

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

FÁBIO MARTINS

**COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE DEMANDA
DAS NORMAS NEC, IEC COM O RIC DE BT VIGENTE**

Porto Alegre

2013

FÁBIO MARTINS

**COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE DEMANDA
DAS NORMAS NEC, IEC COM O RIC DE BT VIGENTE**

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro

Porto Alegre

2013

FÁBIO MARTINS

**COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE DEMANDA
DAS NORMAS NEC, IEC COM O RIC DE BT VIGENTE**

Este trabalho de conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção da Graduação em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis
Loureiro
Orientador

Aprovado em: 01/07/2013.

BANCA EXAMINADORA

Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro (Doutor) - UFRGS _____

Flávio Antônio Becon Lemos (Doutor) - UFRGS _____

Roberto Petry Homrich (Doutor) - UFRGS _____

*Dedico este trabalho aos meus pais e a minha namorada pelo
apoio em mais esta etapa.*

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos aos meus pais pelo apoio e ajuda.

À minha namorada Daniela pela paciência e carinho neste longo caminho.

Aos meus amigos Aline, Fabrício, Guilherme e Israel pelas ajudas e momentos de descontração.

E em especial ao professor Luiz Tiarajú pela orientação neste trabalho.

RESUMO

Neste trabalho são apresentados as formas de cálculo de demanda disponíveis nas normas *National Electrical Code* (NEC), *International Electrotechnical Commission* (IEC) bem como do Regulamento de Instalações Consumidoras de Baixa Tensão (RIC de BT) vigente no Rio Grande do Sul. Após são comparados os valores gerados em cada método para unidades residenciais bem como múltiplas unidades residenciais com dados obtidos de pesquisas de posses e hábitos e medições diretas de curva de carga. Ao final são apresentadas alternativas para evitar um possível subdimensionamento.

Palavras-chave: Demanda máxima. RIC BT. NEC. IEC.

ABSTRACT

This paper presents forms of demand calculation available at the National Electrical Code (NEC), at the International Electrotechnical Commission (IEC) and at the Low Voltage Facilities Consumers Rules (LV FCR) prevailing in Rio Grande do Sul. Afterwards, the values generated by each method for residential units and multiple residential units are compared with data obtained from surveys possession and habits and direct measurements of the load curve. At the end are presented alternatives to avoid a possible undersizing.

Key-words: Maximum demand. RIC BT. NEC. IEC.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Divisão global dos países com relação a norma utilizada.	23
Figura 2 – Curva de carga e potência instalada.	28
Figura 3 – Um exemplo para estimar a carga máxima prevista de uma instalação com a potência instalada de 126,6kW.	46
Figura 4 – Posse média e uso de lâmpadas nos domicílios da região Sul.	56
Figura 5 – Posse média dos refrigeradores no Brasil e regiões.	56
Figura 6 – Posse média de freezers no Brasil e regiões.	56
Figura 7 – Posse média de condicionador de ar no Brasil e regiões.	57
Figura 8 – Posse média de televisores no Brasil e regiões.	57
Figura 9 – Posse média por eletrodoméstico.	58
Figura 10 – Uso da função stand by dos eletrodomésticos.	58
Figura 11 – Posse média de chuveiro elétrico no Brasil e regiões.	58
Figura 12 – Tempo médio do banho por pessoa utilizando chuveiro elétrico.	59
Figura 13 – Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial na região Sul.	59
Figura 14 – Curva de carga diária média no Brasil.	60
Figura 15 – Curva de carga diária média na região Sul.	60
Figura 16 – Simulação de uma residência com cinco ocupantes.	64
Figura 17 – Curva de carga diária dos apartamentos para 3 valores de desvio padrão com 150kWh/mês.	67
Figura 18 – Curva de carga diária dos apartamentos para 3 valores de desvio padrão com 200kWh/mês.	68
Figura 19 – Curva de carga diária dos apartamentos para 3 valores de desvio padrão com 250kWh/mês.	68
Figura 20 – Curva de carga diária dos apartamentos para 3 valores de desvio padrão com 300kWh/mês.	68
Figura 21 – Curva de carga diária dos apartamentos para 3 valores de desvio padrão com 350kWh/mês.	69
Figura 22 – Curva de carga diária dos apartamentos para 3 valores de desvio padrão com 400kWh/mês.	69
Figura 23 – Curva de carga diária dos apartamentos para 3 valores de desvio padrão com 450kWh/mês.	69
Figura 24 – Curva de carga diária dos apartamentos para 3 valores de desvio padrão com 500kWh/mês.	70

Figura 25	– Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial na região atendida pela CEEE.	91
Figura 26	– Curva de carga para consumo médio residencial inferior a 50 kWh.	91
Figura 27	– Curva de carga para consumo médio residencial entre 51 e 150 kWh.	92
Figura 28	– Curva de carga para consumo médio residencial entre 151 e 300 kWh.	93
Figura 29	– Curva de carga para consumo médio residencial entre 301 e 500 kWh.	93
Figura 30	– Curva de carga para consumo médio residencial maior que 500 kWh.	93
Figura 31	– Curva de carga em dia útil para consumo médio residencial menor que 100 kWh.	95
Figura 32	– Curva de carga no sábado para consumo médio residencial menor que 100 kWh.	96
Figura 33	– Curva de carga no Domingo para consumo médio residencial menor que 100 kWh.	96
Figura 34	– Curva de carga em dia útil para consumo médio residencial de 101 a 200 kWh.	97
Figura 35	– Curva de carga no sábado para consumo médio residencial de 101 a 200 kWh.	97
Figura 36	– Curva de carga no Domingo para consumo médio residencial de 101 a 200 kWh.	97
Figura 37	– Curva de carga em dia útil para consumo médio residencial de 201 a 300 kWh.	98
Figura 38	– Curva de carga no sábado para consumo médio residencial de 201 a 300 kWh.	98
Figura 39	– Curva de carga no Domingo para consumo médio residencial de 201 a 300 kWh.	99
Figura 40	– Curva de carga em dia útil para consumo médio residencial de 301 a 500 kWh.	99
Figura 41	– Curva de carga no sábado para consumo médio residencial de 301 a 500 kWh.	100
Figura 42	– Curva de carga no Domingo para consumo médio residencial de 301 a 500 kWh.	100
Figura 43	– Curva de carga em dia útil para consumo médio residencial maior que 500 kWh.	101

Figura 44 – Curva de carga no sábado para consumo médio residencial maior que 500 kWh.	101
Figura 45 – Curva de carga no Domingo para consumo médio residencial maior que 500 kWh.	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo anual de energia elétrica brasileiro.	24
Tabela 2 – Índice e variação do volume de vendas no comércio varejista, por Unidade da Federação - Fevereiro 2013.	25
Tabela 3 – ANEXO D – Fatores de Demanda para Iluminação e Tomadas.	32
Tabela 4 – Quantidade mínima de pontos de iluminação e tomadas.	35
Tabela 5 – Número mínimo de tomadas duplas a ser instalada.	35
Tabela 6 – Carga geral de iluminação por área.	36
Tabela 7 – ANEXO E - Fatores de Demanda para Condicionador de Ar Residencial.	41
Tabela 8 – ANEXO F - Fatores de Demanda para Condicionador de Ar Comercial.	41
Tabela 9 – ANEXO G - Fatores de Demanda para Motores.	41
Tabela 10 – ANEXO H - Fatores de Demanda para Aparelhos Especiais.	42
Tabela 11 – ANEXO I - Fatores de Demanda Aparelhos de Aquecimento.	42
Tabela 12 – ANEXO T - Demanda de Unidade Consumidora Residencial em Função da Área.	43
Tabela 13 – ANEXO U – Fator De Diversidade Em Função do N ^o de Unidades Consumidora.	44
Tabela 14 – Fator de simultaneidade para quadros de distribuição.	45
Tabela 15 – Fator de simultaneidade de acordo com a função do circuito.	47
Tabela 16 – Fatores de diversidade.	48
Tabela 17 – Fator de demanda para iluminação.	50
Tabela 18 – Fator de demanda para potência de tomadas em unidades não comerciais.	50
Tabela 19 – Fator de demanda para secadora de roupas em residências.	50
Tabela 20 – Fator de demanda e cargas de equipamentos elétricos, forno de parede, e equipamentos para cozinha residencial.	51
Tabela 21 – Cálculo Opcional - Fator de demanda para três ou mais unidades residenciais multifamiliares.	53
Tabela 22 – Valores para o exemplo de unidades residenciais.	75
Tabela 23 – Valores mínimos obtidos com a NBR 5410.	77
Tabela 24 – Valores obtidos para unidade residencial.	78
Tabela 25 – Valores obtidos para múltiplas unidades residenciais	88
Tabela 26 – Tabela resumo das normas e regulamento.	89

Tabela 27	– Curva de demanda da CEEE conforme faixa de consumo.	92
Tabela 28	– Consumidores da classe de consumo menor que 100 kWh/mês.	95
Tabela 29	– Consumidores da classe de consumo de 101 a 200 kWh/mês.	96
Tabela 30	– Consumidores da classe de consumo de 201 a 300 kWh/mês.	98
Tabela 31	– Consumidores da classe de consumo de 301 a 500 kWh/mês.	99
Tabela 32	– Consumidores da classe de consumo maior que 500 kWh/mês.	100
Tabela 33	– Fator de diversidade para edifícios residenciais, hotéis e flats.	103

NOMENCLATURA

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

COBEI Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação
e Telecomunicações

IEC International Electrotechnical Commission

NEC National Electrical Code

NFPA National Fire Protection Association

PPH Pesquisa de Posses e Hábitos

RIC de BT Regulamento de Instalações Consumidoras de Baixa
Tensão

SUMÁRIO

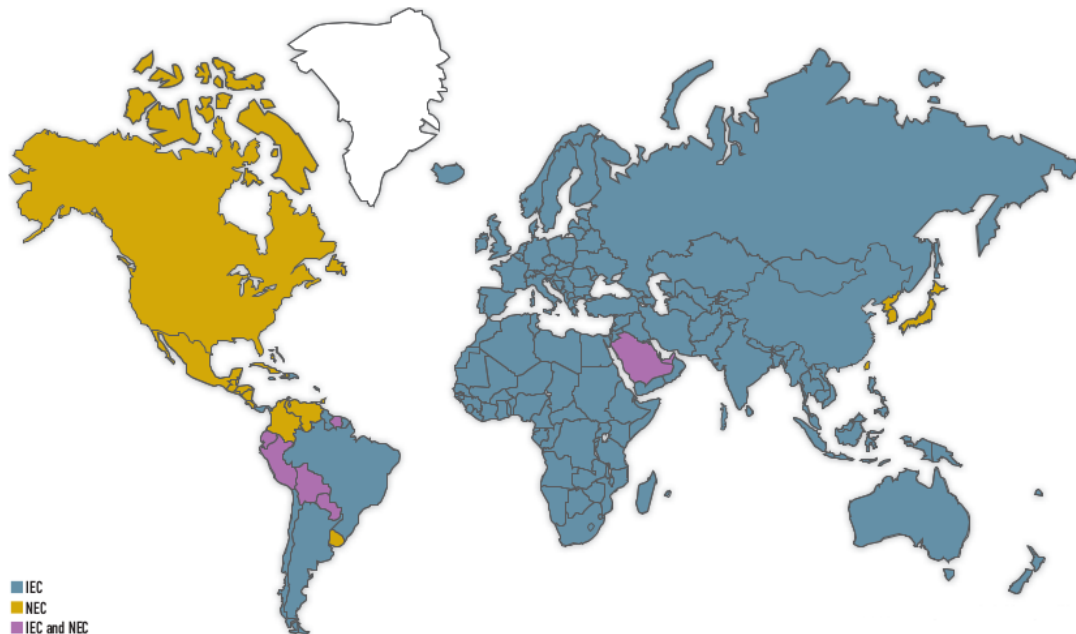
1	INTRODUÇÃO	23
1.1	MOTIVAÇÃO	24
1.2	OBJETIVO	26
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1	POTÊNCIA INSTALADA	27
2.2	DEMANDA	27
2.3	DEMANDA MÉDIA	27
2.4	DEMANDA MÁXIMA	27
2.5	CURVA DE CARGA	28
2.6	FATOR DE UTILIZAÇÃO	29
2.7	FATOR DE DEMANDA	29
2.8	FATOR DE DIVERSIDADE	30
2.9	FATOR DE CARGA	30
3	PREVISÃO DE CARGA MÍNIMA EM UMA INSTALAÇÃO	31
3.1	REGULAMENTO DE INSTALAÇÕES CONSUMIDORAS (RIC)	31
3.2	NBR 5410: INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO	32
3.3	<i>INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC)</i>	34
3.4	<i>NATIONAL ELECTRIC CODE (NEC)</i>	36
4	CÁLCULO DE DEMANDA	39
4.1	REGULAMENTO DE INSTALAÇÕES CONSUMIDORAS (RIC)	39
4.2	NBR 5410: INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO	45
4.3	<i>INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC)</i>	45
4.4	<i>NATIONAL ELECTRIC CODE (NEC)</i>	49
5	ESTIMATIVAS DAS CURVAS DE CARGA	55
5.1	PESQUISA DE POSSES E HÁBITOS	55
5.2	MEDIÇÃO DIRETA DE CONSUMO	61
6	RESULTADOS E COMPARAÇÕES	63
6.1	CURVA DE DEMANDA RESIDENCIAL INDIVIDUAL	63
6.2	CURVA DE DEMANDA PARA MÚLTIPLAS UNIDADES	64
6.3	CURVAS DE DEMANDA DOS SERVIÇOS DO CONDOMÍNIO	70
7	CONCLUSÕES	71
7.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	71
	REFERÊNCIAS	73
	APÊNDICE A ESTUDO DE CASO: UNIDADES RESIDENCIAS	75
A.1	CÁLCULOS	75
A.2	COMPARAÇÃO DOS VALORES	78

