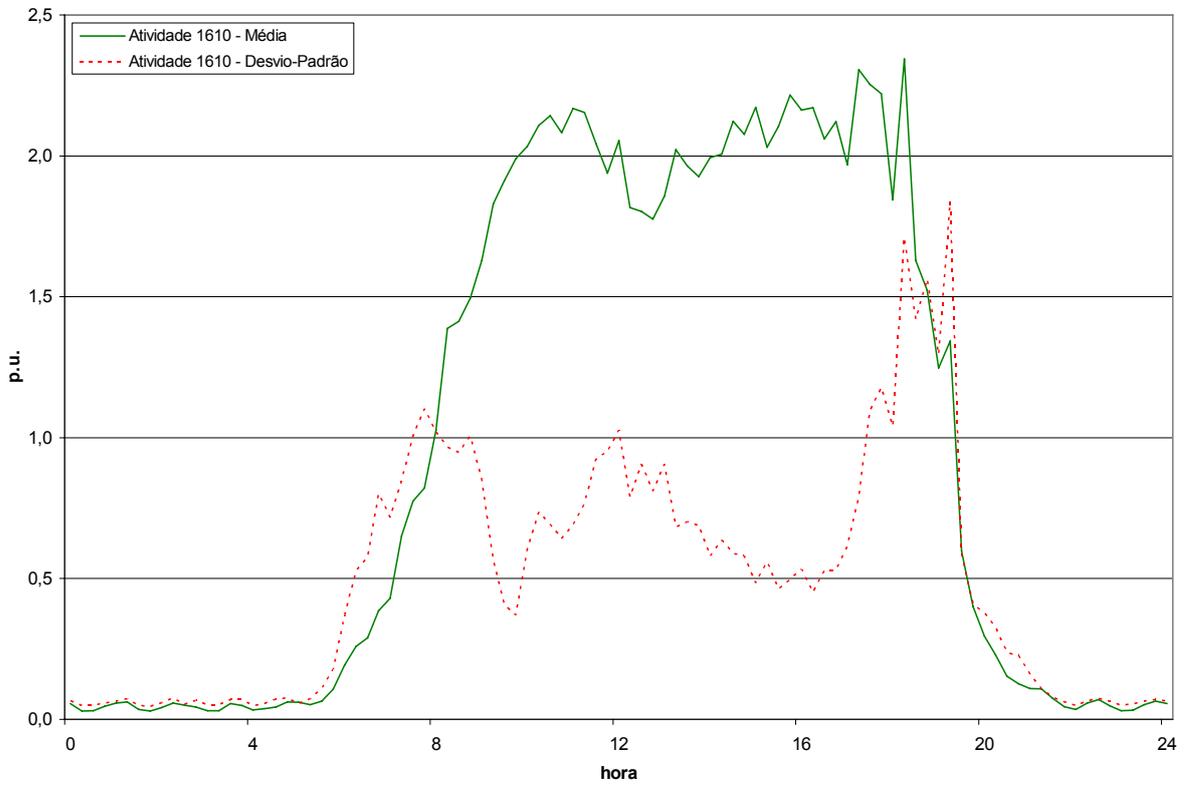


Figura II.44 - Curva de Carga de Fabricação de Móveis de Madeira, Vime e Junco

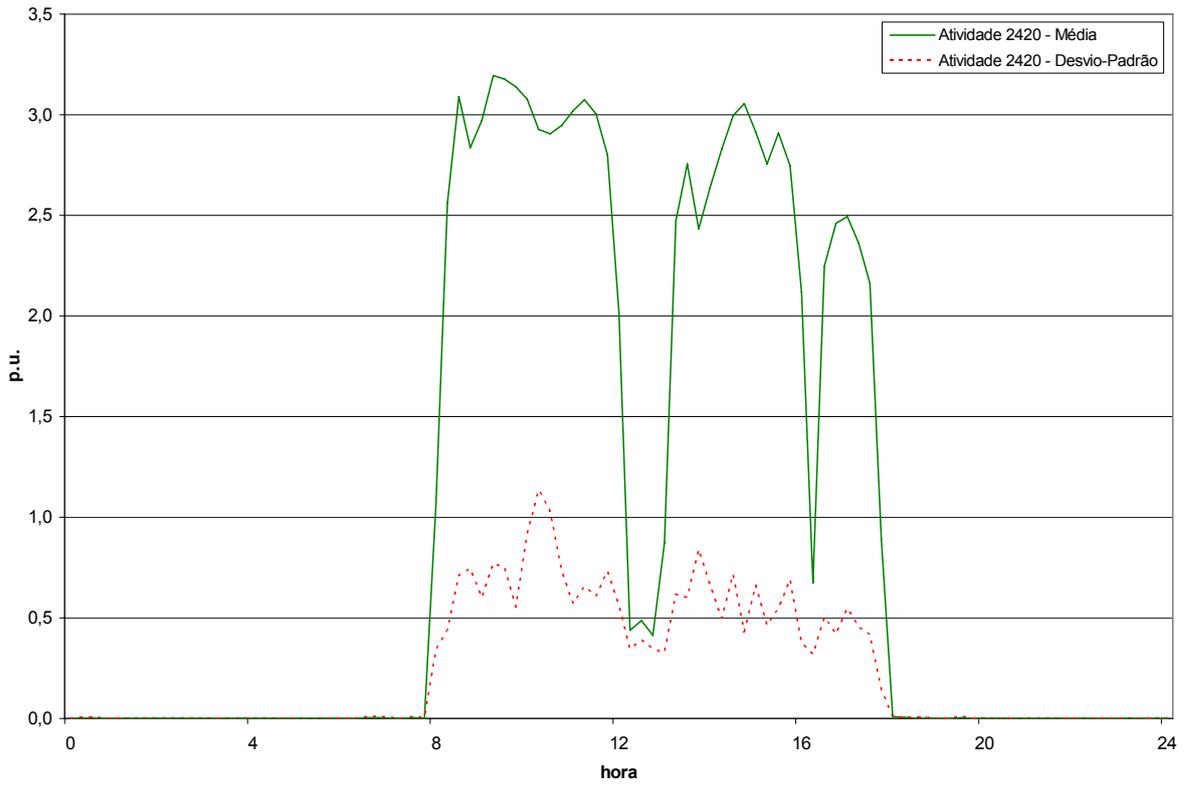


Figura II.45 - Curva de Carga de Fiação e Tecelagem

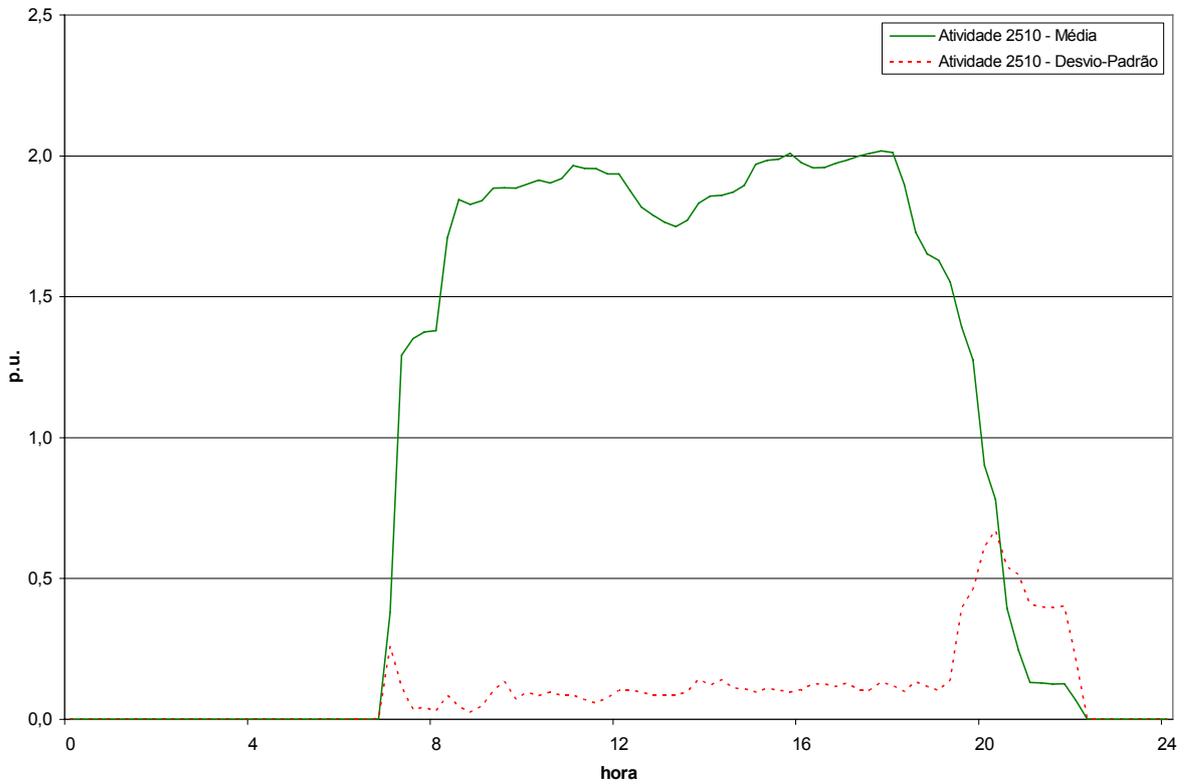


Figura II.46 - Curva de Carga de Confeção de Roupas e Agasalhos

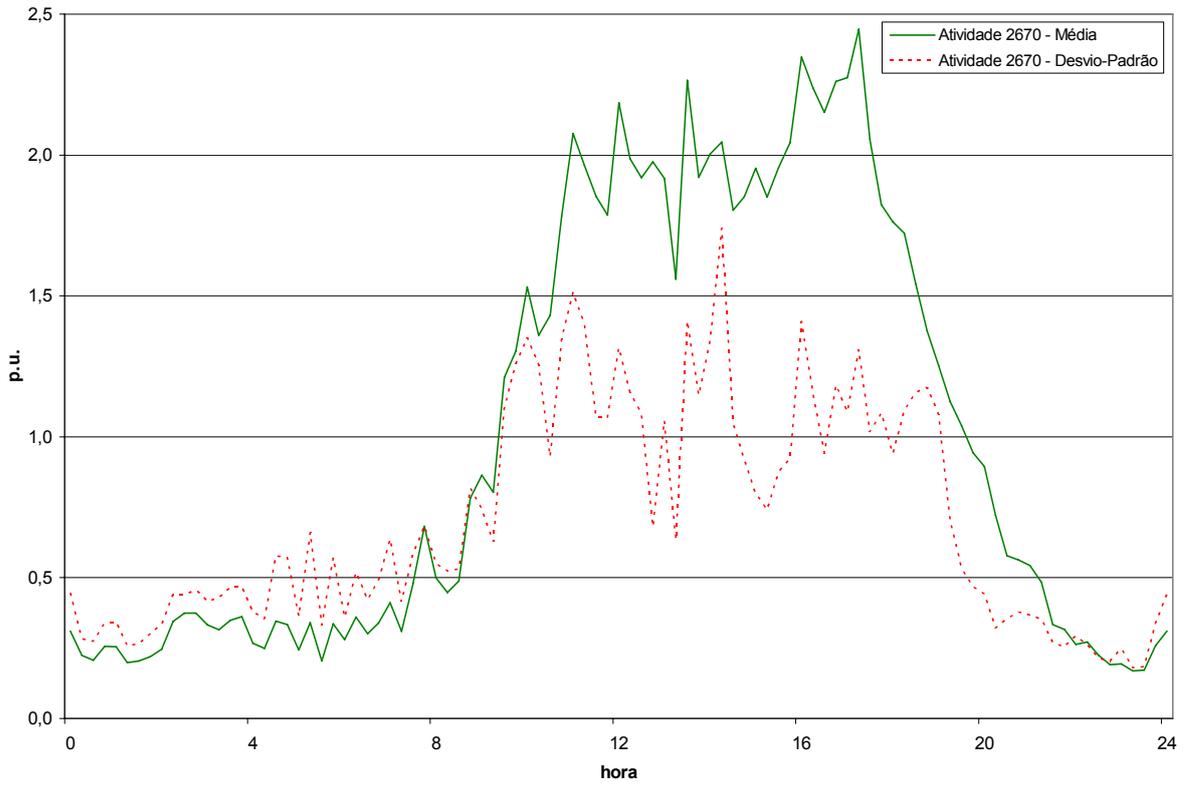


Figura II.47 - Curva de Carga de Fabricação de Produtos de Padaria e Pastelaria

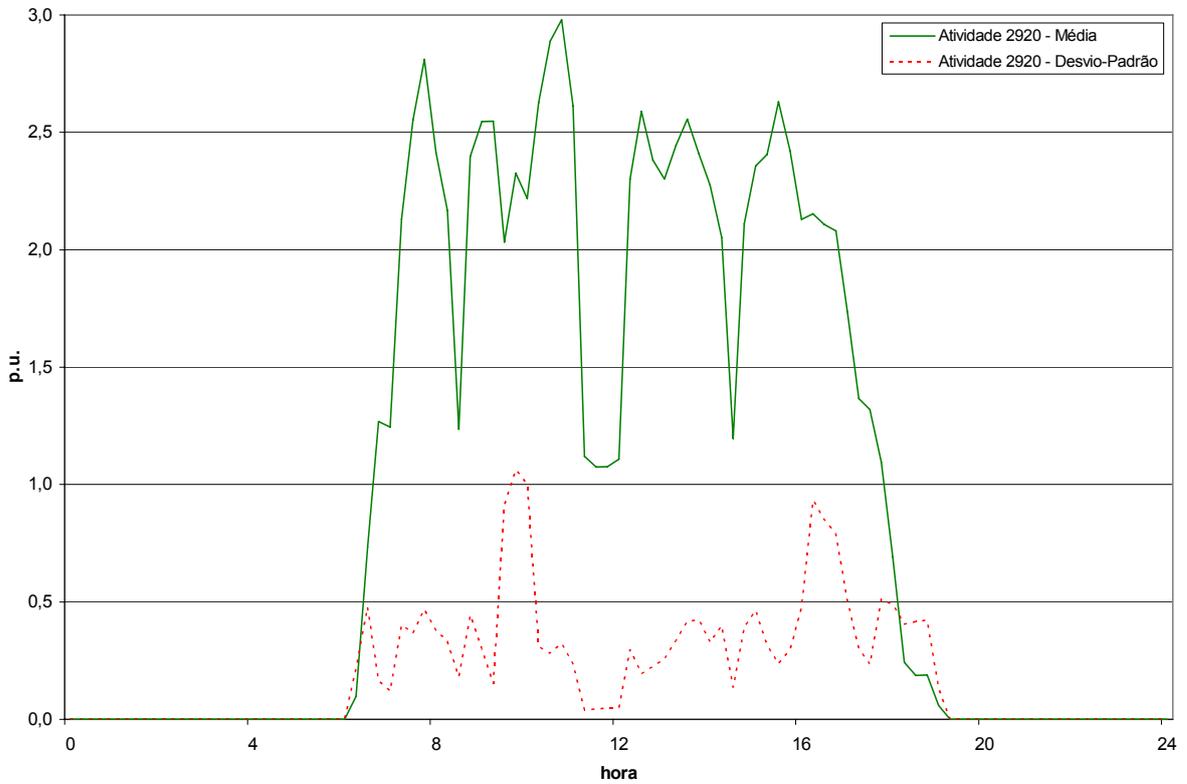


Figura II.48 - Curva de Carga de Impressão de Material Escolar, Comercial e Industrial