APÊNDICE B	ESTUDO DE CASO: MÚLTIPLAS UNIDADES RESIDENCIAIS	79
B.1	CÁLCULO DE DEMANDA PARA OS APARTAMENTOS DE FINAIS 01 E 02	79
B.2	CÁLCULO DE DEMANDA PARA OS APARTAMENTOS DE FINAIS 03 E 04	81
B.3	CÁLCULO DE DEMANDA DOS SERVIÇOS DO CONDOMÍNIO	84
B.4	CÁLCULO DE DEMANDA DO PRÉDIO	86
B.5	COMPARAÇÃO DOS VALORES	88
APÊNDICE C	TABELA RESUMO DAS NORMAS E REGULAMENTO	89
ANEXO A	CONSUMO RESIDENCIAL NA REGIÃO ATENDIDA PELA CEEE	91
ANEXO B	CURVAS DE CARGA OBTIDAS POR MEDIÇÃO DIRETA .	95
ANEXO C	FATORES DE DIVERSIDADE PARA MÚLTIPLAS UNIDADES RESIDENCIAIS	103

1 INTRODUÇÃO

No mundo de hoje, existe uma grande necessidade de normatização e padronização de equipamentos e projetos. No setor de instalações elétricas não é diferente, havendo duas normas predominantes. A norma americana *National Electrical Code* (NEC), publicada pela *National Fire Protection Association* (NFPA), e a norma internacional 60364 publicada pela *International Electrotechnical Commission* (IEC), que abrange toda a Europa e diversos outros países incluindo o Brasil. A divisão pode ser vista na figura 1.

Figura 1 – Divisão global dos países com relação a norma utilizada.



Fonte: (LEGRAND, 2012, p. 02)

Porém diferentemente do NEC, a norma IEC não é de uso direto para engenheiros e eletricitistas, e sim a base para criação de padrões nacionais.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas padronizou a ABNT NBR 5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão para o padrão da IEC 60364 em 1980. Antes disto, ela tinha como referência a norma americana NFPA 70 - National Electrical Code (NEC) (O SETOR ELÉTRICO, 2008).

Com relação ao cálculo de demanda, tanto a IEC 60364 quanto a ABNT NBR 5410 não especificam formas de cálculo. Então as companhias distribuidoras de energia elétrica, quando da produção de seus regulamentos, criaram métodos para execução desses cálculos,

principalmente baseados nos estudos do Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações (COBEI) (FILHO, 2012, pg 46).

1.1 MOTIVAÇÃO

A partir da revisão do Regulamento de Instalações Consumidoras de Baixa Tensão (RIC de BT) em 2012, não é mais obrigatório o cálculo de demanda conforme norma da empresa. Porém no Brasil não existem normas que orientem neste sentido, somente alguns livros criados por empresas.

Além disso, o consumo de energia elétrica vem aumentando gradativamente, conforme o avanço da economia, a expansão da distribuição de energia bem como do aumento do consumo de equipamentos elétricos. E isto pode causar um subdimensionamento das demandas das instalações. A tabela 1 mostra o crescimento do consumo nos últimos 7 anos, e a tabela 2 mostra o crescimento nas vendas do varejo.

Este assunto pode gerar dúvidas em engenheiros e projetistas, e este trabalho consiste em uma pesquisa nas normas NEC, IEC 60364, NBR 5410 e Regulamento de Instalações Consumidoras com comparação e análise de seus resultados.

Tabela 1 – Consumo anual de energia elétrica brasileiro.

CONSUMO (GWh)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
BRASIL	356.129	377.030	388.472	384.306	415.683	433.034	448.276
RESIDENCIAL	85.784	89.885	94.746	100.776	107.215	111.971	117.567
INDUSTRIAL	163.180	174.369	175.834	161.799	179.478	183.576	183.471
COMERCIAL	55.369	58.647	61.813	65.255	69.170	73.482	79.286
OUTROS	51.796	54.129	56.079	56.477	59.820	64.006	67.952

CRESCIMENTO (%)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
BRASIL	3,4	5,9	3,0	-1,1	8,2	4,2	3,5
RESIDENCIAL	3,8	4,8	5,4	6,4	6,4	4,4	5,0
INDUSTRIAL	2,9	6,9	0,8	-8,0	10,9	2,3	-0,1
COMERCIAL	4,4	5,9	5,4	5,6	6,0	6,2	7,9
OUTROS	3,6	4,5	3,6	0,7	5,9	7,0	6,2

Fonte: (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013)

Tabela 2 – Índice e variação do volume de vendas no comércio varejista, por Unidade da Federação - Fevereiro 2013.

Unidade da Federação	Índice de volume	Variação				
		Mensal			Acumulada	
		dez/12	jan/13	fev/13	No ano	12 Meses
Brasil	96,7	5,1	5,9	-0,3	2,9	7,4
Rondônia	94	2,7	8,8	7,2	8	6,1
Acre	100,2	-0,7	4,4	4,7	4,6	11,9
Amazonas	92,2	-1,2	3,1	1,3	2,2	4,3
Roraima	117,6	14,7	4	1,3	2,6	21,8
Pará	92,8	1,5	7,7	2,1	5,1	7,4
Amapá	101,8	11,8	3,4	1,6	2,5	15,9
Tocantins	96,9	7,3	8,4	0	4,3	13
Maranhão	99,6	8	10,7	0,5	5,7	10,5
Piauí	95,6	-0,4	1,3	-3,9	-1,2	5
Ceará	94,9	5,9	9,9	-1,9	4,1	9,1
Rio G. do Norte	99,8	5,6	14,1	3,8	8,9	8
Paraíba	98,4	5,6	13	1,9	7,6	9,2
Pernambuco	98,5	11,4	9	1,7	5,5	10,1
Alagoas	98	7,2	7,7	-2,3	2,8	7,5
Sergipe	95	2,3	3,9	-1,9	1,1	4,8
Bahia	92,8	5	5,2	-4,9	0,3	8,4
Minas Gerais	94,7	-0,1	3,4	-2,2	0,7	5,7
Espirito Santo	99	12,2	8,6	-0,3	4,2	10,1
Rio de Janeiro	94,9	4,9	5,9	0,7	3,3	4,3
São Paulo	96,9	7,5	5,5	-0,2	2,7	8,4
Paraná	99,7	3,2	6,7	-0,2	3,4	7,9
Santa Catarina	100	6,1	3,1	-2,8	0,2	5,3
Rio Grande do Sul	97,1	1,8	4,3	1,4	2,9	7,8
Mato Grosso do Sul	112,8	10,5	16,7	10,3	13,6	16,3
Mato Grosso	96,6	-0,3	8,4	3	5,7	6,8
Goiás	95,2	1,9	6,7	0,1	3,5	8,3
Distrito Federal	92,5	-3,1	4,8	-2,8	1,1	4,1

Fonte: (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2013)

1.2 OBJETIVO

Neste trabalho serão abordados os métodos disponíveis para cálculo de demanda para residências bem como múltiplas unidades residenciais. Serão propostas comparações entre os tipos de cálculos e será feita uma análise dos resultados. Ao final os valores gerados deverão ser comparados com dados obtidos de pesquisas de posses e hábitos e medições diretas de curva de cargas diárias buscando encontrar situações de possível subdimensionamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Antes de iniciar o estudo do cálculo de demanda, é necessário estabelecer algumas definições a fim de facilitar a compreensão.

2.1 POTÊNCIA INSTALADA

A potência instalada é a soma das potências nominais dos equipamentos de uma instalação. Este é o valor máximo de potência que a instalação pode consumir, sendo necessário que todos os equipamentos estejam ligados ao mesmo tempo em suas potências máximas (COTRIM, 2009; FILHO, 2012).

2.2 DEMANDA

Demanda é a soma das potências elétricas instantâneas solicitadas ao sistema elétrico, expressa em quilowatts (kW), quilovolt-ampère-reactivo (kVAr) ou quilovolt-ampère (kVA)(CEEE/AES SUL/RGE, 2012). Sofre alterações a medida que os equipamentos da instalação são ligados ou desligados, bem como em virtude da época do ano e da temperatura ambiente (COTRIM, 2009; FILHO, 2012).

A equação 2.1 mostra a sua representação matemática.

$$D = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} P(t) \cdot dt \quad (2.1)$$

2.3 DEMANDA MÉDIA

Demanda média é a média da potência elétrica instantânea absorvida em um determinado instante por uma instalação. O cálculo desta média geralmente é realizado para intervalos de 15 minutos (COTRIM, 2009; FILHO, 2012).

2.4 DEMANDA MÁXIMA

Demanda máxima é a maior demanda ocorrida em um período determinado. A instalação a ser projetada deverá atender a esta demanda, ou seja, o dimensionamento dos condutores alimentadores e dos respectivos dispositivos de proteção deverá suportar esta demanda (COTRIM, 2009; FILHO, 2012).

2.5 CURVA DE CARGA

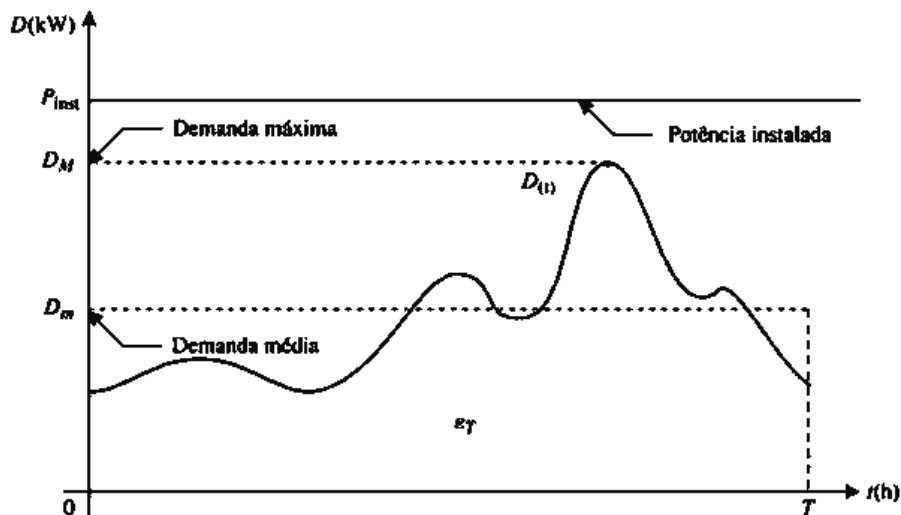
A curva de carga é o gráfico da demanda em função do tempo. Dela é possível obter a demanda máxima, a demanda média para um determinado período bem como a energia total consumida. A energia total consumida é a área entre a curva de demanda e o eixo do tempo, e pode ser expressada conforme equação 2.2 (COTRIM, 2009; FILHO, 2012).

$$\varepsilon_T = \int_0^T D(t) \cdot dt \quad (2.2)$$

Sendo

- $\varepsilon_T \Rightarrow$ Energia total consumida no período T;
- $D(t) \Rightarrow$ Demanda em função do tempo.

Figura 2 – Curva de carga e potência instalada.



Fonte: (COTRIM, 2009, p. 105)

A figura 2 exemplifica uma curva de carga, onde P_{inst} é a potência instalada, D_M a demanda máxima, D_m a demanda média, $D(t)$ a demanda em função do tempo e ε_T a energia total consumida no período T.

2.6 FATOR DE UTILIZAÇÃO

O fator de utilização é definido como a razão entre a potência máxima utilizada e a potência nominal do equipamento, conforme equação 2.3 abaixo.

$$F_u = \frac{P_M}{P_N} \quad (2.3)$$

Sendo:

- $F_u \Rightarrow$ Fator de utilização;
- $P_M \Rightarrow$ Potência máxima utilizada;
- $P_N \Rightarrow$ Potência nominal do equipamento.

Este fator leva em consideração que um equipamento pode trabalhar em uma potência inferior a sua potência nominal, como é o caso de motores nas instalações industriais. A aplicação deste fator requer grande conhecimento das instalações e do equipamento (COTRIM, 2009; FILHO, 2012).

2.7 FATOR DE DEMANDA

O fator de demanda é definido como a razão entre a demanda máxima e a potência instalada. A equação 2.4 mostra esta relação.

$$F_d = \frac{D_M}{P_{inst}} \quad (2.4)$$

Sendo:

- $F_d \Rightarrow$ Fator de Demanda;
- $D_M \Rightarrow$ Demanda máxima utilizada;
- $P_{inst} \Rightarrow$ Potência instalada.

Este fator leva em conta o fato de que nem todos os equipamentos são utilizados simultaneamente, deve ser utilizado em demandas de quadros de distribuição (COTRIM, 2009; FILHO, 2012).

2.8 FATOR DE DIVERSIDADE

O fator de diversidade é a razão entre a soma das demandas máximas de vários circuitos ligados a um circuito de distribuição com a demanda máxima deste, conforme a equação 2.5.

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n D_{M,i}}{D_M} \quad (2.5)$$

Sendo:

- $d \Rightarrow$ Fator de Diversidade;
- $D_{M,i} \Rightarrow$ Demanda máxima utilizada por cada circuito derivado;
- $D_M \Rightarrow$ Demanda máxima utilizada pelo quadro de distribuição.

Alguns livros chamam também de fator de simultaneidade (COTRIM, 2009; FILHO, 2012).

2.9 FATOR DE CARGA

O fator de carga é definido como a razão da demanda média pela demanda máxima, em um determinado período de tempo. É representado conforme equação 2.6.

$$c = \frac{D_m}{D_M} \quad (2.6)$$

Sendo:

- $c \Rightarrow$ Fator de Carga;
- $D_m \Rightarrow$ Demanda média em um determinado período de tempo;
- $D_M \Rightarrow$ Demanda máxima utilizada pelo quadro de distribuição.

Este fator também pode ser definido como a razão entre a potência consumida em um período e a potência máxima que este circuito poderia consumir no mesmo período (COTRIM, 2009; FILHO, 2012).

3 PREVISÃO DE CARGA MÍNIMA EM UMA INSTALAÇÃO

Em uma instalação elétrica qualquer é necessário definir a potência dos circuitos para definir a entrada de energia bem como os condutores e sistemas de proteção. Porém, neste momento não há informações sobre todos os aparelhos elétricos que serão instalados, mas é necessário que as previsões atendam a demanda futura.

As normas e o regulamento definem valores mínimos de potência a serem considerados nos cálculos para auxiliar nessas escolhas. Esses valores são definidos conforme descrito a seguir.

3.1 REGULAMENTO DE INSTALAÇÕES CONSUMIDORAS (RIC)

O RIC de BT (CEEE/AES SUL/RGE, 2012) define os valores mínimos de iluminação conforme tabela 3, bem como os valores mínimos de potência para a força motriz, conforme descrito abaixo:

- Unidade consumidora residencial: 1,1 kVA (previsão de aparelhos de ar-condicionado do tipo janela)
- Unidade consumidora residencial pertencente a centro de medição (previsão de aparelhos de ar-condicionado do tipo split): 1 kVA/unidade consumidora com até 40 m² de área construída, 1,5 kVA/unidade consumidora com área entre 40 e 50 m² e 2 kVA/unidade consumidora com área superior a 50 m²;
- Salas e escritórios: 1 kVA / 15 m² de área construída quando não for previsto refrigeração central (previsão de aparelhos de ar-condicionado do tipo janela);
- Lojas e semelhantes: 3 kVA/unidade consumidora com até 30 m² de área construída e 5 kVA/unidade consumidora com área construída superior a 30 m² (previsão de aparelhos de motor). Esse valor mínimo considera ar-condicionado e motor, então caso já exista alguma carga destes tipos, adicionar um motor com a diferença da carga instalada com os 5 kVA/unidade consumidora.

Para carga mínima de iluminação e tomadas residencial, além dos 30 W/m² também não deve ser inferior a 2,2 kW por unidade.

Tabela 3 – ANEXO D – Fatores de Demanda para Iluminação e Tomadas.

Descrição	Carga Mínima (W/m ²)	Fator de Demanda (%)			
Bancos	50	86			
Clubes e semelhantes	20	86			
Igrejas e semelhantes	15	86			
Lojas e semelhantes	30	86			
Restaurantes e semelhantes	20	86			
Auditório, salões para exposições e semelhantes	15	86			
Oficinas	30	100 para os primeiros	20 kW		
		35 para o que exceder de	20 kW		
Posto de abastecimento	20	100 para os primeiros	40 kW		
		40 para o que exceder de	40 kW		
Escolas e semelhantes	30	86 para os primeiros	12 kW		
		50 para o que exceder de	12 kW		
Escritórios e salas	50	86 para os primeiros	20 kW		
		70 para o que exceder de	20 kW		
Hospitais e semelhantes	20	40 para os primeiros	50 kW		
		20 para o que exceder de	50 kW		
Hotéis e semelhantes	20	50 para os primeiros	20 kW		
		40 para os seguintes	80 kW		
		30 para o que exceder de	100 kW		
Residenciais	30	Potência P (kW)			
		0 < P ≤ 1	86	8 < P ≤ 9	40
		1 < P ≤ 2	80	9 < P ≤ 10	37
		2 < P ≤ 3	74	10 < P ≤ 11	35
		3 < P ≤ 4	66	11 < P ≤ 12	33
		4 < P ≤ 5	58	12 < P ≤ 13	31
		5 < P ≤ 6	52	13 < P ≤ 14	30
		6 < P ≤ 7	47	14 < P ≤ 15	29
		7 < P ≤ 8	43	15 < P	28

Fonte: (CEEE/AES SUL/RGE, 2012, p. 67)

3.2 NBR 5410: INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

A norma NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) define as quantidades mínimas de iluminação e tomadas bem como suas potências mínimas conforme descrito a seguir:

1. Iluminação

a) Quantidade mínima de pontos de iluminação

- i. Pelo menos um ponto de luz fixo no teto para cada cômodo ou dependência, comandado por interruptor de parede.

- ii. Em hotéis, motéis ou similares pode-se substituir o ponto de luz fixo no teto por tomada de corrente com potência mínima de 100 VA, comandada por interruptor de parede.
- iii. É permitido que o ponto de luz fixo no teto seja substituído por um ponto na parede em espaços sob escada, depósitos, despensas, lavabos e varandas, desde que tenha pequenas dimensões e onde a colocação do ponto no teto seja de difícil execução.

b) Potência mínima de pontos de iluminação

- i. em cômodos ou dependências com área igual ou inferior a 6 m², deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA;
- ii. em cômodo ou dependências com área superior a 6 m², deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA para os primeiros 6 m², acrescida de 60 VA para cada aumento de 4 m² inteiros.

2. Tomadas

a) Quantidade mínima de tomadas

- i. Tomadas de Uso Geral: É função do local, bem como da quantidade de equipamentos, tendo que atender no mínimo os seguintes critérios:
 - em banheiros, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada, próximo ao lavatório, com uma distância mínima de 0,6 m do box, não importando a área;
 - em cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, cozinha área de serviço, lavanderias e locais análogos, deve ser previsto no mínimo um ponto de tomada para cada 3,5 m, ou fração, de perímetro, sendo que acima da bancada da pia devem ser previstas no mínimo duas tomadas de corrente, no mesmo ponto ou em pontos distintos;
 - em varandas, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada;
 - em salas e dormitórios devem ser previstos pelo menos um ponto de tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro, devendo esses pontos ser espaçados tão uniformemente quanto possível;
 - em cada um dos demais cômodos e dependências de habitação devem ser previstos pelo menos:
 - um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for igual ou inferior a 2,25 m². Admite-se que esse ponto seja posicionado externamente ao cômodo ou dependência, a até 0,80 m no máximo de sua porta de acesso;
 - um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for superior a 2,25 m² e igual ou inferior a 6 m² ;

- um ponto de tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro, se a área do cômodo ou dependência for superior a 6 m², devendo esses pontos ser espaçados tão uniformemente quanto possível.
 - em hall de serviço, salas de manutenção e salas de equipamentos, tais como casas de máquinas, salas de bombas, barriletes e locais análogos, deve ser previsto no mínimo um ponto de tomada de uso geral. Aos circuitos terminais respectivos deve ser atribuída uma potência de no mínimo 1000 VA;
- ii. Tomadas de Uso Específico: Deverá haver um ponto de tomada de uso específico para cada equipamento a ser alimentado, atentando para este estar localizado no máximo a 1,5 m do equipamento; ¹

b) Potência mínima das tomadas

- i. Tomadas de Uso Geral: Depende dos equipamentos a serem atendidos e não deve ser inferior aos seguintes valores mínimos:
- em banheiros, cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e locais análogos, no mínimo 600 VA por ponto de tomada, até três pontos, e 100 VA por ponto para os excedentes, considerando-se cada um desses ambientes separadamente. Quando o total de tomadas no conjunto desses ambientes for superior a seis pontos, admite-se que o critério de atribuição de potências seja de no mínimo 600 VA por ponto de tomada, até dois pontos, e 100 VA por ponto para os excedentes, sempre considerando cada um dos ambientes separadamente;
 - nos demais cômodos ou dependências, no mínimo 100 VA por ponto de tomada.
- ii. Tomadas de Uso Específico: Deve ser a ele atribuída uma potência igual à potência nominal do equipamento a ser alimentado ou à soma das potências nominais dos equipamentos a serem alimentados. Quando valores precisos não forem conhecidos, a potência atribuída ao ponto de tomada deve seguir um dos dois seguintes critérios: potência ou soma das potências dos equipamentos mais potentes que o ponto pode vir a alimentar, ou potência calculada com base na corrente de projeto e na tensão do circuito respectivo;

3.3 INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC)

A IEC não especifica quantidade mínima de iluminação e tomadas, nem a carga mínima.

¹ A conexão do aquecedor elétrico de água ao ponto de utilização deve ser direta, sem uso de tomada de corrente.

Conforme o *Electrical Installation Guide 2010* (SCHNEIDER ELECTRIC, 2009, p. Q6), a quantidade mínima de pontos de iluminação e tomadas não deve ser inferior aos valores indicados na tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade mínima de pontos de iluminação e tomadas.

Ambiente	Número Mínimo de pontos de lux fixos	Número Mínimo de tomadas de 10/16 A
Sala de estar	1	5
Quarto, sala de jantar	1	3
Cozinha	2	4
Banheiro	2	1 ou 2
Hall de entrada	1	1
Despensa	1	-
Lavanderia	-	1

Fonte: (SCHNEIDER ELECTRIC, 2009, p. Q6)

O guia *IEE Wiring Regulations*(THE INSTITUTION OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, 2008), que é baseado na norma BS 7671: 2008 do Reino Unido, indica o número de tomadas duplas para cada cômodo segundo suas dimensões conforme mostrado na tabela 5. A indicação de pontos de tomada dupla se deve ao fato da grande quantidade de equipamentos elétricos presentes nas residências(FORUM FOR EUROPEAN ELECTRICAL DOMESTIC SAFETY, 2004).

Tabela 5 – Número mínimo de tomadas duplas a ser instalada.

Ambiente	Cômodo Pequeno (até 12 m²)	Cômodo Médio (12-25 m²)	Cômodo Grande (mais de 25 m²)
Sala de estar	4	6	8
Sala de jantar	3	4	5
Quarto Solteiro	2	3	4
Quarto Duplo	3	4	5
Sala/Dormitório	4	5	6
Sala de Estudos	4	5	6
Despensa	3	4	5
Cozinha	6	8	10
Garagem	2	3	4
Conservatório	3	4	5
Hall de Entrada	1	2	3
Sótão	1	2	3

Fonte:(THE INSTITUTION OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, 2008, p. 162)

3.4 NATIONAL ELECTRIC CODE (NEC)

O NEC (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011) define os valores mínimos conforme descrição a seguir.

- **Iluminação e tomadas de uso geral**

Potência de iluminação e tomadas de uso geral, excluídas as tomadas da cozinha, copa-cozinha e área de serviços pode ser calculada utilizando os valores da tabela 6 e a área total da edificação.

Tabela 6 – Carga geral de iluminação por área.

Tipo de Ocupação	Cargas	
	Volts-amperes/ Metro Quadrado	Volt-Amperes/ Pés Quadrados
Auditórios	11	1
Bancos	39	3½
Barbearia e Salão de Beleza	33	3
Igreja	11	1
Clubes	22	2
Tribunal	22	2
Unidade habitacional	33	3
Garagem - comercial	6	½
Hospital	22	2
Hotel, Motel e apartamentos sem fogão elétrico	22	2
Edifícios comerciais, industriais	22	2
Pousada	17	1½
Edifícios de escritórios	39	3½
Restaurante	22	2
Escolas	33	3
Armazém	33	3
Estoque	3	¼
Em qualquer ocupação exceto ocupação habitacional individual, dupla e multifamiliar:		
Salão de shows e auditórios	11	1
Hall, corredor, closet, escadarias	6	½
Estoques	3	¼

Fonte: (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011, Tabela 220.12)

- **Tomadas de uso geral**

- na cozinha ou copa-cozinha pelo menos duas tomadas de 1500 VA, totalizando 3000 VA;
- na área de serviços no mínimo uma tomada de 1500 VA;
- banheiro pelo menos uma tomada de 1500 VA. ²

² Desconsiderar caso circuito alimente um único banheiro.

- **Tomadas de uso Específico**

Deverá haver um ponto de tomada de uso específico para cada equipamento a ser alimentado, com potência igual à potência nominal do equipamento.