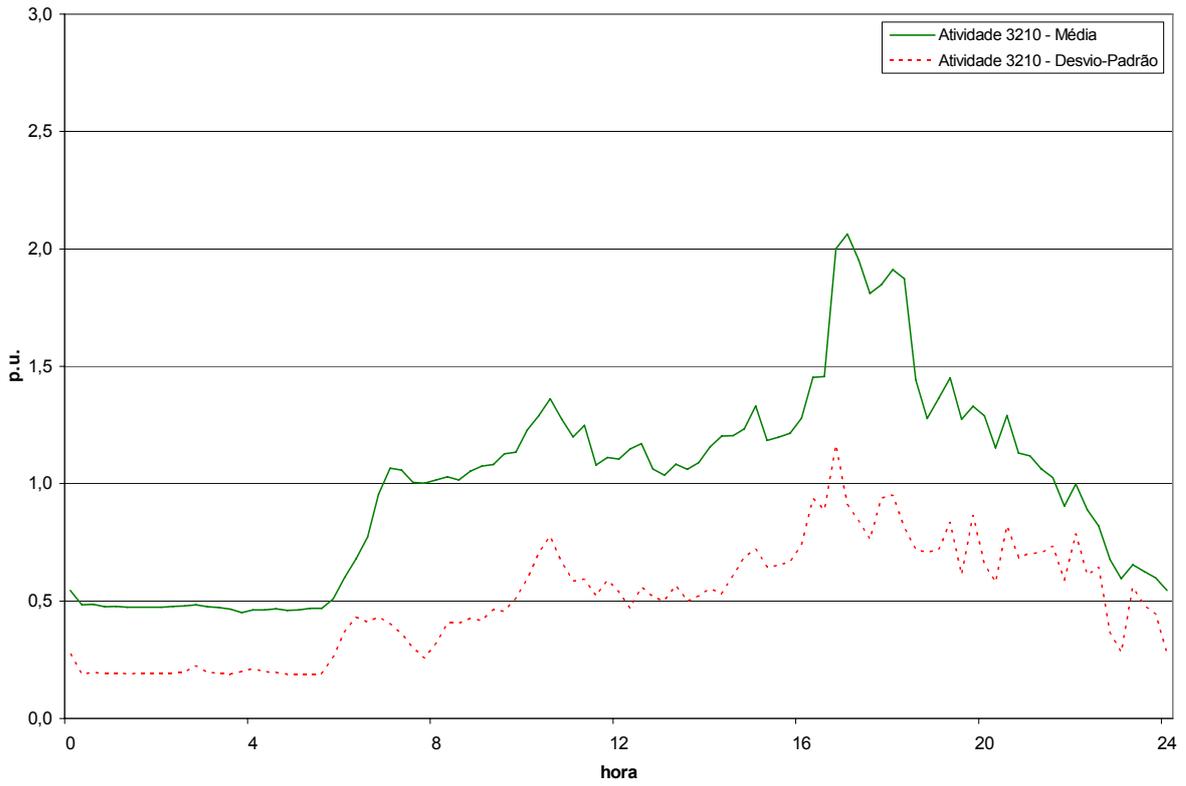


Figura II.49 - Curva de Carga de Construção Civil

Tabela II.4 - Atividades de Classe Poderes Públicos

Código da Atividade	Descrição
5041	Transportes Urbanos de Passageiros, Inclusive Metroviários
5052	Transportes Aéreos de Carga
5120	Radiodifusão e Televisão
5440	Hospitais e Casas de Saúde
5536	Serviços de Contabilidade e Despachante
5930	Empresas de Capitalização
5960	Empresas de Seguros

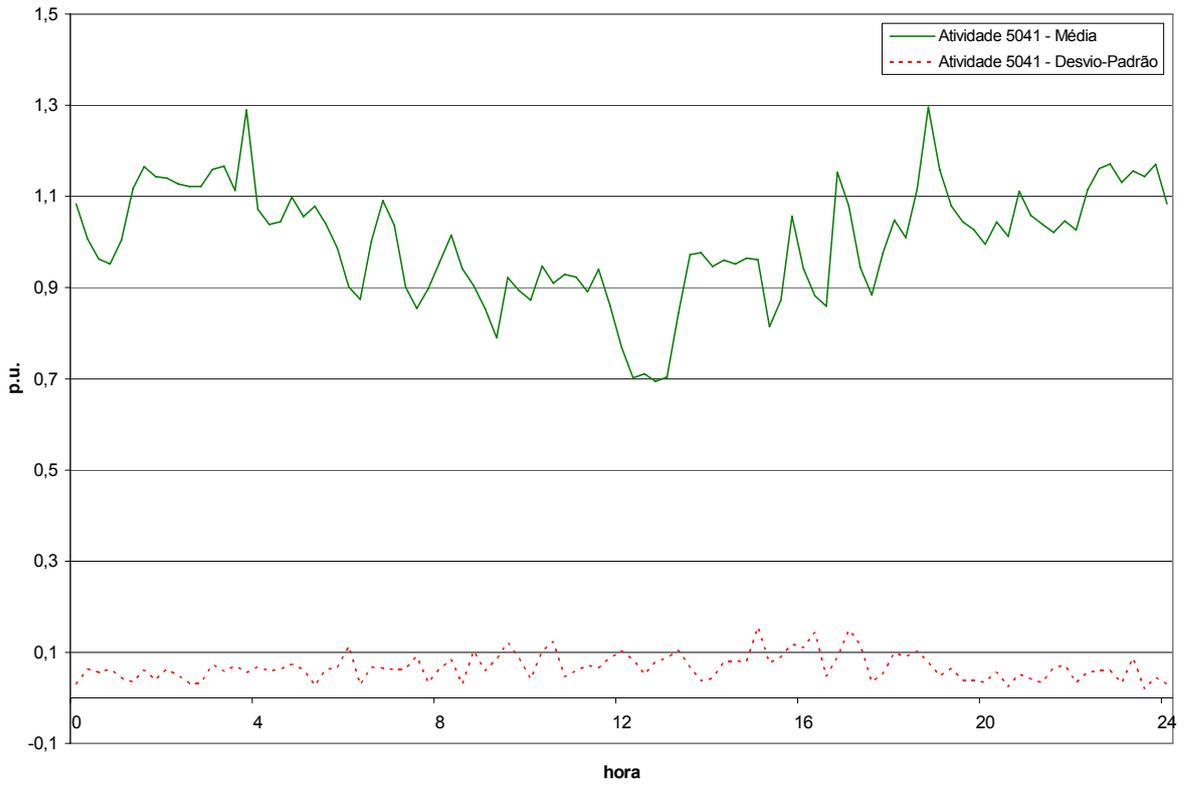


Figura II.50 - Curva de Carga de Transportes Urbanos de Passageiros, Inclusive Metroviários