4 CÁLCULO DE DEMANDA

Partindo da ideia da não utilização simultânea de todos os equipamentos de uma edificação, o regulamento e as normas definem fatores de utilização, demanda, diversidade e carga a fim de se calcular a demanda máxima que esta pode atingir.

A seguir serão apresentados as formas de apresentação e fatores do regulamento e das normas.

4.1 REGULAMENTO DE INSTALAÇÕES CONSUMIDORAS (RIC)

Conforme o RIC de BT (CEEE/AES SUL/RGE, 2012), o cálculo de demanda deve ser realizado para unidades consumidoras com carga instalada superior a 15kW (220/127V) ou 25kW (380/220V). O cálculo segue a fórmula:

$$D(kVA) = (a + b + c + d + e + f) \quad (4.1)$$

Com

- a: Demanda de iluminação e tomadas, calculada conforme ANEXO D (tabela 3);
- b: Demanda dos aparelhos para aquecimento (chuveiros, aquecedores, fornos, fogões, etc.), calculada conforme ANEXO I (tabela 11);
- c: Demanda dos aparelhos de condicionador de ar, tipo janela, calculada conforme ANEXOS E e F (tabela 7 e 8) (unidade em kVA)¹;
- d: Demanda das unidades centrais de condicionadores de ar, calculadas a partir das respectivas correntes máximas totais (valores fornecidos pelos fabricantes), considerando o fator de demanda de 100 %;
- e: Demanda dos motores elétricos e máquinas de solda a motor, calculada conforme ANEXO G (tabela 9)²;
- f: Demanda das máquinas de solda a transformador, aparelhos de eletrolgalvanização e de raios-X, calculada conforme ANEXO H (tabela 10).

O dimensionamento dos centros de medições é calculado:

¹ Unidade central deve ser considerado fator igual a 100%

² Máquinas de solda tipo motor-gerador devem ser consideradas como motores.

1. Residencial: Somatório das demandas das unidades consumidoras do circuito, permitindo a utilização dos fatores:
 - a) Com duas ou três CPs: 0,75;
 - b) Com quatro CPs: 0,70;
 - c) Com cinco CPs: 0,65.
2. Comercial: Somatório das demandas das unidades consumidoras do circuito.
3. Misto (residencial e comercial): Somatório das demandas residencial, obtidas conforme item 1, e comercial conforme item 2.

O cálculo de demanda total e dimensionamento da entrada de serviços em centros de medições deve seguir os seguintes passos:

1. Residencial:

$$D_{edifício} = D_{aptos} + D_{condomínio} \quad (4.2)$$

- a) Demanda dos apartamentos

$$D_{aptos} = 1,2 \cdot F_1 \cdot F_2 \quad (4.3)$$

- 1,2 Fator de crescimento vegetativo, aumento de cargas futuras;
- F_1 : Demanda de cada unidade consumidora em função da área, obtido no anexo T (tabela 12). Se as unidades possuírem áreas diferentes, considerar a média aritmética;
- F_2 : Fator de diversidade obtido no anexo U (tabela 13) em função do número de unidades consumidoras da edificação;

- b) Demanda do serviço de condomínio: calcular conforme equação 4.1.

$$D_{condomínio} = (a + b + c + d + e + f) \quad (4.4)$$

2. Comercial:

$$D_{edifício} = D_{comercial} + D_{condomínio} \quad (4.5)$$

- a) Demanda unidades comerciais: calcular conforme equação 4.1;
- b) Demanda do serviço de condomínio: calcular conforme equação 4.1.

3. Misto: deve-se somar a demanda residencial com a comercial.

$$D_{edifício} = D_{aptos} + D_{comercial} + D_{condomínio} \quad (4.6)$$

Tabela 7 – ANEXO E - Fatores de Demanda para Condicionador de Ar Residencial.

Potência Instalada em Aparelhos (kVA)	Fator de Demanda (%)
1 a 10	100
11 a 20	85
21 a 30	80
31 a 40	75
41 a 50	70
51 a 75	65
Acima de 75	60

Fonte: (CEEE/AES SUL/RGE, 2012, p. 67)

Tabela 8 – ANEXO F - Fatores de Demanda para Condicionador de Ar Comercial.

Potência Instalada em Aparelhos (kVA)	Fator de Demanda (%)
1 a 25	100
26 a 50	90
51 a 100	80
Acima de 100	70

Fonte: (CEEE/AES SUL/RGE, 2012, p. 67)

Tabela 9 – ANEXO G - Fatores de Demanda para Motores.

Cargas individuais de motores									
Potência (CV)	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	3
Carga(kVA)	0,45	0,63	0,76	1,01	1,24	1,43	2,00	2,60	3,80
Potência (cv)	5	$7\frac{1}{2}$	10	15	20	25	30	40	50
Carga(kVA)	5,40	7,40	9,20	12,70	16,40	20,30	24,00	30,60	40,80
Fatores de demanda									
Número total de motores	1	2	3 a 5	Mais de 5					
Fator de demanda (%)	100	90	80	70					

Fonte: (CEEE/AES SUL/RGE, 2012, p. 67)

Tabela 10 – ANEXO H - Fatores de Demanda para Aparelhos Especiais.

Aparelho	Potência	Fator de Demanda (%)
Solda a arco e galvanização	1º Maior	100
	2º Maior	70
	3º Maior	40
	Soma dos demais	30
Solda à resistência	Maior	100
	Soma dos demais	60
Raio-X	Maior	100
	Soma dos demais	70

Fonte: (CEEE/AES SUL/RGE, 2012, p. 68)

Tabela 11 – ANEXO I - Fatores de Demanda Aparelhos de Aquecimento.

Número de Aparelhos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Fator de Demanda (%)	100	75	70	66	62	59	56	53	51	49	47	45	43
Número de Aparelhos	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25 ou mais	
Fator de Demanda (%)	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	

Fonte: (CEEE/AES SUL/RGE, 2012, p. 68)

Tabela 12 – ANEXO T - Demanda de Unidade Consumidora Residencial em Função da Área.

Área Útil (m ²)	kVA	Área Útil (m ²)	kVA	Área Útil (m ²)	kVA	Área Útil (m ²)	kVA	Área Útil (m ²)	kVA	Área Útil (m ²)	kVA	Área Útil (m ²)	kVA
Até 80	1,76	120	2,54	160	3,28	200	4,01	240	4,72	280	5,42	320	6,1
81	1,78	121	2,56	161	3,30	201	4,03	241	4,74	281	5,43	321	6,12
82	1,80	122	2,57	162	3,32	202	4,04	242	4,75	282	5,45	322	6,14
83	1,82	123	2,59	163	3,34	203	4,06	243	4,77	283	5,47	323	6,16
84	1,84	124	2,61	164	3,36	204	4,08	244	4,79	284	5,49	324	6,17
85	1,86	125	2,63	165	3,37	205	4,10	245	4,81	285	5,50	325	6,19
86	1,88	126	2,65	166	3,39	206	4,12	246	4,82	286	5,52	326	6,21
87	1,90	127	2,67	167	3,41	207	4,13	247	4,84	287	5,54	327	6,22
88	1,92	128	2,69	168	3,43	208	4,15	248	4,85	288	5,55	328	6,24
89	1,94	129	2,71	169	3,45	209	4,17	249	4,86	289	5,57	329	6,26
90	1,96	130	2,73	170	3,47	210	4,19	250	4,89	290	5,59	330	6,27
91	1,98	131	2,74	171	3,48	211	4,20	251	4,91	291	5,61	331	6,29
92	2,00	132	2,76	172	3,50	212	4,22	252	4,93	292	5,62	332	6,31
93	2,02	133	2,78	173	3,52	213	4,24	253	4,95	293	5,64	333	6,33
94	2,04	134	2,80	174	3,54	214	4,26	254	4,96	294	5,66	334	6,34
95	2,06	135	2,82	175	3,56	215	4,28	255	4,98	295	5,68	335	6,36
96	2,09	136	2,84	176	3,57	216	4,29	256	5,00	296	5,69	336	6,38
97	2,10	137	2,86	177	3,59	217	4,31	257	5,02	297	5,71	337	6,39
98	2,12	138	2,88	178	3,61	218	4,33	258	5,03	298	5,73	338	6,41
99	2,14	139	2,89	179	3,63	219	4,35	259	5,05	299	5,74	339	6,43
100	2,15	140	2,91	180	3,65	220	4,36	260	5,07	300	5,76	340	6,44
101	2,17	141	2,93	181	3,67	221	4,38	261	5,09	301	5,78	341	6,46
102	2,19	142	2,95	182	3,68	222	4,40	262	5,10	302	5,80	342	6,48
103	2,21	143	2,97	183	3,70	223	4,42	263	5,12	303	5,81	343	6,50
104	2,23	144	2,99	184	3,72	224	4,44	264	5,14	304	5,83	344	6,51
105	2,25	145	3,01	185	3,74	225	4,45	265	5,16	305	5,85	345	6,53
106	2,27	146	3,02	186	3,76	226	4,47	266	5,17	306	5,86	346	6,55
107	2,29	147	3,04	187	3,77	227	4,49	267	5,19	307	5,88	347	6,56
108	2,31	148	3,06	188	3,79	228	4,51	268	5,21	308	5,90	348	6,58
109	2,33	149	3,08	189	3,81	229	4,52	269	5,23	309	5,92	349	6,60
110	2,35	150	3,10	190	3,83	230	4,54	270	5,24	310	5,93	350	6,61
111	2,37	151	3,12	191	3,85	231	4,56	271	5,26	311	5,95	400	7,45
112	2,39	152	3,13	192	3,86	232	4,58	272	5,28	312	5,97	450	8,28
113	2,4	153	3,15	193	3,88	233	4,59	273	5,29	313	5,98	500	9,14
114	2,42	154	3,17	194	3,9	234	4,61	274	5,31	314	6,00	550	9,91
115	2,44	155	3,19	195	3,92	235	4,63	275	5,33	315	6,02	600	10,71
116	2,46	156	3,21	196	3,94	236	4,65	276	5,35	316	6,04	700	12,30
117	2,48	157	3,23	197	3,95	237	4,67	277	5,36	317	6,05	800	13,86
118	2,5	158	3,25	198	3,97	238	4,68	278	5,38	318	6,07	900	15,40
119	2,52	159	3,26	199	3,99	239	4,70	279	5,40	319	6,09	1000	16,93

Fonte: (CEEE/AES SUL/RGE, 2012, p. 83)

Tabela 13 – ANEXO U – Fator De Diversidade Em Função do Nº de Unidades Consumidora.

Nº Apto	Fator	Nº Apto	Fator	Nº Apto	Fator	Nº Apto	Fator	Nº Apto	Fator	Nº Apto	Fator	Nº Apto	Fator
-	-	41	30,12	81	52,7	121	68,59	161	76,24	201	80,89	241	82,49
-	-	42	30,73	82	53,26	122	68,84	162	76,39	202	80,94	242	82,52
-	-	43	31,33	83	53,82	123	69,09	163	76,54	203	80,99	243	82,54
-	-	44	31,94	84	54,38	124	69,34	164	76,69	204	81,04	244	82,57
-	-	45	32,54	85	54,94	125	69,59	165	76,84	205	81,09	245	82,59
-	-	46	33,10	86	55,5	126	69,79	166	76,99	206	81,14	246	82,62
-	-	47	33,66	87	56,06	127	69,99	167	77,14	207	81,19	247	82,64
-	-	48	34,22	88	56,62	128	70,19	168	77,29	208	81,24	248	82,67
-	-	49	34,78	89	57,18	129	70,39	169	77,44	209	81,29	249	82,69
Até10	9,64	50	35,34	90	57,74	130	70,59	170	77,59	210	81,34	250	82,72
11	10,42	51	35,90	91	58,3	131	70,79	171	77,74	211	81,39	251	82,73
12	11,20	52	36,46	92	58,86	132	70,99	172	77,89	212	81,44	252	82,74
13	11,98	53	37,02	93	59,42	133	71,19	173	78,04	213	81,49	253	82,75
14	12,76	54	37,58	94	59,98	134	71,39	174	78,19	214	81,54	254	82,76
15	13,54	55	38,14	95	60,54	135	71,59	175	78,34	215	81,59	255	82,77
16	14,32	56	38,70	96	61,1	136	71,79	176	78,44	216	81,64	256	82,78
17	15,10	57	39,26	97	61,66	137	71,99	177	78,54	217	81,69	257	82,79
18	15,88	58	39,82	98	62,22	138	72,19	178	78,64	218	81,74	258	82,80
19	16,66	59	40,38	99	62,78	139	72,39	179	78,74	219	81,79	259	82,81
20	17,44	60	40,94	100	63,34	140	72,59	180	78,84	220	81,84	260	82,82
21	18,04	61	41,50	101	63,59	141	72,79	181	78,94	221	81,89	261	82,83
22	18,65	62	42,06	102	63,84	142	72,99	182	79,04	222	81,94	262	82,84
23	19,25	63	42,62	103	64,09	143	73,19	183	79,14	223	81,99	263	82,85
24	19,86	64	43,18	104	64,34	144	73,39	184	79,24	224	82,04	264	82,86
25	20,46	65	43,74	105	64,59	145	73,59	185	79,34	225	82,09	265	82,87
26	21,06	66	44,30	106	64,84	146	73,79	186	79,44	226	82,12	266	82,88
27	21,67	67	44,86	107	65,09	147	73,99	187	79,54	227	82,14	267	82,89
28	22,27	68	45,42	108	65,34	148	74,19	188	79,64	228	82,17	268	82,90
29	22,88	69	45,98	109	65,59	149	74,39	189	79,74	229	82,19	269	82,91
30	23,48	70	46,54	110	65,84	150	74,59	190	79,84	230	82,22	270	82,92
31	24,08	71	47,10	111	66,09	151	74,74	191	79,94	231	82,24	271	82,93
32	24,69	72	47,66	112	66,34	152	74,89	192	80,04	232	82,27	272	82,94
33	25,29	73	48,22	113	66,59	153	75,04	193	80,14	233	82,29	273	82,95
34	25,90	74	48,78	114	66,84	154	75,19	194	80,24	234	82,32	274	82,96
35	26,50	75	49,34	115	67,09	155	75,34	195	80,34	235	82,34	275	82,97
36	27,10	76	49,90	116	67,34	156	75,49	196	80,44	236	82,37	276	83,00
37	27,71	77	50,46	117	67,59	157	75,64	197	80,54	237	82,39	277	83,00
38	28,31	78	51,02	118	67,84	158	75,79	198	80,64	238	82,42	280	83,00
39	28,92	79	51,58	119	68,09	159	75,94	199	80,74	239	82,44	300	83,00
40	29,52	80	52,14	120	68,34	160	76,09	200	80,84	240	82,47		

Fonte: (CEEE/AES SUL/RGE, 2012, p. 84)

4.2 NBR 5410: INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

A NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) não especifica métodos de cálculos de demanda, apenas informa que a alimentação de uma instalação deverá ser determinada a partir das potências nominais dos equipamentos, atentando a não simultaneidade de funcionamento dos equipamentos, além da capacidade de reserva para futuras ampliações.

4.3 INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC)

A norma IEC 60364-1 (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2001) não especifica métodos de cálculo de demanda, apenas sugere o uso de fator de diversidade.

A norma IEC 60439-1 (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2004), indica a utilização do fator de diversidade em quadros de distribuição, partindo da ideia da não simultaneidade da utilização dos circuitos. A tabela 14 mostra o valor do fator de simultaneidade em função do número de circuitos ligados ao quadro de distribuição.

Tabela 14 – Fator de simultaneidade para quadros de distribuição.

Número de Circuitos	Fator de simultaneidade (ks)
Para circuitos inteiramente testados:	
2 e 3	0,9
4 e 5	0,8
6 a 9	0,7
10 ou mais	0,6
Para circuitos parcialmente testados	
Qualquer	1,0

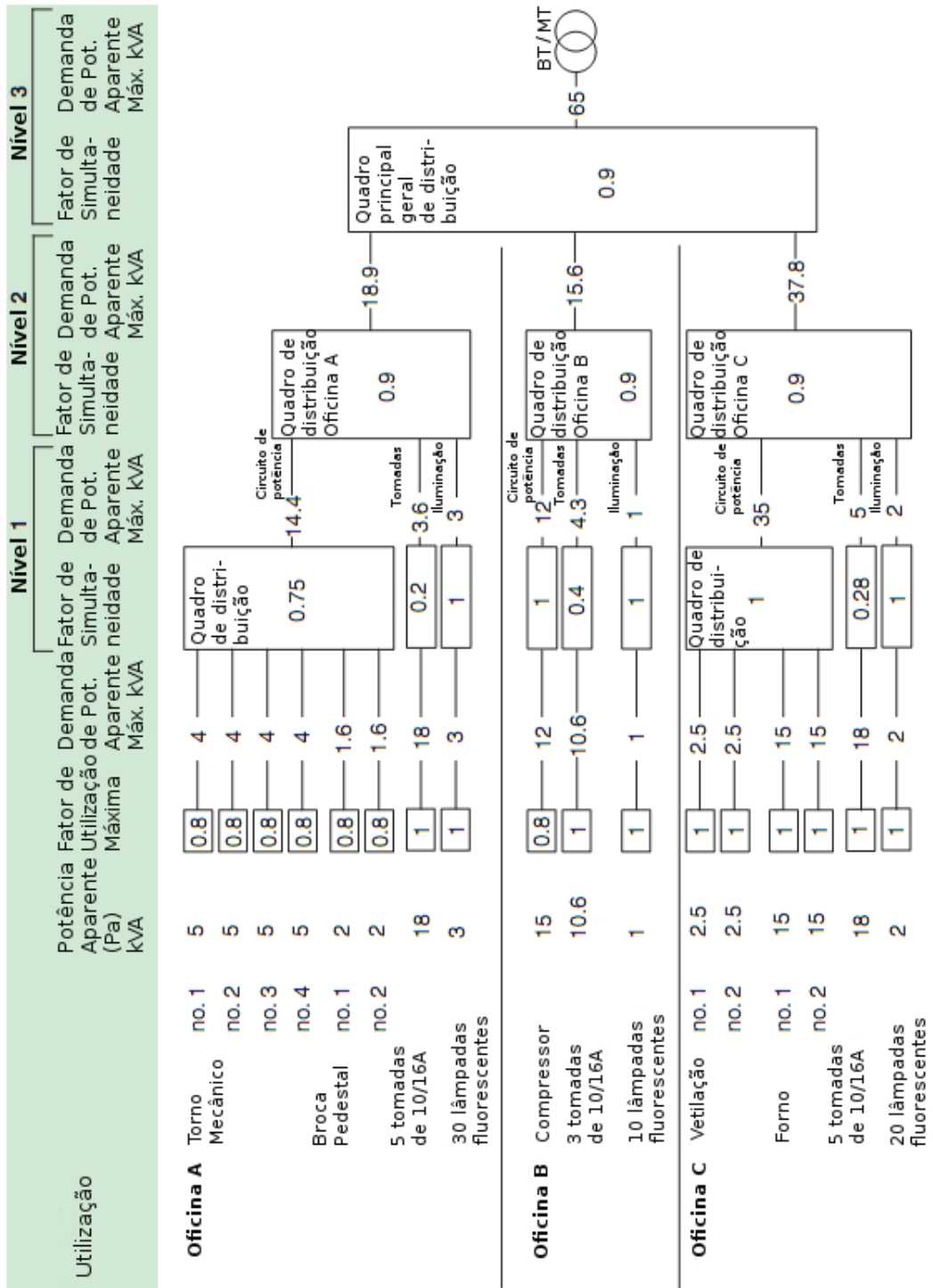
Fonte: (SCHNEIDER ELECTRIC, 2009, p. A18)

Além deste fator, o guia *Electrical Installation Guide* 2010 (SCHNEIDER ELECTRIC, 2009) apresenta o fator de simultaneidade conforme a função do circuito (tabela 15).

Ambas as tabelas podem ser utilizadas em conjunto. Um exemplo desta aplicação está na figura 3.

O guia *IEE Wiring Regulations* (THE INSTITUTION OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, 2008) também traz fatores de diversidade conforme o propósito do circuito, além de ser descrito para diversos tipos de instalações. A tabela 16 mostra estes fatores.

Figura 3 – Um exemplo para estimar a carga máxima prevista de uma instalação com a potência instalada de 126,6kW.



Fonte: (SCHNEIDER ELECTRIC, 2009, p. A19)

Tabela 15 – Fator de simultaneidade de acordo com a função do circuito.

Função do Circuito	Fator de simultaneidade (ks)	
Iluminação	1	
Aquecimento e condicionador de Ar	1	
Tomadas	0,1 à 0,2	
Elevadores e guinchos elétricos	- Para o motor mais potente	1
	- Para o segundo maior motor	0,75
	- Para os motores restantes	0,60

Fonte: (SCHNEIDER ELECTRIC, 2009, p. A18)

Em todos os casos, somente é recomendado a utilização dos fatores para circuitos conhecidos ou previamente testados. A instalação elétrica deverá suportar a potência instalada, não apenas a demandada.

Tabela 16 – Fatores de diversidade.

Propósito do circuito final ou disjuntor de	Instalação residencial incluindo unidades habitacionais	Pequenas lojas, armazéns, escritórios e locais de negócio	Pequenos hotéis, pensões, hospedagens, etc
1 - Iluminação	66 % da corrente total demandada	90 % da corrente total demandada	75 % da corrente total demandada
2 - Aquecimento e de potência	100 % da corrente total demandada acima de 10 A + 50 % da corrente que ultrapasse 10 A	100 % da maior aplicação + 75 % dos restantes	100 % da maior aplicação + 80 % da segunda maior + 60 % do restante
3 - Equipamentos de cozinha	10 A + 30 % do restante além dos 10 A + 5 A se existir tomada incorporada	100 % da maior aplicação + 80 % da segunda maior + 60 % do restante	100 % da maior aplicação + 80 % da segunda maior + 60 % do restante
4 - Motores	Não aplicável	100 % do maior motor + 80 % do segundo maior motor + 60 % do restante	100 % do maior motor + 50 % do restante
5 - Aquecedores de água (tipo instantâneo)	100 % da maior aplicação + 100 % da segunda maior + 25 % do restante	100 % da maior aplicação + 100 % da segunda maior + 25 % do restante	100 % da maior aplicação + 100 % da segunda maior + 25 % do restante
6 - Aquecedores de água (controlado por termostato)	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
7 - Aquecedor de piso	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
8 - Aquecimento de instalações de armazenamento térmico	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
9 - Circuito final padrão (tomadas)	100 % da corrente do circuito de maior demanda + 40 % dos demais circuitos	100 % da corrente do circuito de maior demanda + 50 % dos demais circuitos	100 % da corrente do circuito de maior demanda + 50 % dos demais circuitos
10 - Tomadas (outras além do item 9 e de tomadas estacionárias)	100 % da corrente demandada do ponto de maior utilização + 40 % da corrente demandada dos demais pontos	100 % da corrente demandada do ponto de maior utilização + 70 % da corrente demandada dos demais pontos	100 % da corrente demandada do ponto de maior utilização + 75 % da corrente demandada de cômodos principais (sala de jantar, etc) + 40 % da corrente demandada dos demais pontos

Fonte: (THE INSTITUTION OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, 2008, p. 96)

4.4 NATIONAL ELECTRIC CODE (NEC)

- **Iluminação e tomadas**

Para o cálculo da demanda de iluminação e tomada, pode-se utilizar os fatores de demanda da tabela 17 sobre o valor total da potência instalada.

- **Tomadas para unidades não residenciais**

É possível utilizar dois métodos para as tomadas em unidades não residenciais, o primeiro é o mesmo utilizado para unidades residenciais mostrado na tabela 17, e o outro método é utilizando os fatores mostrados na tabela 18.

- **Tomadas de uso específico**

- Secadoras de roupa: sua potência mínima deve ser de $5000W$ ou a potência nominal do equipamento, a que for maior. Permite-se utilizar fator de demanda quando o sistema é trifásico, sendo dividido a quantidade de equipamentos entre as fases, e o maior número multiplicado por dois. Este é o valor a ser pesquisado na tabela 19.
- fornos e fogões elétricos: para equipamentos da cozinha com potência superior a $1750 W$ é permitido a utilização de fatores de demanda mostrada na tabela 20. Abaixo disto utilizar 100%.
- Aparelhos de aquecimento e condicionadores de ar deve-se utilizar fator de demanda unitário.
- Demais aparelhos fixos poderá ser utilizado um fator de demanda de 75 %, quando em número igual ou superior a quatro aparelhos.

Existe ainda um método alternativo de cálculo de demanda de unidades residenciais e múltiplas unidades residenciais. Estes métodos serão descritos a seguir:

- **Para unidade residencial**

Este método opcional e somente é permitido para condutores alimentadores sejam para pelo menos 100 A. O cálculo consiste em aplicar 100 % de demanda para os primeiros 10 kVA e 40 % para o restante das seguintes cargas:

- 33 VA/m² para iluminação e tomadas de uso geral;
- 1500 VA para cada circuito de alimentação de 20 A, sendo no mínimo 2 na cozinha e 1 para lavanderia;
- Potência nominal de todos os equipamentos de circuitos específicos;

Tabela 17 – Fator de demanda para iluminação.

Tipo de Ocupação	Porção de Demanda	Fator de Demanda (%)
Unidade habitacional	Primeiros 3000 VA ou menos	100
	De 3001 à 120.000	35
	Acima de 120.000	25
Hospital	Primeiros 50.000 ou menos	40
	Acima de 50.000	20
Hotel e motel incluindo apartamentos sem previsão de fogão elétrico	Primeiros 20.000 ou menos	50
	De 20.001 à 100.000	40
	Acima de 100.000	30
Depósitos	Primeiros 12.500 ou menos	100
	Acima de 12.500	50
Todos os outros	Total	100

Fonte: (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011, Tabela 220.42)

Tabela 18 – Fator de demanda para potência de tomadas em unidades não comerciais.