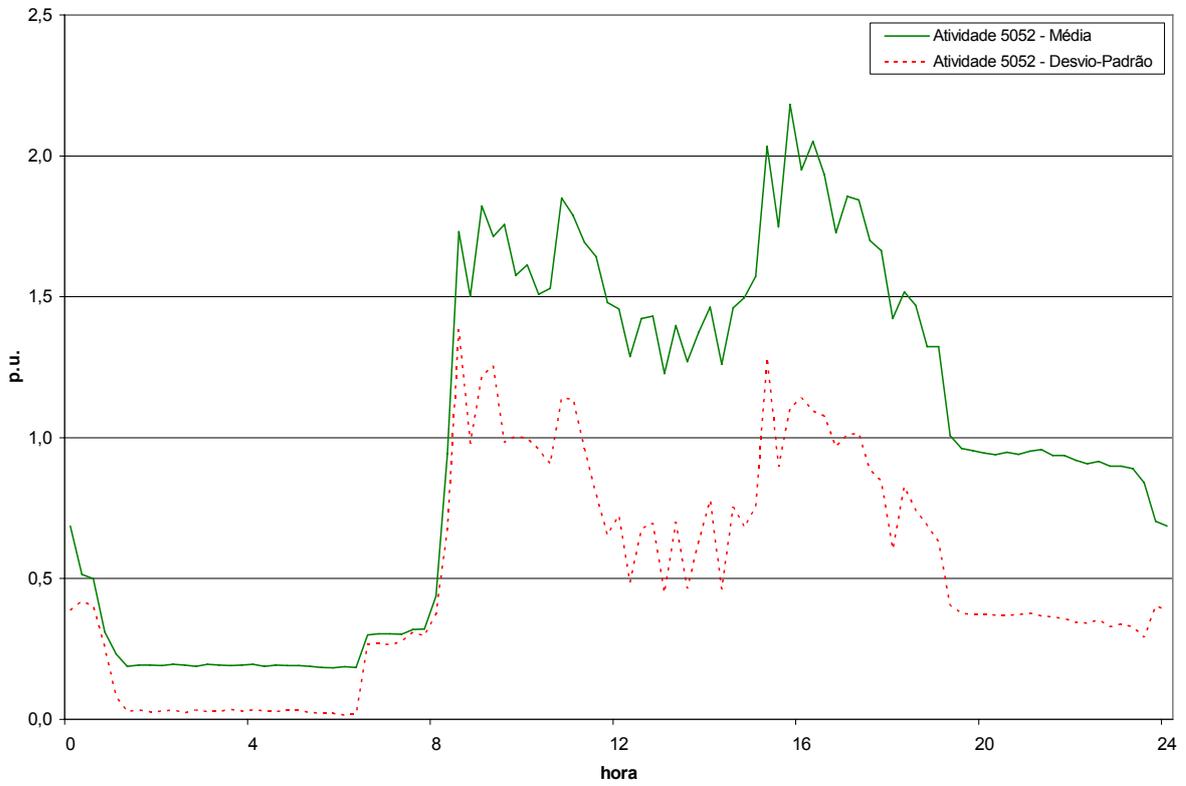


Figura II.51 - Curva de Carga de Transportes Aéreos de Carga

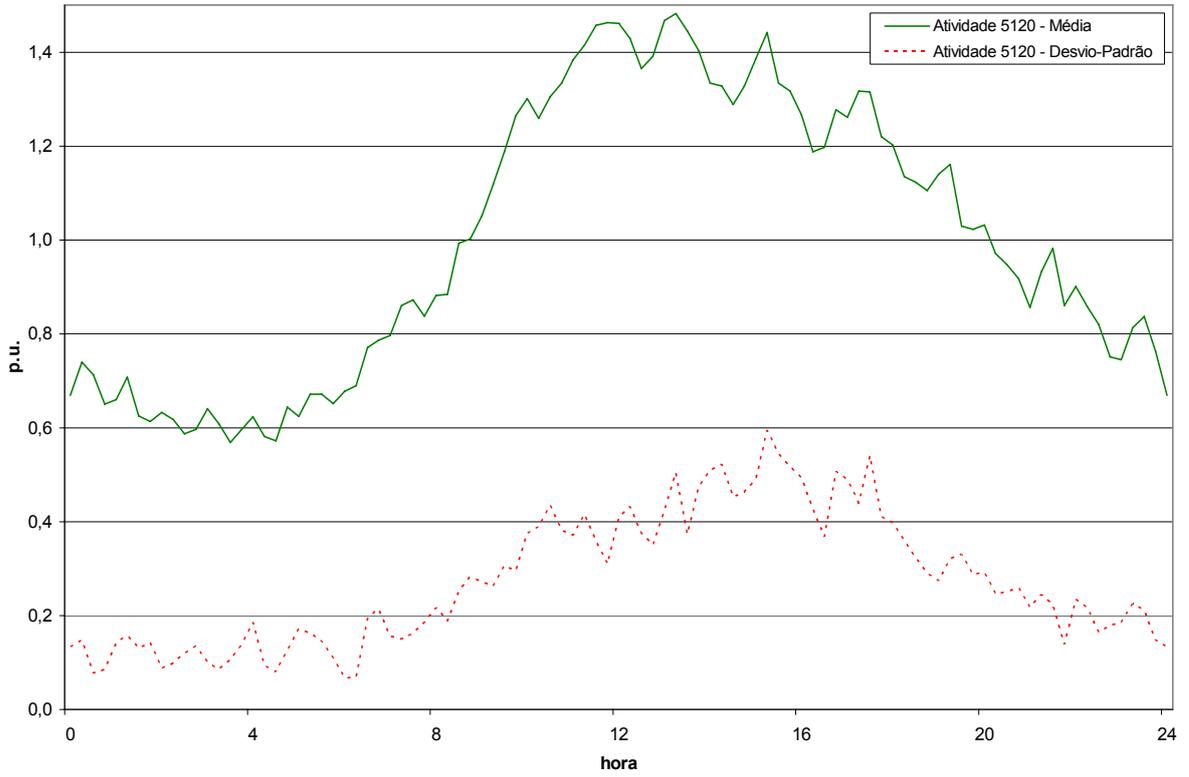


Figura II.52 - Curva de Carga de Radiodifusão e Televisão

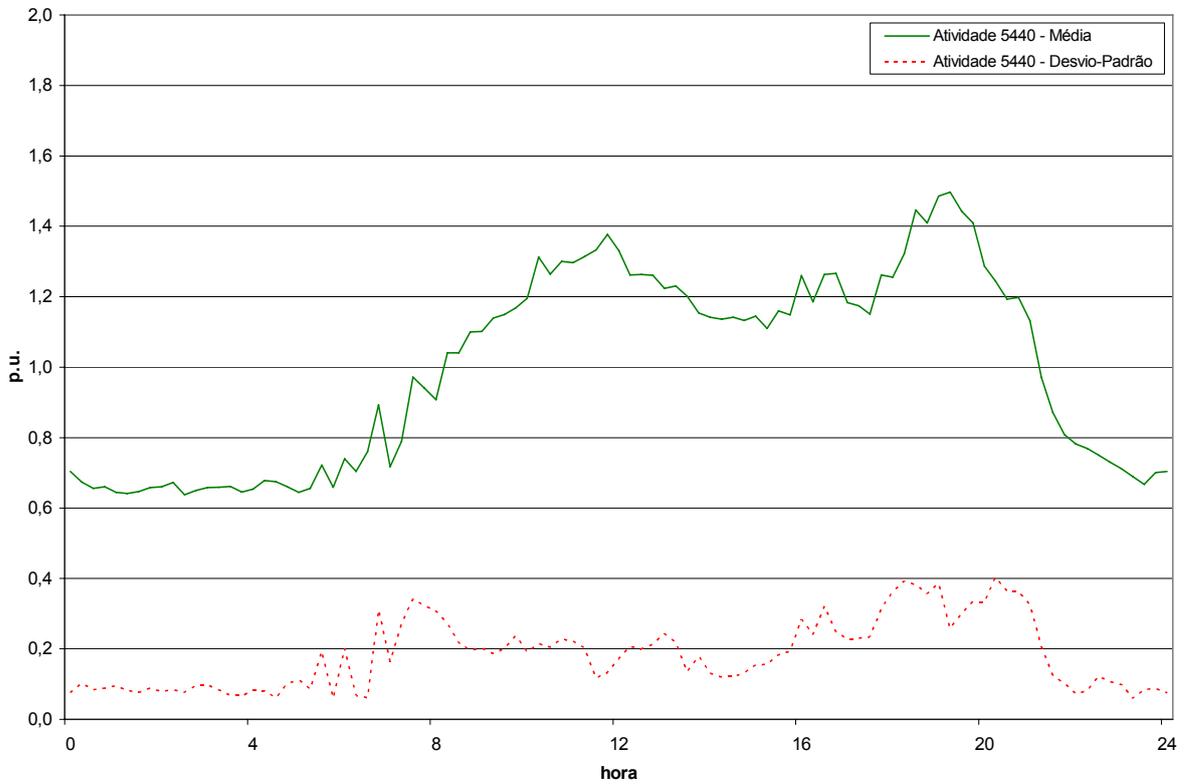


Figura II.53 - Curva de Carga de Hospitais e Casas de Saúde

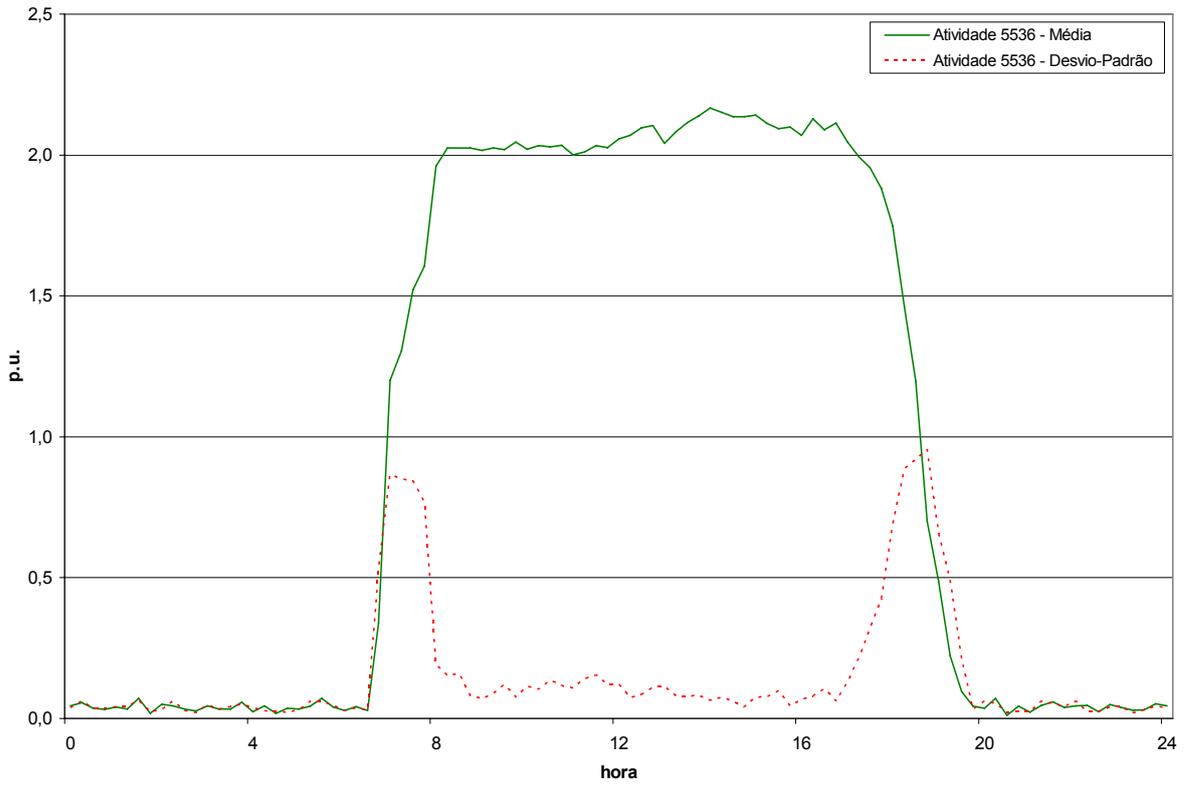


Figura II.54 - Curva de Carga de Serviços de Contabilidade e Despachante

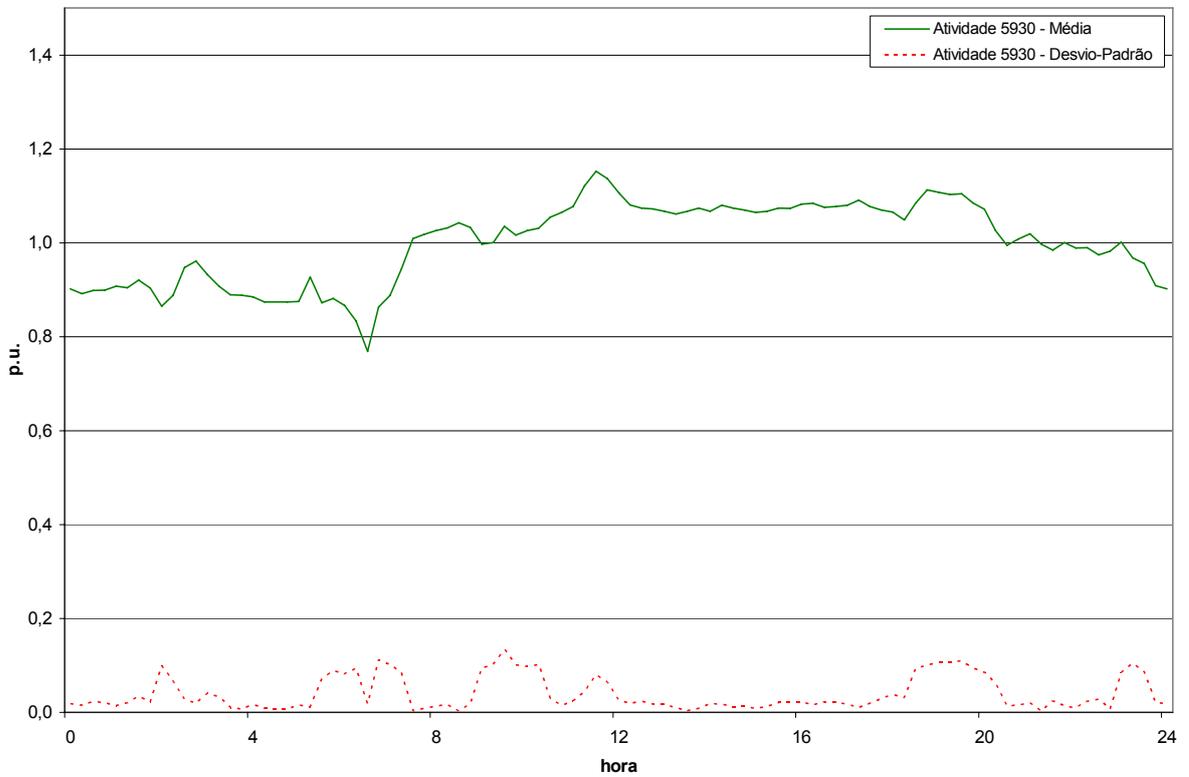


Figura II.55 - Curva de Carga de Empresas de Capitalização

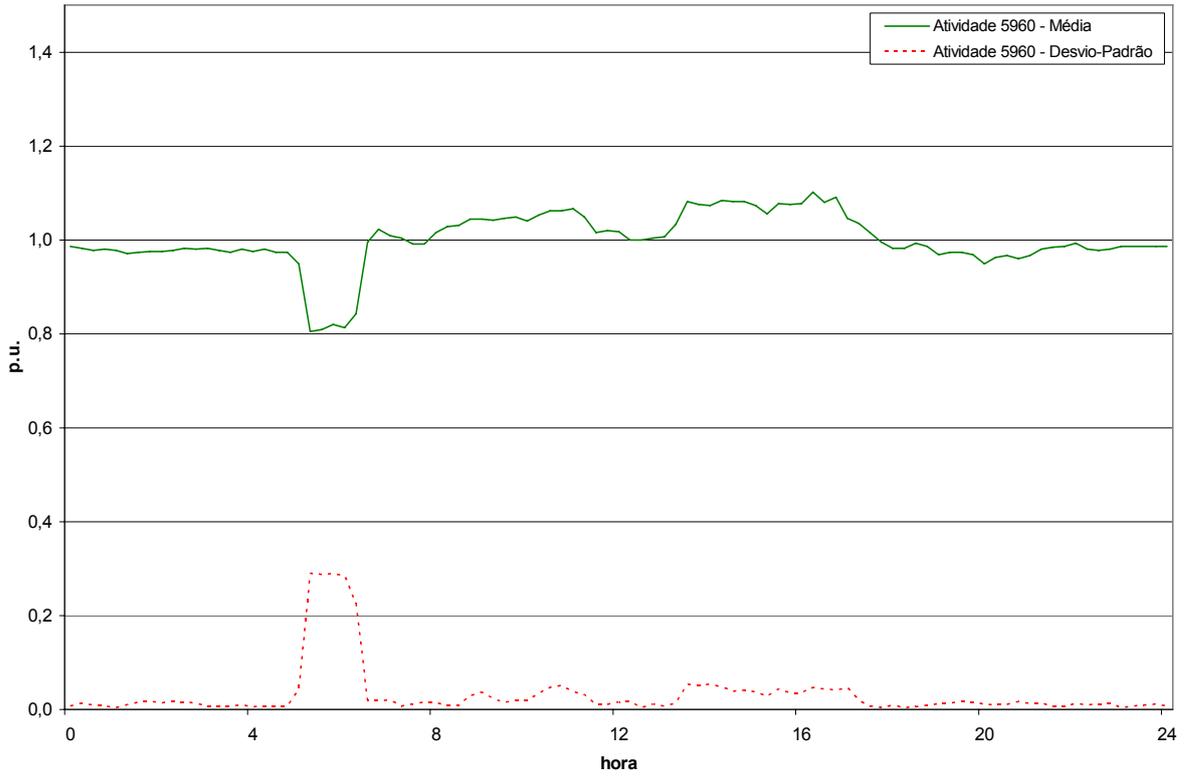


Figura II.56 - Curva de Carga de Empresas de Seguros

Tabela II.5 - Atividades de Classe Consumo Próprio

Código da Atividade	Descrição
8021	Associações Beneficentes, Religiosas e Assistenciais