Porção de carga de tomada cuja demanda será aplicada	Fator de Demanda (%)
Primeiros 10 kVA ou menos	100
Acima de 10kVA	50

Fonte: (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011, Tabela 220.44)

Tabela 19 – Fator de demanda para secadora de roupas em residências.

Número de Secadoras	Fator de Demanda (%)
1-4	100
5	85
6	75
7	65
8	60
9	55
10	50
11	47
12-23	47% menos 1% por cada secadora que exceda 11
24-42	47% menos 1% por cada secadora que exceda 11
Acima de 43	25%

Fonte: (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011, Tabela 220.54)

Tabela 20 – Fator de demanda e cargas de equipamentos elétricos, forno de parede, e equipamentos para cozinha residencial.

Número de Aparelhos	Fator de Demanda (%)		Coluna C Máxima Demanda (kW) (Não acima de 12 kW)
	Coluna A Menos que 3,5 kW	Coluna B Entre 3,5 kW e 8,75 kW	
1	80	80	8
2	75	65	11
3	70	55	14
4	66	50	17
5	62	45	20
6	59	43	21
7	56	40	22
8	53	36	23
9	51	35	24
10	49	34	25
11	47	32	26
12	45	32	27
13	43	32	28
14	41	32	29
15	40	32	30
16	39	28	31
17	38	28	32
18	37	28	33
19	36	28	34
20	35	28	35
21	34	26	36
22	33	26	37
23	32	26	38
24	31	26	39
25	30	26	40
26-30	30	24	15 kW +1 kW por cada item
31-40	30	22	
41-50	30	20	25 kW +0,75 kW por cada item
51-60	30	18	
Acima de 61	30	16	

Fonte: (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011, Tabela 220.55)

- Para aquecedor e condicionador de ar 100 % da demanda, e caso não haja simultaneidade de funcionamento pode-se considerar 100 % da maior carga.

- **Para múltiplas unidades residenciais**

Este método opcional somente é permitido se cada unidade residencial:

- For alimentada por apenas um circuito.
- Ter um fogão elétrico
- For equipada com aquecedor elétrico ou condicionador de ar, ou ambos

Para o cálculo, utilizar o fator de demanda conforme o número de unidades da tabela 21 e aplicar sobre as seguintes cargas:

- 33 VA/m² para iluminação e tomadas de uso geral;
- 1500 VA para cada circuito de alimentação de 20 A, sendo no mínimo 2 na cozinha e 1 para lavanderia;
- Potência nominal de todos os equipamentos de circuitos específicos;
- A maior carga entre o condicionador de ar e o aquecedor elétrico fixo.

Tabela 21 – Cálculo Opcional - Fator de demanda para três ou mais unidades residenciais multifamiliares.

Número de Unidades Habitacionais	Fator de Demanda (%)
3-5	45
6-7	44
8-10	43
11	42
12-13	41
14-15	40
16-17	39
18-20	38
21	37
22-23	36
24-25	35
26-27	34
28-30	33
31	32
32-33	31
34-36	30
37-38	29
39-42	28
43-45	27
46-50	26
51-55	25
56-61	24
62 e acima	23

Fonte:(NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011, Tabela 220.84)

5 ESTIMATIVAS DAS CURVAS DE CARGA

Visando compreender como o consumo de energia ocorre e como isso afeta a demanda máxima, é necessário verificar formas de estimar a curva de carga.

Os clientes residenciais das concessionárias de energia elétrica têm seus consumos medidos quase em sua totalidade por medidores convencionais de energia (kWh consumido no mês), sendo possível conhecer somente o consumo total acumulado num período. Em virtude disso são necessários métodos para estimativa das curvas de carga residenciais, e eles podem ser: Pesquisa de Posses e Hábitos (PPH) de uso de energia elétrica, e medição direta do consumo através de medidores com memória de massa (PINHO; SOUZA; FROTA, 2012).

5.1 PESQUISA DE POSSES E HÁBITOS

Em uma pesquisa de posses e hábitos, são realizadas entrevistas com um grupo amostral de consumidores visando obter as características de uso diário de cada equipamento elétrico de uma edificação (lâmpadas, refrigerador, freezer, condicionador de ar, televisão, chuveiro, etc.) bem como suas respectivas potências nominais. Com as informações estatísticas de horário e período de uso são traçadas curvas de carga de cada equipamento, que somadas formam a curva diária de cada consumidor (PINHO; SOUZA; FROTA, 2012).

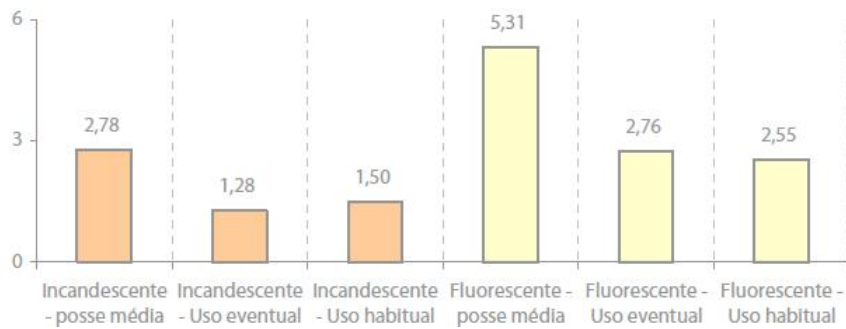
A pesquisa de campo “Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso - PPH” (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007a) realizada em 2005, é a pesquisa mais atual no nível nacional. Coordenada pela Eletrobrás, por meio do Procel e executada pela Puc-Rio, contemplou 16 estados e o Distrito Federal.

Com relação à posse de equipamentos elétricos na região sul, as figuras de 4 a 13 mostra os resultados obtidos pela pesquisa.

A região sul possui um maior número de lâmpadas fluorescentes do que as incandescentes, tendo ainda a maior média do país. Foram contemplados no cálculo as lâmpadas de uso habitual, acionadas das 19:00 às 21:00, e as de uso eventual, como as lâmpadas das garagens. Estes resultados podem ser verificados na figura 4 (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b).

Com relação a posse média de refrigeradores, a média brasileira ficou em 1 equipamento por habitante, e a região sul possui o maior percentual de domicílios com pelo menos 1 refrigerador (99,6%). A figura 5 mostra posse média de refrigeradores em todas

Figura 4 – Posse média e uso de lâmpadas nos domicílios da região Sul.



Fonte: (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b)

Figura 5 – Posse média dos refrigeradores no Brasil e regiões.



Fonte: (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b)

as regiões do Brasil. A pesquisa ainda indicou que seu uso é, quase que em sua totalidade, permanente (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b).

Figura 6 – Posse média de freezers no Brasil e regiões.



Fonte: (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b)

A região sul possui também a maior posse média de freezers no Brasil, conforme mostrado na figura 6. Ele também é quase sempre utilizado permanentemente (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b).

A pesquisa mostra que a posse média de ar condicionados ainda é pequena, conforme figura 7. Com relação ao seu uso, os dados da região Sul apontaram que 98,4% não

Figura 7 – Posse média de condicionador de ar no Brasil e regiões.



Fonte: (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b)

fazem uso do equipamento no clima ameno, 82,9% declararam não fazer uso em condição de clima frio. Em condição de clima quente, 30,5% mencionaram fazer uso grande (> 4 vezes por semana) e 22,9% uso médio (1 a 3 vezes por semana)(PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b).

Figura 8 – Posse média de televisores no Brasil e regiões.



Fonte: (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b)

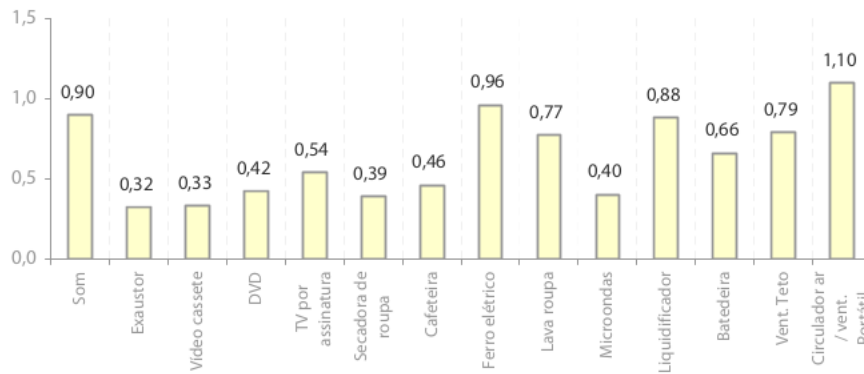
O televisor possui a maior posse média dos eletrodomésticos, sendo que está mais presente na região sul, conforme figura 8. A região sul novamente se destaca pela acentuada utilização por 95,1% dos usuários.

A figura 9 mostra a posse média de outros eletrodomésticos, sendo destacado a posse média de circulador de ar, ferro elétrico, aparelho de som, liquidificador, ventilador de teto, lava-roupa e batedeira. Outro destaque é o ferro elétrico, que possui um grande consumo e uso médio declarado por 68,9% dos pesquisados (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b).

Com relação ao uso do *stand by*, a figura 10 mostra que o televisor está em primeiro, com 72,1% de utilização(PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b).

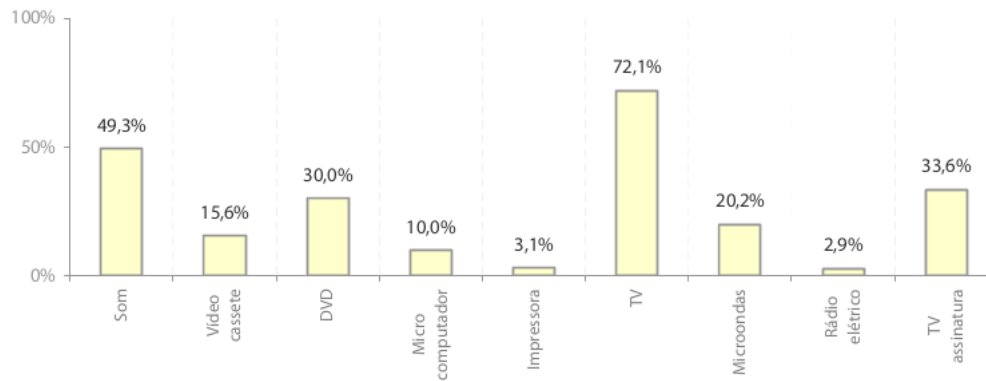
A pesquisa também mostrou que 98,6% dos entrevistados utilizam o chuveiro elétrico para aquecer a água. A região sul novamente possui a maior posse média do Brasil (figura 11) (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b).

Figura 9 – Posse média por eletrodoméstico.



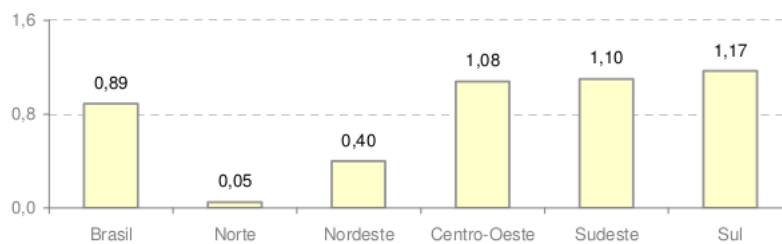
Fonte: (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b)

Figura 10 – Uso da função stand by dos eletrodomésticos.



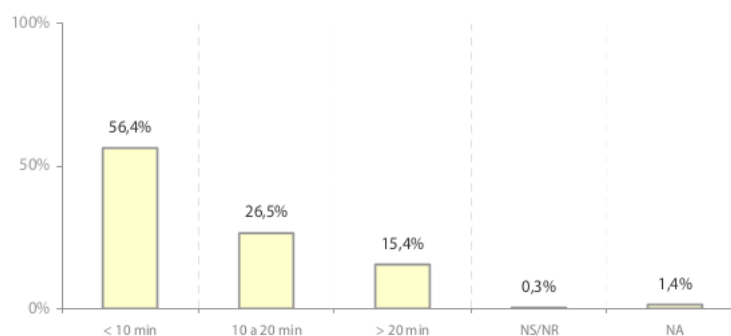
Fonte: (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b)

Figura 11 – Posse média de chuveiro elétrico no Brasil e regiões.



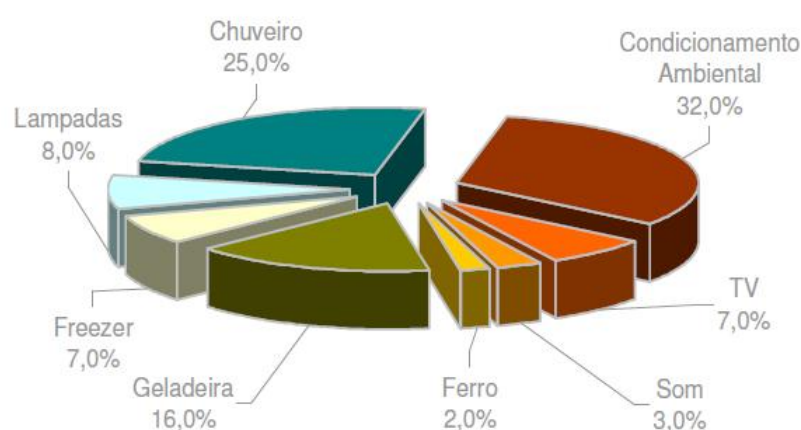
Fonte: (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b)

Figura 12 – Tempo médio do banho por pessoa utilizando chuveiro elétrico.



Fonte: (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b)

Figura 13 – Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial na região Sul.



Fonte: (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b)

O tempo médio de banho predominante foi de menos de 10 minutos, conforme indicado na figura 12.

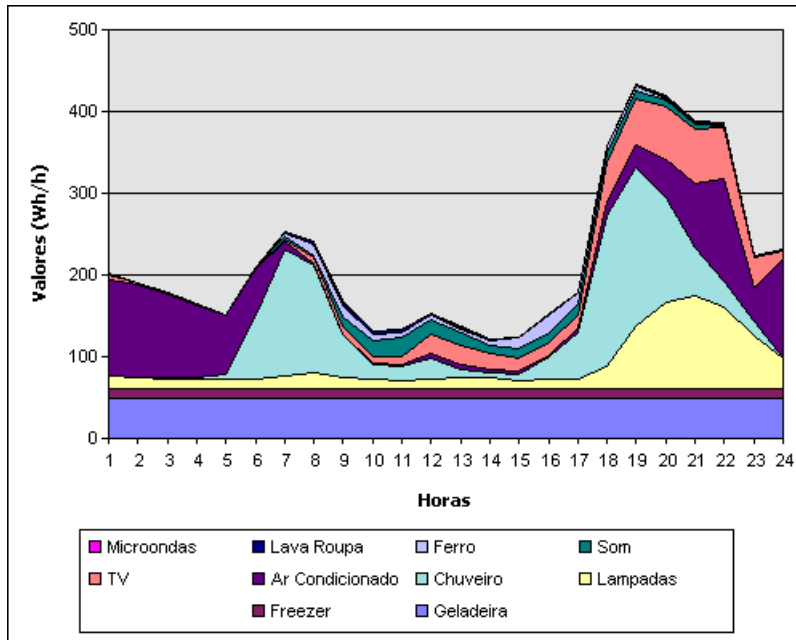
A partir dos dados coletados foi possível montar a participação dos eletrodomésticos no consumo médio domiciliar na região sul. A figura 13 mostra este resultado, com destaque para a geladeira (16%), chuveiro (25%), e condicionamento ambiental (32%).

Com base na pesquisa, foram geradas curvas diárias típicas da classe residencial para cada região com base na parcela de consumo de cada equipamento no consumo diário de energia elétrica. A figura 14 mostra a curva de carga diária média no Brasil, enquanto que a figura 15 mostra a curva diária média da região sul. Estas curvas podem ser consideradas a média das somas dos consumos de todos os entrevistados da região.

Analisando as curvas, verifica-se um pico no consumo mais elevado na região sul do que na média brasileira. O pico também é maior que o das demais regiões, sendo esperado em virtude dos resultados das posses médias dos eletrodomésticos. Além disso, nota-se a grande parcela do chuveiro no pico de consumo, juntamente com a maior utilização das

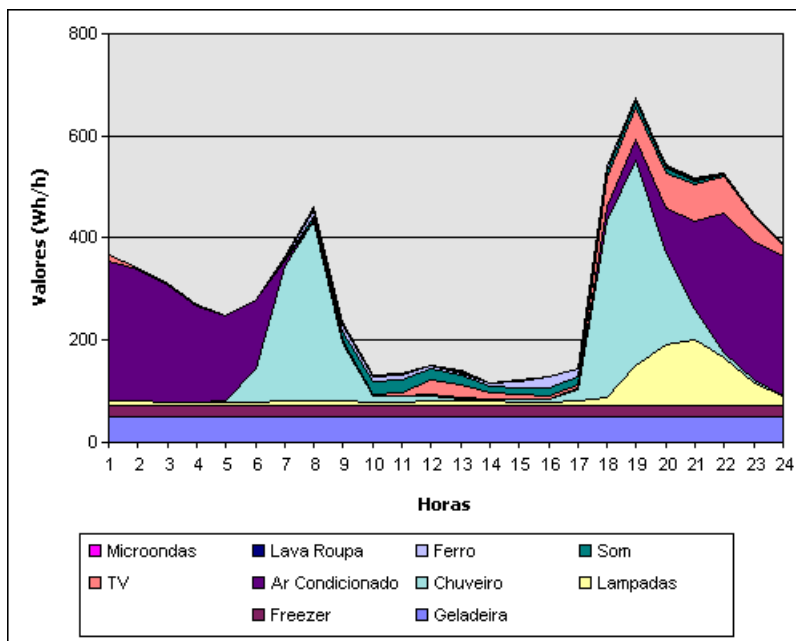
lâmpadas para iluminação. A geladeira e o freezer geraram uma parcela constante no consumo durante todo o período, mantendo a concordância com os dados coletados.

Figura 14 – Curva de carga diária média no Brasil.



Fonte: (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b)

Figura 15 – Curva de carga diária média na região Sul.



Fonte: (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007b)

5.2 MEDIÇÃO DIRETA DE CONSUMO

Já na medição direta do consumo com de medidores com memória de massa, são registrados os consumos totais em intervalos de tempo definidos (5, 10 e 15 minutos), permitindo traçar a curva de carga do consumidor com grande precisão (PINHO; SOUZA; FROTA, 2012).

A obtenção de dados de medição direta de consumo no Brasil é feita somente quando as companhias realizam seus reajustes tarifários. Porém estas medições podem ser realizadas nos alimentadores, não havendo a curva individual do consumidor. Um exemplo disso se encontra no anexo A, onde as curvas de carga diárias foram extraídas a partir do consumo conforme divisão das faixas de consumo mensal.

Afim de obter dados mais atuais, foram extraídos as curvas de carga da dissertação de pós graduação (FRANCISQUINI, 2006), obtidas em concessionárias de energia de São Paulo.

Estes consumidores residenciais foram divididos conforme seu consumo mensal de energia:

- menor que 100 kWh/mês;
- de 101 a 200 kWh/mês;
- de 201 a 300 kWh/mês;
- de 301 a 500 kWh/mês
- maior que 500 kWh/mês.

Cada faixa de consumo foi agrupada com um conjunto de curvas média e de desvio padrão para dias úteis, sábados e domingos, denominadas curvas representativas ou características das classes. As curvas de carga extraídas estão disponíveis no anexo B.

6 RESULTADOS E COMPARAÇÕES

Nesta etapa serão comparados os valores determinados nos apêndices A e B com as informações descritas nos capítulos anteriores. Serão também abordados outros estudos de forma a verificar os valores calculados.

Houve uma grande dificuldade em encontrar dados que possibilitassem essa comparação. Além de poucas pesquisas realizadas nesta área, a última pesquisa foi realizada em 2005 (PROCEL/ ELETROBRÁS, 2007a, pg. 10). Outra dificuldade foi encontrar dados de demanda individuais. Os estudos realizados mostram curvas de carga média, ou seja, com valores muito inferiores aos encontrados nas residências.

Também não foram realizados cálculos de demanda pela IEC em virtude das informações escassas e não aconselhado o uso pelos autores, além da necessidade de divisão das cargas em circuitos que pode ser realizado de diversas formas, alterando os valores calculados.

6.1 CURVA DE DEMANDA RESIDENCIAL INDIVIDUAL

Na análise da demanda residencial individual foram utilizados valores obtidos no estudo de caso contido no apêndice A.

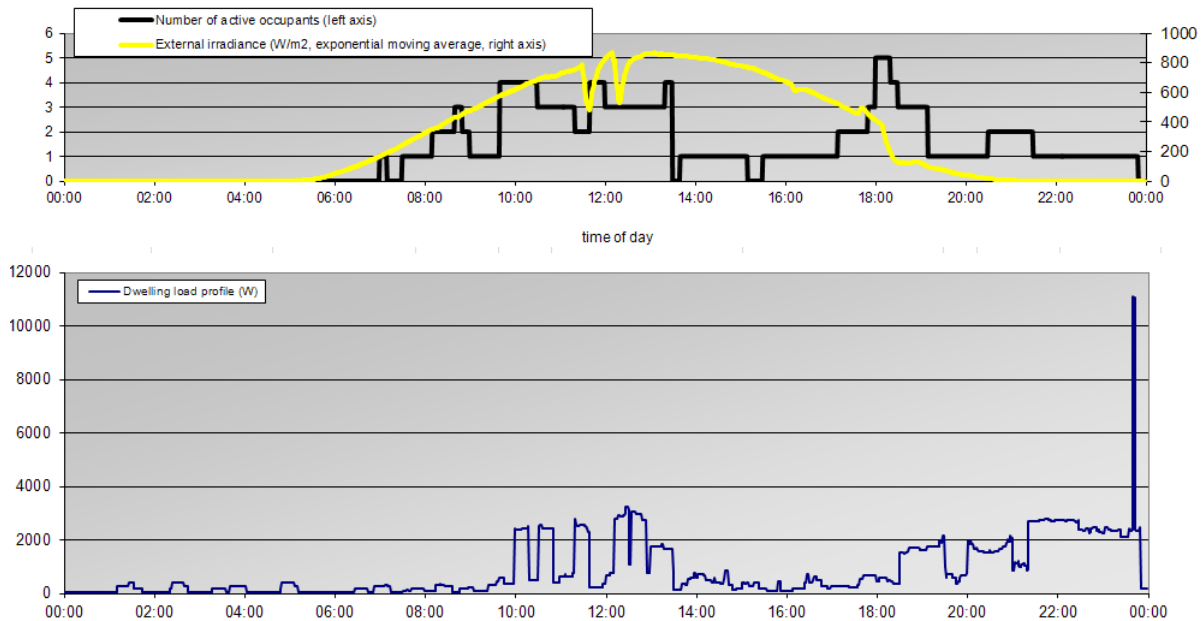
Visando simular a curva de cargas de uma residência e mostrar seu comportamento, o artigo *Simulation of high-resolution domestic electricity demand based on a building occupancy model and its applicability to the study of demand side management* (RICHARDSON I; HODGSON, 2009) descreve a planilha criada pelo autor para simular a curva de demanda residencial a partir do número de ocupantes bem como do mês do ano. Utiliza a probabilidade de utilização dos equipamentos elétricos com base no número de ocupantes e da luminosidade. Ela também possui um algoritmo de aleatoriedade que auxilia a tornar o mais próximo da realidade.

Esta mesma planilha foi utilizada pelo autor em diversos artigos, dentre eles *Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model* (RICHARDSON et al., 2010), onde a mesma foi utilizada para simular múltiplas unidades residenciais e comparado com medições.

Realizando diversas simulações (um exemplo na figura 16), verifica-se que a demanda máxima se encontra quando da utilização do chuveiro no período que possui o aquecimento ligado, no caso do inverno.

No Brasil isto também ocorre, conforme o artigo *Daily Load Profiles for Resi-*

Figura 16 – Simulação de uma residência com cinco ocupantes.



Fonte: (RICHARDSON I; THOMSON, 2010, Planilha)

dential, Commercial and Industrial Low Voltage Consumers (JARDINI et al., 2000, pg. 376) é o chuveiro que ocasiona o pico na demanda. A figura 15, referente à pesquisa de posses e hábitos, também mostra este comportamento, adicionando neste caso o uso de condicionadores de ar e da iluminação em virtude do horário.

Para os cálculos de demanda residencial bem como demanda dos apartamentos individuais, verificou-se uma semelhança nos valores e ambos os cálculos aplicaram apenas o fator de diversidade em iluminação e tomadas. Isto mostra que a previsão para chuveiro elétrico e condicionador de ar estão coerentes com a simulação.

Além disso, os cálculos de demanda mínima do apêndice A realizadas pela NBR 5410 e NEC mostraram valores bem próximos (FILHO, 2012).

6.2 CURVA DE DEMANDA PARA MÚLTIPLAS UNIDADES

Para análise da demanda de múltiplas unidades foram utilizados valores obtidos no estudo de caso contido no apêndice B, cálculo de demanda de prédio com 72 apartamentos localizado em área nobre de Porto Alegre.

A fim de definir a carga total das múltiplas unidades residenciais, foram utilizados os métodos para a determinação de curvas de carga para consumidores residenciais, comerciais e industriais conectados em baixa tensão, baseados em medições de campo (JARDINI et al., 2000). O método utiliza as curvas representativas de cada consumidor, baseado em seu consumo mensal, e as agrega de forma a determinar a carga esperada.

O método parte da curva diária $F(t)$, que pode ser representada assumindo a distribuição normal abaixo (JARDINI et al., 2000):

$$F(t) = \mu(t) + k\sigma(t) \quad (6.1)$$

Sendo

$\mu(t)$	Média
k	Valor da tabela da distribuição normal que estabelece a probabilidade da curva obtida não ser excedida
$\sigma(t)$	Desvio padrão

Abaixo seguem os valores alguns valores de k e suas respectivas probabilidades da curva estimada não ser excedida (JARDINI et al., 2000):

- $k=0 \Rightarrow$ probabilidade de 50%
- $k=1,3 \Rightarrow$ probabilidade de 90%
- $k=2 \Rightarrow$ probabilidade de 98%

Para agregar as curvas, foram utilizadas curvas de carga diária padrão para a faixa de consumo mensal.