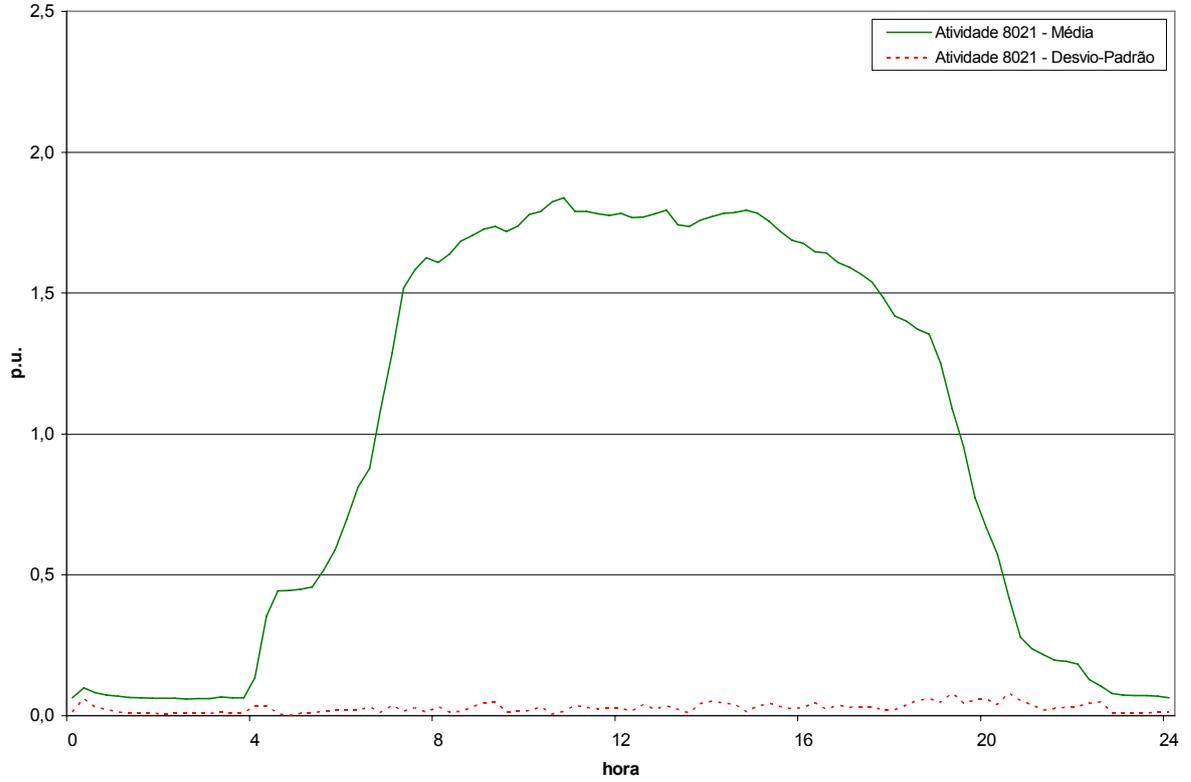


Figura II.57 - Curva de Carga de Associações Beneficentes, Religiosas e Assistenciais

III. Anexo III – Atividades com Curvas de Carga Semelhantes

A tabela abaixo apresenta as atividades cujas curvas de carga foram consideradas semelhantes às que foram apresentadas no Anexo II.

0001	Residencial - Abaixo de 200 kWh / Mês
0002	Residencial - (201 a 400) kWh / Mês
0003	Residencial - (401 a 500) kWh / Mês
0004	Residencial - Acima de 500 kWh / Mês

Tabela III.1 - Atividades com Curvas de Carga Semelhantes

Classe		
Cód. Ativ. Anexo II	Cód. Real Ativ.	Descrição da Atividade
0001	1	Residencial - Abaixo de 200 kWh / Mês
0002	2	Residencial - (201 a 400) kWh / Mês
0003	3	Residencial - (401 a 500) kWh / Mês
0004	4	Residencial - Acima de 500 kWh / Mês
1370	10	Extração de Minerais Metálicos
1370	11	Extração e Pelotização de Minérios de Ferro
1370	12	Extração de Minérios de Metais Não Ferrosos
1370	13	Extração de Minérios de Metais Preciosos
1370	14	Extração de Minerais Radioativos
1370	20	Extração de Minerais Não Metálicos
1370	21	Extração de Minerais p/ Fabricação de Adubos, Fertilizantes p/ Elaboração de Outros Produtos Químicos
1370	22	Extração de Pedras e Materiais Em Bruto p/ Construção
1370	23	Extração de Sal Marinho e Sal-Gema
1370	24	Extração de Pedras Preciosas e Semipreciosas
1370	29	Extração de Minerais Não Metálicos Não Especificados ou Não Classificados
1370	30	Extração de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Minerais
1370	31	Extração de Petróleo e Gás Natural
1370	32	Extração de Carvão Mineral
1370	39	Extração de Combustíveis Minerais Não Especificados ou Não Classificados
8021	111	Cultura de Cereais, Leguminosas e Oleaginosas
8021	112	Fruticultura
8021	113	Cacaucultura
8021	114	Cafeicultura
8021	115	Cultura de Cana-de-Açúcar
8021	116	Horticultura, Culturas Condimentais, Aromáticas e Medicinais
8021	117	Cultura de Raízes e Tubérculos
8021	118	Cultura de Fumo
8021	131	Cultura de Sementes e Mudas
8021	132	Cultura de Plantas Têxteis (Sisal etc.)
8021	133	Floricultura
8021	134	Heveicultura
8021	135	Silvicultura, Plantio, Replante e Manutenção de Matas
8021	139	Culturas Vegetais Não Especificadas ou Não Classificadas
8021	151	Bovinocultura de Corte
8021	152	Bovinocultura de Leite
8021	153	Equideocultura - Criação de Cavalos
8021	154	Suinocultura - Criação de Porcos
8021	155	Ovinocultura - Criação de Ovelhas
8021	156	Caprinocultura - Criação de Cabras
8021	157	Bubalinocultura - Criação de Búfalos
8021	158	Cunicultura - Criação de Coelho
8021	171	Avicultura - Criação de Aves
8021	172	Apicultura - Criação de Abelhas
8021	173	Sericicultura - Criação de Bichos-da-Seda
8021	179	Criação Animal Não Especificada ou Não Classificada
8021	211	Extração de Madeiras

Classe		
Cód. Ativ. Anexo II	Cód. Real Ativ.	Descrição da Atividade
8021	212	Extração de Látex da Seringueira
8021	213	Extração de Fibras
8021	214	Extração de Substâncias Tanantes, Produtos Aromáticos, Medicinais e Tóxicos
8021	219	Extração Vegetal Não Especificada ou Não Classificada
8021	311	Pesca de Captura ou Extração
8021	331	Piscicultura
8021	332	Carcinocultura - Cultivo de Camarões Marinhos e de Água Doce
8021	333	Ostricultura - Cultivo de Ostras
8021	334	Míticultura - Cultivo de Mexilhões
8021	335	Helicicultura - Cultivo de Caracóis - Inclusive <i>Escargots</i>
8021	336	Ranicultura - Cultivo de Rãs
8021	337	Cultivo de Algas
8021	339	Cultivos Aquáticos Não Especificados ou Não Classificados
8021	401	Indústria Rural
8021	501	Condomínio e Associação de Consumidores - Excluindo Cooperativas e Eletrificação Rural
8021	601	Serviço Público de Irrigação Rural
8021	701	Escola Agrotécnica
8021	801	Bomba de Incêndio - Rural
8021	802	Baixa Renda - Rural
1370	1011	Britamento de Pedras
1370	1012	Aparelhamento de Pedras para Construção
1370	1013	Execução de Trabalhos em Pedras
1370	1021	Beneficiamento de Minerais Não Metálicos
1370	1031	Fabricação de Clínquer e Cimento
1370	1032	Fabricação de Cal
1370	1041	Fabricação de Artefatos Cerâmicos ou de Barro Cozido p/ Construção
1370	1042	Fabricação de Artefatos Cerâmicos ou de Barro Cozido p/ Uso Doméstico
1370	1043	Fabricação de Revestimentos Cerâmicos
1370	1044	Fabricação de Cerâmica p/ Serviço de Mesa
1370	1045	Fabricação de Material Refratário
1370	1046	Fabricação de Louça Sanitária
1370	1047	Fabricação de Produtos Cerâmicos p/ Instalações Elétricas
1370	1049	Fabricação de Produtos Cerâmicos Não Especificados ou Não Classificados
1370	1051	Fabricação de Estruturas Pré-Moldadas de Cimento Armado
1370	1052	Fabricação de Artefatos de Cimento p/ Construção
1370	1053	Fabricação de Artefatos de Fibrocimento
1370	1054	Fabricação Artefatos, Peças e Acessórios de Amianto
1370	1055	Fabricação de Artefatos, Peças e Ornatos de Gesso e Estuque
1370	1059	Fabricação de Artefatos de Cimento Não Especificados ou Não Classificados
1370	1062	Fabricação de Vidro de Segurança
1370	1063	Fabricação de Artefatos de Vidro p/ Embalagem e Acondicionamento
1370	1064	Fabricação de Artefatos de Vidro e Cristal p/ Uso Doméstico
1370	1065	Fabricação de Espelhos
1370	1066	Fabricação de Artefatos de Vidro e Cristal p/ Produtos da Indústria de Material Elétrico e Iluminação
1370	1067	Fabricação de Fibras e Lã de Vidro e de Seus Artefatos
1370	1069	Fabricação de Artefatos de Vidro e Cristal Não Especificados ou Não Classificados
1370	1071	Fabricação de Materiais Abrasivos
1370	1072	Fabricação de Artefatos de Grafita
1370	1090	Fabricação de Produtos de Minerais Não Metálicos Não Especificados ou Não Classificados
1160	1101	Produção de Ferro-Gusa e Ferro-Esponja
1160	1102	Produção de Aço em Formas Primárias e Semi-Acabadas
1160	1103	Produção de Ferros-Liga em Formas Primárias e Semi-Acabadas
1160	1104	Produção de Produtos Laminados Planos, Não Planos de Aço ao Carbono Ligado e Aços Especiais
1160	1105	Produção de Tubos com Costura
1160	1106	Produção de Fundidos de Ferro e Aço
1160	1107	Produção de Forjados de Aço
1160	1108	Produção de Relaminados, Trefilados e Perfilados de Aço - Exceto Arames
1160	1111	Produção dos Metais Não Ferrosos em Formas Primárias
1160	1112	Produção de Produtos de Ligas de Metais Não Ferrosos em Formas Primárias
1160	1113	Produção de Produtos Laminados e Extrudados de Metais Não Ferrosos e Suas Ligas
1160	1114	Produção de Fundidos de Metais Não Ferrosos e Suas Ligas
1160	1115	Produtos de Forjados de Metais Não Ferrosos e Suas Ligas
1160	1117	Produção de Soldas e Anodos para Galvanoplastia
1160	1118	Metalurgia dos Metais Preciosos, Suas Ligas e Transformados
1160	1121	Fabricação de Pó Metálico e de Peças Sinterizadas
1160	1122	Fabricação de Granalha

Classe		
Cód. Ativ. Anexo II	Cód. Real Ativ.	Descrição da Atividade
1160	1130	Fabricação de Estruturas Metálicas e de Ferragens Eletrotécnicas
1160	1131	Fabricação de Estruturas Metálicas
1160	1141	Fabricação Artefatos de Trefilados de Ferro, Aço e Metais Não Ferrosos
1160	1142	Fabricação Produtos Padronizados e Trefilados Ferro, Aço e Metais Não Ferrosos
1160	1143	Fabricação de Palha de Lã (Esponja) de Aço e de Metais Não Ferrosos
1160	1151	Fabricação de Artefatos de Metal Estampado
1160	1152	Fabricação de Artefatos de Funilaria de Ferro, Aço e Metais Não Ferrosos
1160	1153	Fabricação Embalagens Metálicas de Ferro, Aço e Metais Não Ferrosos
1160	1161	Fabricação de Tanques, Reservatórios e Recipientes Metálicos
1160	1162	Fabricação de Ferragens para Construção, Arreios, Bolsas, Malas e Valises
1160	1163	Fabricação de Cofres, Portas e Compartimentos Blindados
1160	1164	Fabricação de Esquadrias, Portões, Portas, Marcos, Batentes, Grades e Basculantes
1160	1169	Fabricação de Artigos de Serralheria - Exceto Esquadrias
1160	1171	Fabricação de Artefatos de Cutelaria
1160	1172	Fabricação de Ferramentas Manuais
1160	1173	Fabricação de Artefatos de Metal p/ Escritório e Usos Pessoais Domésticos
1160	1181	Tratamento Térmico e Químico de Metais
1160	1182	Serviços de Galvanotécnica
1160	1190	Beneficiamento de Sucata Metálica
1370	1211	Fabricação de Caldeiras Geradoras de Vapor
1370	1212	Fabricação de Máquinas Motrizes Não Elétricas
1370	1213	Caldeiras Pesadas, Indústria Mec., Const. Naval, Veic., Fer., Hidrom., Aplicações Industriais
1370	1214	Fabricação de Equipamentos de Transmissão p/ Fins Industriais
1370	1215	Fabricação de Peças e Acessórios p/ Máquinas Motriz, Não Eletr., e p/ Equipamentos Trans., Fins Industriais
1370	1222	Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos para Instalações Hidráulicas
1370	1223	Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos para Instalações Térmicas
1370	1224	Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos de Refrigeração e Ventilação
1370	1225	Fabricação de Utensílios e Ferramentas p/ Máquinas Industriais
1370	1226	Fabricação de Máquinas e Aparelhos p/ Indústria Metalúrgica
1370	1227	Fabricação de Máquinas e Aparelhos p/ Indústria Obras, Metais, Carbonetos Metálicos
1370	1228	Fabricação de Máquinas e Aparelhos p/ Indústria da Madeira
1370	1231	Fabricação de Máquinas e Aparelhos p/ Indústria de Produtos Alimentares
1370	1232	Fabricação de Máquinas e Aparelhos p/ Indústria do Açúcar e Destilarias
1370	1233	Fabricação de Máquinas e Aparelhos p/ Indústria Têxtil e de Confecções
1370	1234	Fabricação de Máquinas e Aparelhos p/ Indústria do Couro e do Calçado
1370	1235	Fabricação de Máquinas e Aparelhos p/ Indústria de Celulose, Papel e Papelão
1370	1236	Fabricação de Máquinas e Aparelhos p/ Indústria de Artefatos de Papel e Cartonagem
1370	1237	Fabricação de Máquinas e Aparelhos p/ Mineradoras, Pedreiras, Prospecção e Extração de Petróleo
1370	1238	Fabricação de Máquinas e Aparelhos p/ Indústria da Construção, Marmoraria, Olarias e de Cerâmicas
1370	1241	Fabricação de Máquinas e Aparelhos p/ Indústria de Artigos Plásticos e de Borracha
1370	1242	Fabricação de Máquinas e Aparelhos p/ Indústria Perfumarias, Sabões e Velas
1370	1243	Fabricação de Máquinas e Aparelhos p/ Indústrias de Fumo
1370	1244	Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Materiais p/ Agricultura
1370	1245	Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos p/ Beneficiamento ou Preparação de Produtos Agrícolas
1370	1246	Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Materiais p/ Criação Animal
1370	1247	Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos p/ Postos de Gasolina, Transportadoras de Carga e Pessoas
1370	1248	Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos p/ o Exercício de Artes, Esportes e Ofícios
1370	1251	Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Utensílios p/ Escritório
1370	1252	Fabricação de Máquinas e Aparelhos p/ Uso Doméstico
1370	1253	Fabricação de Peças e Acessórios p/ Máquinas, Aparelhos e Equipamentos
1370	1259	Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos Não Especificados ou Não Classificados
1370	1261	Fabricação de Cronômetros e Relógios, Peças e Acessórios
1370	1271	Fabricação de Tratores p/ Trabalhos Agrícolas
1370	1272	Fabricação de Máquinas e Aparelhos de Terraplenagem e Pavimentação
1370	1273	Fabricação de Peças e Acessórios para Tratores, Máquinas e Aparelhos de Terraplenagem
1370	1281	Serviços Industriais de Usinagem e Soldas
1370	1282	Reparação ou Manutenção de Máquinas, Aparelhos, Equipamentos Industriais
1370	1291	Fabricação de Armas de Fogo, Peças e Acessórios
1370	1292	Fabricação de Munição p/ Armas de Fogo
1370	1293	Fabricação de Equipamento Bélico Pesado, Peças e Acessórios
1370	1294	Fabricação, Carregamento e Montagem de Munições p/ Equipamentos Bélicos Pesados, Peças e Acessórios
1370	1299	Fabricação de Material Bélico ou Equipamento Militar Não Especificado ou Não Classificado
1370	1311	Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos para Geração, Transmissão, Distribuição
1370	1321	Fabricação de Condutores Elétricos
1370	1322	Fabricação de Componentes Elétricos
1370	1323	Fabricação de Motores Elétricos

Classe		
Cód. Ativ. Anexo II	Cód. Real Ativ.	Descrição da Atividade
1370	1324	Fabricação de Lâmpadas, Peças e Acessórios
1370	1325	Fabricação de Material p/ Instalações Elétricas
1370	1326	Fabricação de Pilhas, Acumuladores e Seus Complementos
1370	1331	Fabricação de Material Elétrico p/ Veículos, Peças e Acessórios
1370	1341	Fabricação de Aparelhos Elétricos para Uso Doméstico e Pessoal
1370	1342	Fabricação de Aparelhos e Utensílios Elétricos, para Fins Industriais e Comerciais
1370	1343	Fabricação de Aparelhos e Equipamentos Elétricos, para Fins Eletroquímicos ou Outros Usos Técnicos
1370	1344	Fabricação de Peças e Acessórios p/ Máquinas e Aparelhos Elétricos
1370	1351	Fabricação de Material Eletrônico Básico
1370	1360	Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos para Informática, Peças e Acessórios
1370	1361	Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos Sist. Eletr. p/ Processamento de Dados de Uso Geral
1370	1362	Fabricação Máquinas, Aparelhos e Equipamentos Sist. Eletr. Dedicado a Automação, Gerência, Comercial ou Industrial
1370	1363	Fabricação de Equipamentos Periféricos p/ Máquinas Eletrônicas
1370	1364	Fabricação de Peças e Acessórios p/ Máquinas, Aparelhos e Equipamentos p/ Informática
1370	1371	Fabricação de Cronômetros e Relógios Eletrônicos, Peças e Acessórios
1370	1381	Fabricação de Aparelhos e Equipamentos de Telefonia e Radiotelefonia
1370	1382	Fabricação de Aparelhos e Equipamentos de Sinalização, Alarme e Publicidade
1370	1383	Fabricação de Aparelhos p/ Transmissão de Imagem e Som
1370	1384	Fabricação de Aparelhos p/ Recepção e Reprodução de Imagem e Som
1370	1385	Fabricação de Antenas p/ Transmissão e Recepção de Imagem e Som
1370	1386	Fabricação de Discos e Fitas Magnéticas Virgens
1370	1387	Fabricação de Aparelhos p/ Jogos e Diversões Eletrônicas
1370	1388	Fabricação de Peças e Acessórios p/ Aparelhos ou Equipamentos de Comunicação, Imagem, Som ou Entretenimento
1370	1391	Reparo ou Manutenção de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos Industriais, Comércio Elétrico, Eletrônico
1433	1411	Construção e Reparação de Embarcações e Estruturas Flutuantes
1433	1412	Reparação de Caldeiras, Máquinas, Turbinas e Motores Marítimos
1433	1421	Construção de Veículos Ferroviários
1433	1422	Fabricação de Peças e Acessórios p/ Veículos Ferroviários
1433	1423	Reparação de Caldeiras, Motores e Veículos Ferroviários
1433	1431	Fabricação de Veículos Automotores, Rodoviários
1433	1432	Fabricação de Peças, Acessórios de Veículos, Automotores, Rodoviários
1433	1433	Fabricação de Cabines e Carroçarias p/ Veículos Automotores, Rodoviários, Peças e Acessórios
1433	1434	Fabricação de Motociclos, Peças e Acessórios
1433	1435	Fabricação de Bicicletas, Triciclos, Ciclomotores, Peças e Acessórios
1433	1441	Construção e Reparação de Aviões
1433	1442	Fabricação de Peças, Acessórios, Turbinas e Motores p/ Aviões
1433	1451	Fabricação de Bancos e Estofados p/ Veículos
1433	1499	Fabricação de Veículos Rodoviários Não Especificados ou Não Classificados, Peças e Acessórios
1520	1511	Serrarias
1520	1512	Produção de Lâminas de Madeira Ou de Madeira Folheada
1520	1513	Produção de Lã de Madeira p/ Fins Industriais e Comerciais
1520	1521	Produtos de Casas de Madeira, Pré-Fabricação e Fabricação de Madeiramento e Vigamento p/ Construção
1520	1522	Fabricação de Esquadrias de Madeira e Peças de Madeira p/ Instalações Industriais e Comerciais
1520	1523	Fabricação de Caixas de Madeira
1520	1524	Fabricação de Urnas e Caixões Mortuários
1520	1529	Fabricação de Artefatos de Madeira e Carpintaria Não Especificados ou Não Classificados
1520	1532	Fabricação de Chapas de Madeira Compensada Revestidas ou Não com Material Plástico
1520	1541	Tanoaria e Fabricação de Artefatos de Madeira Arqueada
1520	1551	Fabricação de Artefatos de Madeira Torneada
1520	1552	Fabricação de Saltos e Solados de Madeira
1520	1553	Fabricação de Formas e Modelos de Madeira
1520	1554	Fabricação de Molduras e Execução de Obras de Talha
1520	1559	Fabricação de Artefatos de Madeira Não Especificados ou Não Classificados
1520	1561	Fabricação de Artefatos de Bambu, Vime, Junco, Xaxim e Palha Trançada
1520	1571	Fabricação de Artefatos de Cortiça
1520	1581	Produção de Lenha
1520	1582	Produção de Carvão Vegetal
1610	1611	Fabricação de Móveis de Madeira ou com Sua Predominância
1610	1612	Fabricação de Modulados de Madeira
1610	1613	Fabricação de Móveis de Vime e Junco ou com Sua Predominância
1610	1621	Fabricação de Móveis de Metal ou com Sua Predominância, Peças e Armações Metalúrgicas, Móveis
1610	1631	Fabricação de Móveis de Material Plástico ou com Sua Predominância
1610	1641	Fabricação de Artefatos de Colchoaria
1610	1651	Fabricação de Persianas e Artefatos do Mobiliário

Classe		
Cód. Ativ. Anexo II	Cód. Real Ativ.	Descrição da Atividade
1610	1699	Fabricação de Móveis e Peças de Mobiliário Não Especificados ou Não Classificados
1370	1711	Fabricação de Celulose, Pasta Mecânica, Termomecânica, Quimitem. e Seus Artefatos
1370	1720	Fabricação de Papel, Papelão, Cartão e Cartolina
1370	1721	Fabricação de Papel p/ Impressão, Escrita e Desenho
1370	1722	Fabricação de Papel p/ Embalagem e Acondicionamento
1370	1723	Fabricação de Papel p/ Fins Sanitários
1370	1724	Fabricação de Papelão, Cartão e Cartolina
1370	1732	Fabricação de Artefatos de Papel, Papelão, Cartão e Cartolina p/ Revestimento
1370	1733	Fabricação de Embalagens de Papel, Papelão, Cartão e Cartolina
1370	1739	Fabricação de Artefatos de Papel, Papelão, Cartão, Cartolina Não Especificados ou Não Classificados
1370	1741	Fabricação de Peças e Acessórios p/ Confeção de Papel, Papelão, Cartão, Cartolina
1370	1811	Beneficiamento de Borracha Natural
1370	1821	Fabricação de Pneus e Câmaras-de-Ar e Recondicionamento de Pneumáticos
1370	1822	Fabricação de Material p/ Recondicionamento de Pneumáticos
1370	1823	Fabricação de Laminados e Placas de Borracha
1370	1824	Fabricação de Saltos e Solados de Borracha p/ Calçados
1370	1825	Fabricação de Artefatos de Borracha p/ Veículos, Máquinas e Aparelhos
1370	1826	Fabricação de Artefatos de Borracha p/ Uso Industrial
1370	1827	Fabricação de Artefatos de Borracha p/ Usos Pessoal e Doméstico
1370	1831	Fabricação de Espuma e Artefatos de Espuma de Borracha Natural ou Sintética
1370	1911	Beneficiamento de Couros e Peles
1370	1921	Fabricação de Artefatos de Selaria em Couro e Assemelhados p/ Animais
1370	1922	Fabricação de Correias de Couro, Seus Artefatos e Assemelhados p/ Máquinas
1370	1923	Cortes de Couro p/ Calçados
1370	1929	Fabricação de Artefatos de Couros, Peles, Assemelhados Não Especificados ou Não Classificados
1370	2001	Fabricação de Químicos Orgânicos
1370	2002	Fabricação de Químicos Inorgânicos
1370	2003	Fabricação de Organo - Inorgânicos
1370	2004	Fabricação de Gases Industriais
1370	2011	Fabricação de Produtos Orgânicos Básicos, Derivados Petroquímicos, Carvão Min., Alc.
1370	2012	Fabricação de Produtos de Destilação do Carvão Mineral
1370	2013	Fabricação de Óleo e Graxas Lubrificantes e Aditivos
1370	2014	Fabricação de Produtos Derivados do Asfalto
1370	2021	Fabricação de Resinas Termoplásticas
1370	2022	Fabricação de Resinas
1370	2023	Fabricação de Plastificantes
1370	2024	Fabricação de Fios e Fibras Artificiais e Sintéticas
1370	2025	Fabricação de Matérias Polimerizadas p/ Extrusão de Fios
1370	2026	Fabricação de Borrachas e Látices Sintéticos
1370	2030	Fabricação de Produtos Químicos p/ Agricultura
1370	2031	Fabricação de Defensivos Agrícolas
1370	2032	Fabricação de Fertilizantes
1370	2041	Fabricação de Pólvoras, Explosivos e Detonantes
1370	2042	Fabricação de Fósforos de Segurança e Artigos Pirotécnicos
1370	2051	Fabricação de Corantes e Pigmentos
1370	2061	Fabricação de Tintas, Esmaltes, Lacas, Vernizes, Solventes, Secantes, Impermeabilizantes etc.
1370	2071	Fabricação de Óleos Essenciais, Vegetais e de Outros Derivados da Destilação da Madeira
1370	2072	Fabricação de Concentrados Aromáticos Naturais, Artificiais e Sintéticos
1370	2073	Fabricação de Colas, Adesivos, Selantes e Substâncias Afins
1370	2074	Fabricação de Substâncias Tanantes e Mordentes
1370	2075	Fabricação de Ceras Naturais
1370	2076	Fabricação de Gelatinas
1370	2081	Fabricação de Sabões e Detergentes
1370	2082	Fabricação de Desinfetantes
1370	2083	Fabricação de Defensivos Domésticos
1370	2084	Produção de Preparações p/ Limpeza e Polimento
1370	2085	Fabricação de Produtos de Perfumaria, Cosméticos e Outros Artigos p/ Toalete
1370	2086	Fabricação de Velas
1370	2099	Fabricação de Produtos Químicos Não Especificados ou Não Classificados
1370	2111	Fabricação de Produtos Farmacêuticos
1370	2112	Fabricação de Produtos Farmacêuticos Homeopáticos
1370	2121	Fabricação de Produtos Veterinários
1370	2211	Fabricação de Produtos do Refino do Petróleo
1370	2221	Destilaria de Alcool para Processamento de Cana-de-Açúcar, Mandioca, Madeira ou Outros Vegetais
1370	2311	Fabricação de Laminados de Material Plástico
1370	2312	Fabricação de Espuma de Material Plástico

Classe		
Cód. Ativ. Anexo II	Cód. Real Ativ.	Descrição da Atividade
1370	2321	Fabricação de Artefatos de Material Plástico para Uso na Indústria de Construção
1370	2322	Fabricação de Artefatos de Material Plástico para Uso na Indústria Mecânica
1370	2323	Fabricação de Artefatos de Material Plástico para Produtos da Indústria de Material Eletroeletrônico
1370	2324	Fabricação de Peças e Acessórios de Material Plástico p/ Veículos
1370	2325	Fabricação de Artefatos de Material Plástico p/ Usos Doméstico e Pessoal
1370	2326	Fabricação de Artefatos de Material Plástico p/ Embalagem e Acondicionamento
1370	2327	Fabricação de Manilhas, Canos, Tubos e Conexões de Material Plástico
1370	2329	Fabricação de Artefatos de Material Plástico Não Especificados ou Não Classificados
2420	2411	Beneficiamento de Fibras Têxteis Vegetais
2420	2412	Beneficiamento de Materiais Têxteis de Origem Animal
2420	2413	Fabricação de Estopa e Materiais p/ Estofa
2420	2421	Fiação de Algodão
2420	2422	Fiação de Seda Animal
2420	2423	Fiação de Lã
2420	2424	Fiação de Fibras Duras
2420	2425	Fiação e Tecelagem com Fibras Artificiais e Sintéticas
2420	2426	Fabricação de Linhas e Fios p/ Coser e Bordar e Tinturaria de Fios
2420	2431	Tecelagem Plana
2420	2432	Tecelagem de Malha
2420	2433	Tecelagem de Fita Ráfia de Polipropileno, Polietileno e Outros Materiais Plásticos
2420	2434	Produção de Tecidos Acabados
2420	2435	Fabricação de Tecidos Especiais
2420	2441	Fabricação de Acessórios Têxteis p/ Confecções
2420	2442	Fabricação de Cordoaria
2420	2443	Fabricação de Sacos de Tecidos e de Fibras Têxteis
2420	2444	Fabricação de Artefatos de Tapeçaria
2420	2449	Fabricação de Artefatos Têxteis Não Especificados ou Não Classificados
2510	2511	Confecção de Roupas
2510	2512	Confecção de Roupas do Vestuário Infante-Juvenil
2510	2513	Confecção de Peças Interiores do Vestuário
2510	2514	Confecção de Roupas p/ Banho
2510	2519	Confecção de Roupas e Agasalhos Não Especificados ou Não Classificados
2510	2521	Confecção de Roupas Profissionais e p/ Segurança no Trabalho
2510	2522	Fabricação de Acessórios Profissionais e p/ Segurança no Trabalho
2510	2531	Fabricação de Artefatos de Tricô e Crochê
2510	2532	Fabricação de Meias
2510	2533	Fabricação de Chapéus, Gorros, Boinas e Bonés
2510	2534	Fabricação de Acessórios do Vestuário
2510	2541	Confecção de Roupas de Cama, Mesa, Copa e Banho
2510	2542	Confecção de Bandeiras, Estandartes e Flâmulas
2510	2543	Confecção de Artefatos de Lona e de Tecidos de Acabamentos Especiais
2510	2544	Confecção de Redes
2510	2545	Fabricação de Sombrinhas, Guarda-Chuvas e Guarda-Sóis
2510	2549	Confecção de Artefatos de Tecidos Não Especificados ou Não Classificados
2510	2551	Fabricação de Artefatos de Viagem
2510	2552	Fabricação de Artefatos p/ Transporte de Objetos de Uso Pessoal
2670	2601	Beneficiamento de Produtos Alimentares de Origem Vegetal
2670	2602	Moagem de Trigo e Fabricação de Farinha de Trigo e Derivados do Grão
2670	2603	Torrefação e Moagem de Café
2670	2604	Fabricação de Café Solúvel
2670	2605	Fabricação de Produtos do Milho
2670	2606	Fabricação de Produtos da Mandioca
2670	2607	Fabricação de Farinhas e Seus Derivados
2670	2608	Fabricação de Mate Solúvel
2670	2611	Moagem de Cana, Fabricação e Refinação de Açúcar
2670	2612	Fabricação de Glicose de Cana-de-Açúcar
2670	2613	Fabricação de Açúcar de Cereais (Dextrose) e de Beterraba
2670	2621	Fabricação de Derivados do Beneficiamento do Cacau
2670	2622	Fabricação de Balas, Caramelos, Pastilhas e Drops
2670	2623	Fabricação de Gomas de Mascar
2670	2631	Preparação de Alimentos Conservados
2670	2632	Produção de Conservas de Frutas e Legumes
2670	2633	Fabricação de Doces em Massa, Pasta ou em Calda
2670	2639	Preparação de Alimentos e Conservas Não Especificados ou Não Classificados
2670	2641	Preparação de Especiarias e Condimentos
2670	2642	Preparação do Sal p/ Alimentação

Classe		
Cód. Ativ. Anexo II	Cód. Real Ativ.	Descrição da Atividade
2670	2643	Fabricação de Óleos Vegetais e Preparação de Gorduras p/ Alimentação
2670	2644	Fabricação de Vinagres
2670	2651	Abate e Frigorificação de Bovinos
2670	2652	Abate e Frigorificação de Suínos
2670	2653	Abate e Frigorificação de Equídeos, Ovinos e Caprinos
2670	2654	Abate, Preparação de Aves e Pequenos Animais, Conservação e Subprodutos
2670	2655	Preparação de Conservas de Carne e Subprodutos
2670	2659	Abate e Preparação de Animais Não Especificados ou Não Classificados
2670	2661	Preparação do Pescado
2670	2662	Fabricação de Conservas do Pescado
2670	2671	Resfriamento, Preparação e Fabricação de Produtos do Leite
2670	2681	Fabricação de Massas
2670	2682	Fabricação de Pós Alimentícios
2670	2683	Fabricação de Pães, Bolos, Biscoitos e Tortas
2670	2691	Fabricação de Sorvetes, Tortas, Bolos Gelados e Coberturas
2670	2692	Fabricação de Fermento, Leveduras e Coalhos
2670	2693	Fabricação de Gelo
2670	2694	Fabricação de Rações Balanceadas e de Alimentos Preparados p/ Animais
2670	2695	Fabricação e Preparação de Alimentos Dietéticos
2670	2699	Fabricação de Produtos Alimentares Não Especificados ou Não Classificados
1370	2711	Fabricação e Engarrafamento de Vinhos de Uva
1370	2712	Fabricação e Engarrafamento de Vinhos
1370	2721	Fabricação e Engarrafamento de Aguardente da Cana-de-Açúcar
1370	2722	Fabricação e Engarrafamento de Aguardentes
1370	2723	Fabricação e Engarrafamento de Licores e Outras Bebidas Alcoólicas
1370	2731	Fabricação e Engarrafamento de Cervejas e Chopes
1370	2732	Fabricação e Engarrafamento de Malte
1370	2741	Fabricação e Engarrafamento de Refrigerantes
1370	2742	Gaseificação e Engarrafamento de Águas Minerais
1370	2743	Fabricação e Engarrafamento de Refrescos e de Xaropes
1370	2811	Preparação de Fumo
1370	2812	Fabricação de Cigarros
1370	2813	Fabricação de Charutos e Cigarilhas
1370	2819	Fabricação de Produtos do Fumo Não Especificados ou Não Classificados
2920	2911	Edição de Jornais
2920	2912	Edição de Periódicos (Revistas, Figurinos, Almanques Etc.)
2920	2913	Edição de Livros e Manuais (Científicos, Didáticos, Técnicos, Literários Etc.)
2920	2921	Fabricação de Material Impresso p/ Uso Escolar
2920	2922	Fabricação de Material Impresso p/ Uso Industrial, Comercial e Público
2920	2923	Fabricação de Material Impresso de Segurança
2920	2929	Fabricação de Materiais Impressos Não Especificados ou Não Classificados
2920	2931	Impressão de Jornais, Livros, Periódicos
2920	2932	Impressão Tipográfica, Litográfica e <i>Off set</i>
2920	2933	Pautação, Encadernação, Douração e Plastificação
2920	2939	Execução de Serviços Gráficos Não Especificados ou Não Classificados
2920	2941	Produção de Matrizes p/ Impressão
1370	3001	Fabricação de Instrumentos, Utensílios e Aparelhos de Medição p/ Usos Técnicos Profissionais
1370	3011	Fabricação de Aparelhos e Equipamentos Odonto-Médico-Hospitalares e Laboratoriais
1370	3012	Fabricação de Instrumentos e Acessórios Odonto-Médico-Hospitalares e Laboratoriais
1370	3013	Fabricação de Materiais de Consumo Odonto-Médico-Hospitalares e Laboratoriais
1370	3021	Fabricação de Aparelhos Fotográficos e Cinematográficos, Peças e Acessórios
1370	3022	Fabricação de Material Fotográfico
1370	3023	Fabricação de Instrumentos Óticos, Peças e Acessórios
1370	3024	Fabricação de Material Ótico
1370	3031	Lapidação de Pedras Preciosas e Semipreciosas
1370	3032	Joalheria e Ourivesaria
1370	3033	Fabricação de Bijuterias
1370	3034	Cunhagem de Moedas e Medalhas
1370	3041	Fabricação de Instrumentos Musicais, Peças e Acessórios
1370	3042	Fabricação de Discos Fonográficos Gravados
1370	3043	Fabricação de Fitas Magnéticas Gravadas
1370	3051	Fabricação de Vassouras, Brossas, Pincéis, Escovas e Espanadores
1370	3061	Fabricação de Brinquedos, Peças e Acessórios
1370	3062	Fabricação de Equipamentos de Uso do Bebê
1370	3071	Fabricação de Artefatos e Equipamentos p/ Caça e Pesca
1370	3072	Fabricação de Artefatos e Equipamentos p/ Esporte

Classe		
Cód. Ativ. Anexo II	Cód. Real Ativ.	Descrição da Atividade
1370	3073	Fabricação de Artefatos e Equipamentos p/ Jogos Recreativos
1370	3081	Fabricação de Aviamentos p/ Costura
1370	3082	Fabricação de Artefatos de Pêlos, Plumas, Chifres e Garras
1370	3083	Fabricação de Artefatos de Escritório
1370	3084	Fabricação de Artefatos Escolares
1370	3085	Fabricação de Painéis e Placas p/ Propaganda e Sinalização
1370	3086	Fabricação de Filtros p/ Cigarros
1370	3087	Fabricação de Perucas e Cílios Postiços
1370	3088	Fabricação de Produtos p/ Higiene Pessoal
1370	3089	Fabricação de Artefatos Diversos Não Especificados ou Não Classificados
1370	3111	Fabricação de Calçados de Couro e Assemelhados
1370	3121	Fabricação de Calçados de Tecido
1370	3122	Fabricação de Calçados de Borracha
1370	3123	Fabricação de Calçados de Plástico
1370	3131	Fabricação de Calçados p/ Dança e Esportes
1370	3132	Fabricação de Calçados p/ Segurança no Trabalho
1370	3141	Confecção de Partes e Componentes p/ Calçados
3210	3311	Construção de Edifícios
3210	3312	Construções Viárias
3210	3313	Construção de Grandes Estruturas e de Obras-de-Arte
3210	3314	Montagens Industriais e Instalação de Máquinas e Equipamentos
3210	3315	Urbanização
3210	3319	Construção Civil Não Especificada ou Não Classificada
3210	3321	Atividade Geotécnica
3210	3322	Concretagem, Estruturas, Armações de Ferro, Formas e Concreto p/ Escoramento
3210	3324	Montagem e Instalação de Elevadores e Escadas Rolantes
3210	3325	Montagem de Estruturas de Pré-Moldados e de Treliçados
3210	3326	Terraplenagem, Pavimentação de Estradas e Vias Urbanas
3210	3327	Preparação do Leito de Linhas Férreas
3210	3328	Sinalização de Tráfego
3210	3331	Atividade Específica da Construção
3210	3332	Drenagem e Aterro Hidráulico
3210	3333	Demolições
3210	3339	Atividades da Construção Não Especificadas ou Não Classificadas
1370	3411	Geração e Distribuição de Energia Elétrica
1370	3421	Produção e Distribuição Canalizada de Gás
1370	3431	Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário
1370	3441	Limpeza Pública, Remoção e Beneficiamento do Lixo
1370	3501	Bomba de Incêndio - Industrial
6199	4111	Comércio Varejista de Produtos Hortigranjeiros
6199	4112	Comércio Varejista de Laticínios
6114	4113	Padarias, Bombonieres, Confeitarias
6113	4114	Açougues
6113	4115	Peixarias
6114	4116	Comércio Varejista de Bebidas
6199	4117	Comércio Varejista de Fumo, Tabacarias
6199	4119	Comércio Varejista de Produtos Alimentícios Não Especificados ou Não Classificados
6108	4121	Farmácias, Drogarias, Floras Medicinais e Ervanários
6108	4122	Perfumarias e Comércio Varejista de Produtos de Higiene Pessoal
6108	4123	Comércio Varejista de Produtos Veterinários, Químicos de Uso Agropecuário e Produtos Alimentícios p/ Animais
6108	4124	Comércio Varejista de Produtos de Higiene, Limpeza e Conservação Domiciliar
6108	4125	Comércio Varejista de Produtos Odontológicos
6199	4129	Comércio Varejista de Produtos Químicos Não Especificados ou Não Classificados
6111	4131	Comércio Varejista de Tecidos
6112	4132	Comércio Varejista de Artefatos de Tecidos
6112	4133	Comércio Varejista de Artigos do Vestuário
6112	4134	Comércio Varejista de Complementos e Acessórios do Vestuário
6112	4135	Comércio Varejista de Calçados
6112	4136	Comércio Varejista de Roupas p/ Uso Profissional e p/ Segurança no Trabalho
6112	4137	Comércio Varejista de Artigos de Armário
6106	4141	Comércio Varejista de Móveis, Objetos de Arte, Decoração e Antiguidades
6111	4142	Comércio Varejista de Artigos de Colchoaria
6106	4143	Comércio Varejista de Artigos de Tapeçaria - Inclusive Persianas e Acessórios
6106	4144	Comércio Varejista de Artigos p/ Serviços de Mesa, Copa e Cozinha
6101	4151	Comércio Varejista de Ferragens, Ferramentas, Produtos Metalúrgicos e Artigos de Cutelaria
6102	4152	Comércio Varejista de Bombas e Compressores

Classe		
Cód. Ativ. Anexo II	Cód. Real Ativ.	Descrição da Atividade
6199	4153	Comércio Varejista de Vidros, Espelhos, Vitrais e Molduras
6199	4161	Comércio Varejista de Madeira Beneficiada e Artefatos de Madeira
6101	4162	Comércio Varejista de Material de Construção
6101	4163	Comércio Varejista de Material p/ Pintura
6199	4171	Comércio Varejista de Material Eletroeletrônico
6103	4181	Comércio Varejista de Veículos
6105	4182	Comércio Varejista de Peças e Acessórios
6199	4183	Comércio Varejista de Bicicletas e Triciclos, Peças e Acessórios
6114	4211	Comércio Varejista Independente de Mercadorias em Geral
6115	4212	Comércio de Mercadorias em Geral e Rede de Varejo
6112	4213	Bazares
6199	4221	Comércio Varejista de Máquinas, Aparelhos p/ Escritório, Peças e Acessórios
6199	4222	Comércio Varejista de Aparelhos e Equipamentos p/ Comunicação, Peças e Acessórios
6102	4223	Comércio Varejista de Equipamentos de Informática, Peças e Acessórios
6199	4224	Comércio Varejista de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos p/ Uso na Agropecuária, Peças e Acessórios
6102	4225	Comércio Varejista de Máquinas e Aparelhos de Uso Doméstico
6199	4226	Comércio Varejista de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos Odonto-Médico-Hospitalares e Laboratoriais
6109	4231	Comércio Varejista de Combustíveis de Origem Vegetal
6199	4232	Postos de Álcool, Gasolina e Derivados do Petróleo
6199	4233	Comércio Varejista de Gás Liquefeito de Petróleo
6199	4239	Comércio Varejista de Combustível e Lubrificante Não Especificados ou Não Classificados
6107	4241	Papelarias, Comércio de Papel, Papelão, Cartolinas, Artigos Escolares e de Escritório
6107	4242	Livrarias e Bancas de Jornal
6199	4251	Comércio Varejista de Instrumentos Musicais e Acessórios
6199	4252	Joalherias, Relojoarias e Comércio Varejista de Bijuterias
6199	4253	Óticas
6199	4254	Comércio Varejista de Material Fotográfico e Cinematográfico
6119	4255	Comércio Varejista de Brinquedos, Artigos de Recreação, Peças e Acessórios
6119	4256	Comércio Varejista de Artigos Desportivos, Caça, Pesca e <i>Camping</i>
6199	4257	Comércio Varejista de Artigos Religiosos, de Culto e Funerários
6199	4258	Comércio Varejista de Couros, Peles e Seus Artefatos
6199	4261	Comércio Varejista de Borracha, Plástico, Espuma e Seus Artefatos
6199	4262	Comércio Varejista de Plantas e Flores
6199	4263	Comércio Varejista de Animais Vivos p/ Criação, Domésticos, Acessórios p/ Criadores de Animais e Jardinagem
6199	4264	Comércio Varejista de Bilhetes de Loteria
6199	4265	Comércio Varejista de Artigos Usados
6199	4266	Comércio Varejista de Artesanato e de <i>Souvenirs</i>
6199	4267	Comércio Varejista de Artigos de Cerâmica e Gesso
6199	4268	Comércio Varejista de Artigos Pirotécnicos
6199	4269	Comércio Varejista de Artigos Não Especificados ou Não Classificados
6199	4271	Comércio Varejista de Artigos Importados
6031	4302	Comércio Atacadista de Minerais Preciosos e Semipreciosos em Estado Bruto
6031	4303	Comércio Atacadista de Combustíveis Minerais em Estado Bruto
6031	4304	Comércio Atacadista de Produtos de Origem Vegetal e Animal em Estado Bruto, p/ Fins Têxteis
6031	4305	Comércio Atacadista de Produtos de Origem Vegetal, Não Beneficiados, Destinados à Indústria Alimentícia
6031	4306	Comércio Atacadista de Madeiras Em Estado Bruto ou Semi-Aparelhos
6031	4307	Comércio Atacadista de Animais Vivos
6031	4309	Comércio Atacadista de Produtos Extrativos e Agropecuários Não Especificados ou Não Classificados
6031	4311	Comércio Atacadista de Produtos Hortigranjeiros
6031	4312	Comércio Atacadista de Laticínios
6031	4313	Comércio Atacadista de Pães, Tortas e Sorvetes
6031	4314	Comércio Atacadista de Carnes, Aves e Animais Abatidos
6031	4315	Comércio Atacadista de Pescados, Crustáceos e Moluscos
6031	4316	Comércio Atacadista de Bebidas
6031	4317	Comércio Atacadista de Cereais Beneficiados e Leguminosos
6031	4318	Comércio Atacadista de Produtos Alimentícios Industrializados
6031	4319	Comércio Atacadista de Produtos Alimentícios Não Especificados ou Não Classificados
6031	4321	Comércio Atacadista de Produtos Farmacêuticos da Flora Medicinal e Ervanários
6031	4322	Comércio Atacadista de Produtos de Perfumaria e de Higiene Pessoal
6031	4323	Comércio Atacadista de Produtos Veterinários
6031	4324	Comércio Atacadista de Produtos de Higiene, Limpeza e Conservação Domiciliar
6031	4325	Comércio Atacadista de Produtos Odontológicos
6031	4326	Comércio Atacadista de Produtos Químicos de Uso na Agropecuária e Produtos Alimentícios p/ Animais
6031	4329	Comércio Atacadista de Produtos Químicos Não Especificados ou Não Classificados
6031	4331	Comércio Atacadista de Fibras Vegetais, Beneficiados, Fios Têxteis e Tecidos
6031	4332	Comércio Atacadista de Artefatos de Tecidos

Classe		
Cód. Ativ. Anexo II	Cód. Real Ativ.	Descrição da Atividade
6031	4333	Comércio Atacadista de Artigos do Vestuário
6031	4334	Comércio Atacadista de Acessórios do Vestuário
6031	4335	Comércio Atacadista de Calçados
6031	4336	Comércio Atacadista de Roupas p/ Uso Profissional e p/ Segurança no Trabalho
6031	4337	Comércio Atacadista de Artigos de Armarinho
6031	4341	Comércio Atacadista de Móveis, Objetos de Arte, Decoração e Antiguidades
6031	4342	Comércio Atacadista de Artigos de Colchoaria
6031	4343	Comércio Atacadista de Artigos de Tapeçaria - Inclusive Persianas e Acessórios
6031	4344	Comércio Atacadista de Artigos p/ os Serviços de Mesa, Copa e Cozinha
6005	4351	Comércio Atacadista de Produtos Metalúrgicos e de Cutelaria
6009	4352	Comércio Atacadista de Bombas e Compressores
6031	4353	Comércio Atacadista de Vidros, Espelhos, Vitrais e Molduras
6031	4361	Comércio Atacadista de Madeira, Beneficiados e Artefatos de Madeira
6031	4362	Comércio Atacadista de Material de Construção
6031	4363	Comércio Atacadista de Material p/ Pintura
6009	4371	Comércio Atacadista de Material Eletroeletrônico
6031	4381	Comércio Atacadista de Veículos
6031	4382	Comércio Atacadista de Peças e Acessórios p/ Veículos
6031	4383	Comércio Atacadista de Bicicletas e Triciclos, Peças e Acessórios
6031	4411	Comércio Atacadista de Mercadorias em Geral
6009	4421	Comércio Atacadista de Máquinas e Aparelhos p/ Escritório
6031	4422	Comércio Atacadista de Aparelhos e Equipamentos p/ Comunicação, Peças e Acessórios
6009	4423	Comércio Atacadista de Equipamentos de Informática, Peças e Acessórios
6031	4424	Comércio Atacadista de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos p/ Uso na Agropecuária, Peças e Acessórios
6009	4425	Comércio Atacadista de Máquinas e Aparelhos de Uso Doméstico
6009	4426	Comércio Atacadista de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos Odonto-Médico-Hospitalares e Laboratoriais
6009	4427	Comércio Atacadista de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos p/ Uso Industrial, Peças e Acessórios
6031	4431	Comércio Varejista de Combustíveis de Origem Vegetal
6031	4432	Comércio Atacadista de Alcool, Gasolina, Gás e Derivados do Petróleo
6031	4439	Comércio Atacadista de Combustíveis e Lubrificantes Não Especificados ou Não Classificados
6014	4441	Comércio Atacadista de Papel, Papelão, Cartolina e Artigos p/ Escritório
6031	4442	Comércio Atacadista de Livros, Jornais, Revistas e Outras Publicações
6031	4451	Comércio Atacadista de Instrumentos Musicais e Acessórios
6031	4452	Comércio Atacadista de Metalúrgicos Preciosos, Jóias, Relógios, Pedras Preciosas, Semipreciosas e Bijuterias
6031	4453	Comércio Atacadista de Artigos de Ótica
6031	4454	Comércio Atacadista de Material Fotográfico e Cinematográfico - Inclusive Máquinas e Equipamentos
6031	4455	Comércio Atacadista de Brinquedos e Artigos Recreativos, Peças e Acessórios
6031	4456	Comércio Atacadista de Artigos Desportivos, Caça, Pesca e <i>Camping</i>
6031	4457	Comércio Atacadista de Artigos Religiosos ou de Culto e Funerários
6031	4458	Comércio Atacadista de Couros, Peles e Artefatos
6031	4461	Comércio Atacadista de Borracha, Plástico, Espuma e Seus Artefatos
6031	4462	Comércio Atacadista de Plantas e Flores
6031	4463	Comércio Atacadista de Animais Vivos p/ Criação
6031	4464	Comércio Atacadista de Artigos de Tabacaria e Fumo em Folha Beneficiada
6031	4469	Comércio Atacadista de Artigos Não Especificados ou Não Classificados
6029	4471	Importação e Comércio Atacadista de Produtos Importados
6031	4472	Exportação de Produtos
5041	4711	Transporte Rodoviário de Passageiros
5041	4712	Empresas de Táxi
5041	4713	Transporte de Mudanças
5041	4714	Transporte de Carga em Geral
5041	4721	Transporte Ferroviário e Metroviário
5041	4731	Transporte Marítimo
5041	4732	Transporte Hidroviário por Vias Internas (Rios, Canais, Lagoas Etc.)
5052	4741	Transporte Aéreo Regular e Regional
5052	4742	Transporte Aéreo por Vãos Fretados
5041	4751	Transportes por Dutos
5041	4752	Transportes por Cabos-Aéreos
5120	4811	Serviços Postais e Telegráficos
5120	4821	Serviços de Telecomunicações
5211	5111	Hotéis e Motéis
5211	5112	Pensões, Hospedarias, Pousadas, Dormitórios e <i>Camping</i>
5211	5119	Serviços de Alojamento Não Especificados ou Não Classificados
5221	5121	Restaurantes, Churrascarias, Pizzarias, Cantinas e Pensões de Al.
5222	5122	Bares, Botequins e Cafês
5222	5123	Lanchonetes, Panificadoras, Confeitarias, Casas de Chá, Doces, Salgados, Sucos e Sorvetes

Classe		
Cód. Ativ. Anexo II	Cód. Real Ativ.	Descrição da Atividade
5229	5124	Serviços de <i>Buffet</i>
5229	5125	Quiosques e <i>Trailers</i>
5229	5129	Serviços de Alimentação Não Especificados ou Não Classificados
5322	5211	Reparação de Artigos de Metal
5322	5212	Reparação, Manutenção e Instalação de Máquinas e Aparelhos
5322	5213	Reparação e Manutenção de Motores e Veículos Rodoviários
5322	5214	Reparação de Artigos de Madeira e de Mobiliário
5322	5215	Reparação de Artigos de Borracha, Couro, Pele e Artigos de Viagem
5322	5216	Reparação de Artigos e Acessórios do Vestuário
5322	5217	Reparação de Calçados
5322	5218	Reparação de Jóias e Relógios
5322	5219	Serviços de Reparação, Manutenção e Instalação Não Especificados ou Não Classificados
5410	5311	Lavanderias e Tinturarias
5410	5312	Cabeleiros, Barbeiros, Salões de Beleza, Serviços de Pedicuro e Manicuro
5410	5313	Institutos de Massagens, Termas, Saunas, Duchas e Casas de Banho
5410	5314	Serviços de Engraxataria
5410	5315	Serviços Funerários e Cremação de Corpos
5410	5319	Serviços Pessoais Não Especificados ou Não Classificados
5120	5411	Serviços de Radiodifusão e Veiculação de Propaganda
5120	5412	Serviços de TV - Inclusive Retransmissoras, Veículos de Propaganda e Locação de Horário
5120	5421	Cinemas, Teatros, Salões p/ Recitais e Concertos
5120	5422	Casas de Show, Boates e Danceterias
5120	5423	Promoção e/ou Produtos de Espetáculos Artísticos, Culturais e Esportivos
5120	5424	Exploração de Jogos Recreativos e Aluguel de Veículos p/ Recreação
5120	5425	Exploração de Brinquedos Mecânicos e Eletrônicos
5120	5426	Exploração de Locais e Instalações p/ Diversão, Recreação e Prática de Esportes
5120	5429	Serviços de Diversões Não Especificados ou Não Classificados
5769	5511	Serviços Auxiliares da Agricultura
5769	5512	Serviços Auxiliares da Pecuária
5769	5513	Assistência Técnica Rural
5769	5521	Serviços de Intermediário na Compra e Venda de Bens Móveis
5769	5522	Administração de Consórcios
5769	5523	Administração de Tiquetes-Refeição
5769	5529	Serviços Auxiliares do Comércio Não Especificados ou Não Classificados
5769	5531	Serviços Auxiliares Financeiros
5930	5532	Serviços Auxiliares de Seguros e Capitalização
5769	5541	Serviços Auxiliares do Transporte Aéreo
5769	5542	Serviços Auxiliares do Transporte Rodoferroviário
5769	5543	Serviços Auxiliares do Transporte Hidroviário
5769	5544	Serviços de Armazenagem
5769	5545	Agências de Turismo e de Venda de Passagens
5769	5551	Serviços de Arquitetura, Engenharia, Urbanismo e Paisagismo
5769	5552	Serviços Geodésicos, Geológicos p/ Administração, Fiscalização de Obras, Levantamento Topográfico Aéreo
5769	5561	Higiene, Limpeza e Outros Serviços Executados em Prédios e Domicílios
5769	5562	Decoração de Ambientes, Construção e Projetos
5769	5571	Serviços de Processamento de Dados p/ Terceiros
5769	5572	Escritório Jurídico, Contabilidade, Auditoria, Assessoria Técnica e Financeira, Estatística e Pesquisa de Mercado
5769	5573	Serviços de Publicidade e Propaganda
5769	5574	Serviços de Divulgação e Promoção
5769	5575	Serviços e Produtos de Película Cinematográfica e Fitas p/ Vídeo e Som
5769	5576	Estúdios de Foto p/ Comércio, Propaganda e Laboratório
5769	5577	Agências de Loterias Esportivas e de Números
5769	5578	Serviços de Vigilância, Segurança e Investigação
5536	5581	Serviços de Despachantes, Avaliadores e Peritos
5769	5582	Serviços de Microfilmagem e Reprografia
5322	5583	Serviços de Lavagem e Lubrificação de Veículos
5769	5584	Tingimento e Estamparia
5769	5585	Facção de Tecidos p/ Confecção de Roupas
5769	5589	Serviços Auxiliares Prestados a Empresas, Entidades e Pessoas Não Especificadas ou Não Classificadas
5433	5611	Serviços Médico-Hospitalares
5433	5612	Serviços de Laboratórios
5433	5613	Serviços de Fisioterapia e Reabilitação
5433	5621	Serviços Odontológicos
5433	5631	Serviços Veterinários
5433	5641	Serviços de Promoção de Planos de Assistência Médica e Odontológica
5433	5699	Serviços Auxiliares de Saúde Não Especificados ou Não Classificados

Classe		
Cód. Ativ. Anexo II	Cód. Real Ativ.	Descrição da Atividade
5769	5711	Serviços de Administração de Bens Imóveis
5769	5713	Loteamento e Incorporação de Imóveis
5769	5721	Serviços de Locação e Arrendamento de Veículos
5769	5722	Serviços de Locação e Arrendamento de Máquinas, Equipamentos e Instalações – Incluindo <i>Leasing</i>
5769	5723	Agenciamento e Locação de Mão de Obra
5769	5729	Serviços de Administração Locação e Arrendamento de Outros Bens Móveis e Serviços Não Especificados ou Não Classificados
5769	5811	<i> Holding</i> -Controlador de Participações Societárias
5900	5911	Bancos Comerciais e Caixas Econômicas
5900	5912	Bancos de Investimento, de Fomento e de Desenvolvimento
5900	5913	Sociedades de Crédito, Financiamento e Investimento
5900	5914	Sociedades de Arrendamento Mercantil
5900	5915	Sociedades de Crédito Imobiliário e Associações de Poupança e Empréstimo
5900	5916	Cooperativas de Crédito
5900	5917	Sociedades, Corretoras e Distribuidoras de Títulos e Valores Mobiliários
5900	5918	Fundos Mútuos, Clubes e Sociedades de Investimento - Incluindo Aparelhos Estrangeiros
5900	5919	Instituições de Crédito, Financiamento e Investimento e de Desenvolvimento Não Especificados ou Não Classificados
5960	5921	Seguros
5930	5922	Capitalização
5930	5923	Previdência Privada
5769	6011	Escritório de Gerência e Administração de Empresas Industriais
5769	6012	Escritório de Gerência e Administração de Empresas Comerciais
5769	6013	Escritório de Gerência Administração de Empresas Prestadoras de Serviços
5769	6019	Escritório de Gerência e Administração Não Especificadas ou Não Classificadas
8021	6111	Assistência Social
8021	6112	Serviços Sociais da Indústria e do Comércio
8021	6121	Previdência Social - Instituições Governamentais e Particulares
8021	6131	Entidades de Classe e Sindicais
8021	6141	Instituição Científicas e Tecnológicas
8021	6151	Instituições Filosóficas e Culturais
8021	6161	Instituições Religiosas
8021	6171	Entidades Desportivas e Recreativas
8021	6181	Organizações Cívicas e Políticas
8021	6199	Serviços Comunitários e Sociais Não Especificados ou Não Classificados
5465	6311	Ensino Regular
5465	6321	Ensino Supletivo
5465	6331	Educação Especial p/ Sub e Superdotados e Deficientes Físicos
5465	6341	Ensino Superior
5465	6351	Idiomas
5465	6352	Pré-Vestibular
5465	6353	Técnico Profissionalizante - Incluindo Entidades de Ensino Profissionalizante Ligadas à Indústria e ao Comércio
5465	6354	Datilografia, Taquigrafia e Estenografia
5465	6355	Auto-Escola
5465	6356	Artes, Músicas
5465	6357	Danças, Esportes e Ginásticas
5465	6359	Cursos Livres Não Especificados ou Não Classificados
8021	6411	Cooperativas de Produção
8021	6412	Cooperativas de Beneficiamento, Industrialização e Comercialização
8021	6413	Cooperativas de Eletrificação Rural (sem Incra)
8021	6414	Cooperativas de Compra e Venda
8021	6415	Cooperativas de Serviços Médicos e Odontológicos
8021	6416	Cooperativas de Seguros
8021	6417	Cooperativas Escolares
8021	6418	Cooperativas Habitacionais
8021	6419	Cooperativas Não Especificadas ou Não Classificadas
5769	6501	Comercial - Serviço
5769	6502	Comercial - Bomba de Incêndio
5769	6503	Galpão - sem Atividade Definida
8021	6999	Outros
8021	7011	Órgãos do Poder Legislativo Federal
8021	7012	Órgãos do Poder Judiciário Federal
8021	7013	Órgãos do Poder Executivo Federal
8021	7014	Autarquias Federais
8021	7015	Fundação Pública Federal
8021	7018	Irrigação Federal

Classe		
Cód. Ativ. Anexo II	Cód. Real Ativ.	Descrição da Atividade
8021	7021	Órgãos do Poder Legislativo Estadual
8021	7022	Órgãos do Poder Judiciário Estadual
8021	7023	Órgãos do Poder Executivo Estadual
8021	7024	Autarquias Estaduais
8021	7025	Fundação Pública Estadual
8021	7028	Irrigação Estadual
8021	7031	Órgãos do Poder Legislativo Municipal
8021	7032	Órgãos do Poder Executivo Municipal
8021	7033	Autarquias Municipais
8021	7034	Fundação Pública Municipal
8021	7037	Irrigação Municipal
8021	7041	Cartórios
8021	7091	Bomba de Incêndio - Poderes Públicos
8021	9100	Iluminação Pública
8021	9110	Administração Pública Municipal (Iluminação Pública)
8021	9200	Tração Elétrica
8021	9210	Transporte Ferroviário
8021	9211	Outros Meios de Transporte
8021	9220	Água - Tratamento e Distribuição
8021	9230	Esgoto
8021	9240	Saneamento
8021	9250	Diversos - Serviços Públicos - Bomba de Incêndio
8021	9300	Consumo Próprio
8021	9310	Escritórios, Oficinas e Demais Instalações da Concessionária Não Consideradas nas Subclasses Seguintes
8021	9320	Canteiros de Obras da Própria Concessionária
8021	9330	Internas - Usinas, Estações, Subestações e Demais Instalações Ligadas à Transferência de Energia
8021	9340	Diversos - Consumo Próprio - Bomba de Incêndio
8021	9400	Suprimentos a Concessionários de Energia Elétrica
8021	9410	Fornecimento Em Grosso p/ Revenda
8021	9411	Outros Fornecimentos