Assumindo que existam "p" consumidores do tipo "a" e "q" consumidores do tipo "b", suas curvas de cargas podem ser representadas respectivamente pelas expressões 6.2 e 6.3 (JARDINI et al., 2000).

$$F_i = m_a P_i + k s_a P_i \quad (6.2)$$

$$F_j = m_b P_j + k s_b P_j \quad (6.3)$$

Sendo

P_i e P_j	As potências base de cada consumidor.
m_a e m_b	Médias na base P.U.
s_a e s_b	Desvio padrão na base P.U.

A agregação dos consumidores "p" e "q" serão dados por:

$$M = \sum_{i=l}^p m_a P_i + \sum_{j=l}^q m_b P_j \quad (6.4)$$

$$S^2 = \sum_{i=l}^p (s_a P_i)^2 + \sum_{j=l}^q (s_b P_j)^2 \quad (6.5)$$

Sendo

M Média geral da agregação

S^2 Variância da agregação

A fim de estabelecer a faixa de consumo mensal e sua respectiva curva diária, foi utilizado método do artigo Desenvolvimento de Sistema de Estimativa de Consumo para Recuperação de Receitas (TAHAN et al., 2007). Nele, com base em medições realizadas, foram extraídos equações para o cálculo de fator de demanda e de carga a partir da potência instalada.

Para residência, o fator de demanda foi definida como:

$$FD = 0,0676 \times P_{inst}^{0,1149} \quad (6.6)$$

Já o fator de carga

$$FC = 19,101 \times P_{inst}^{-0,5121} \quad (6.7)$$

O consumo mensal será de

$$C = FD \times FC \times P_{inst} \times 720 \quad (6.8)$$

Para os apartamentos de final 01 e 02 teremos

$$C = 479,00kWh/mês \quad (6.9)$$

Para os apartamentos de final 03 e 04 teremos

$$C = 463,74kWh/mês \quad (6.10)$$

Ambos se encontra na faixa de 300 a 500 kWh/mês, com curva de carga diária definida na figura 40. A partir das curvas dos dias úteis, foram criadas as curvas resultantes em p.u., possibilitando extrair m_a e s_a .

Para obtenção da potência base foi utilizado a expressão abaixo (JARDINI et al., 2000):

$$P_B = \frac{1}{24} \int M(T)dt = \frac{\text{consumo}(kWh)}{24 \times 30} \quad (6.11)$$

Em virtude do tipo de consumidor serem iguais, as equações 6.4 e 6.5 são simplificadas, sendo necessário apenas realizar o somatório das curvas.

De forma a facilitar a análise, foram plotados gráficos (figuras de 17 a 24) conforme consumo mensal médio (de 150 a 500 kWh/mês), contendo 3 valores de o desvio padrão, ou seja, 3 probabilidades da curva estimada não ser excedida.

Nelas é possível verificar que a demanda calculada pelo RIC de BT passa a ser superada a partir do consumo médio de 350 kWh/mês. As figuras 22 a 24 mostram que, independente da probabilidade da curva não ser excedida, seus valores superam a demanda calculada pelo RIC de BT.

Isto mostra que os valores das tabelas 12 (anexo T) e 13 (anexo U), por possuírem valores fixos para cada configuração de unidades residenciais, pode não atender as demandas de apartamentos com alto padrão.

Já os valores obtidos pelo NEC levam em conta os equipamentos instalados nas unidades residenciais, e isso se mostrou eficiente pois em nenhuma das simulações os valores excederam seu valor.

Para resolver a diferença entre os dois cálculos, o RIC de BT poderia utilizar fator de diversidade sobre a soma das demandas calculadas dos apartamentos. O anexo C apresenta a tabela 33 como sugestão de fatores de diversidade para edifícios residenciais, hotéis e flats.

Figura 17 – Curva de carga diária dos apartamentos para 3 valores de desvio padrão com 150kWh/mês.

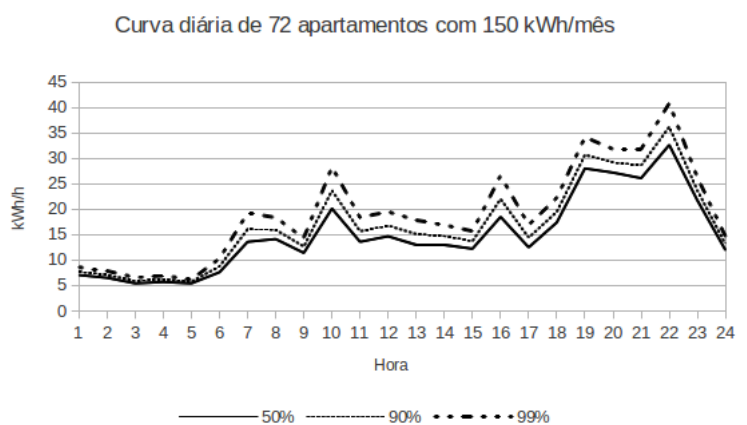


Figura 18 – Curva de carga diária dos apartamentos para 3 valores de desvio padrão com 200kWh/mês.

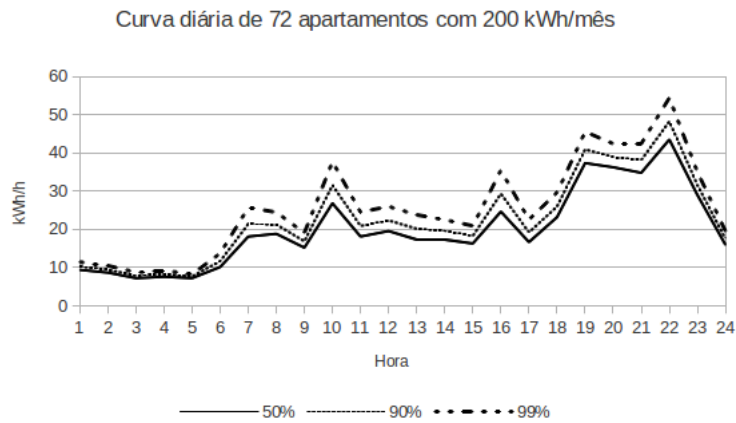


Figura 19 – Curva de carga diária dos apartamentos para 3 valores de desvio padrão com 250kWh/mês.

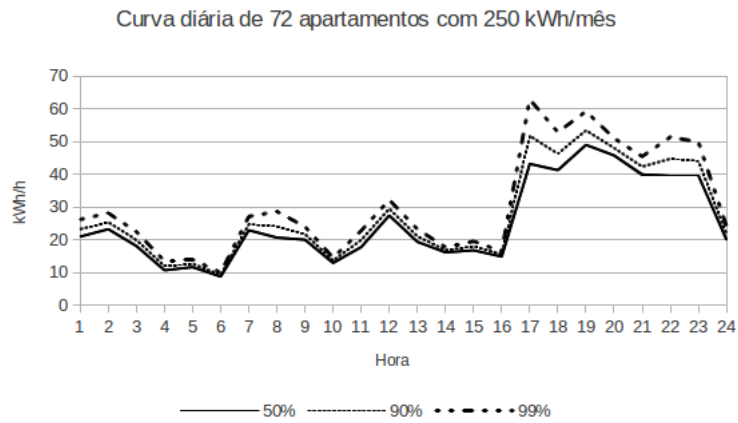


Figura 20 – Curva de carga diária dos apartamentos para 3 valores de desvio padrão com 300kWh/mês.

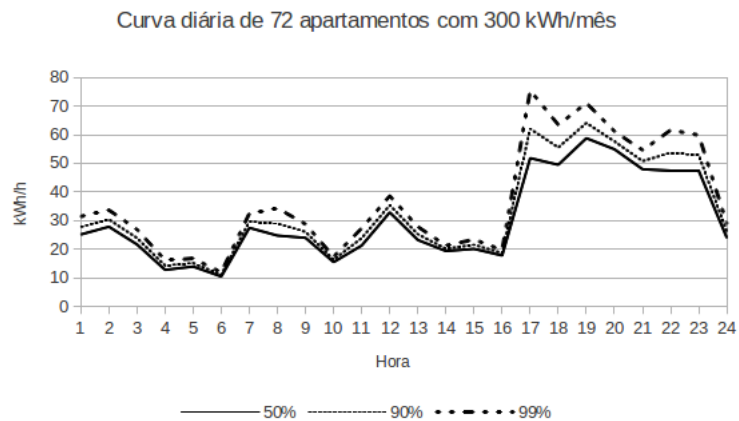


Figura 21 – Curva de carga diária dos apartamentos para 3 valores de desvio padrão com 350kWh/mês.

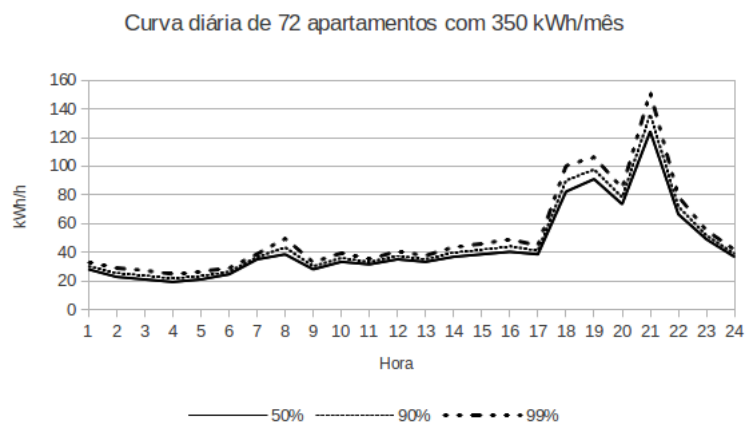


Figura 22 – Curva de carga diária dos apartamentos para 3 valores de desvio padrão com 400kWh/mês.

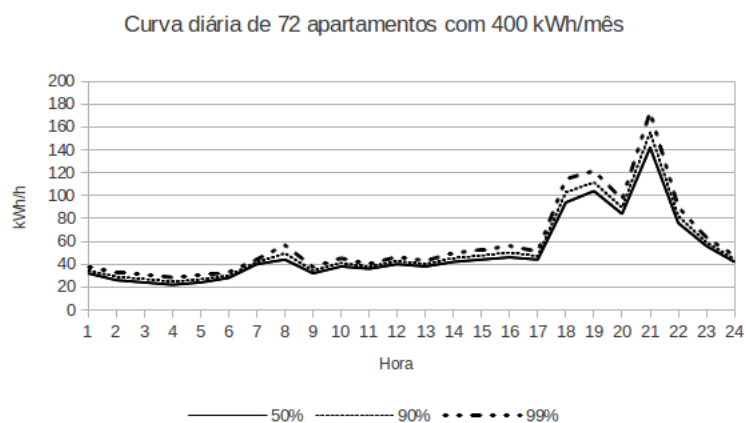


Figura 23 – Curva de carga diária dos apartamentos para 3 valores de desvio padrão com 450kWh/mês.

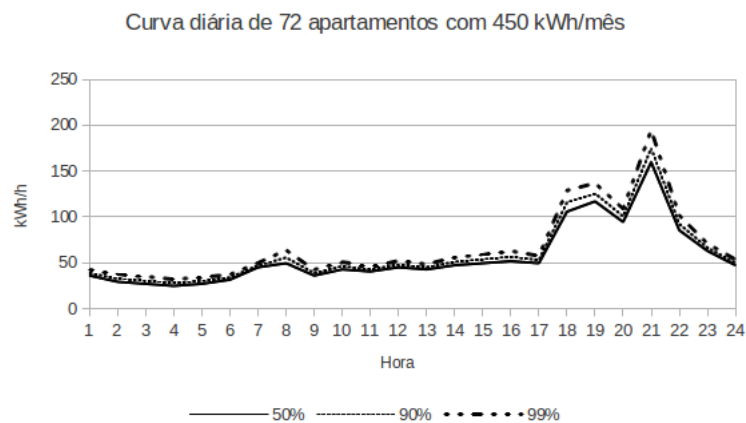
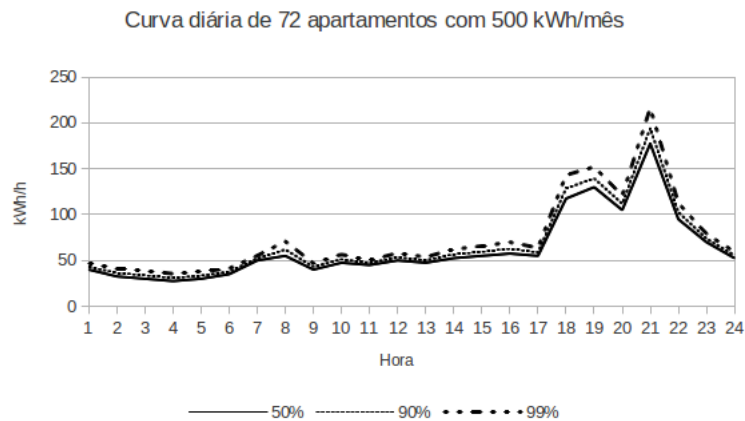


Figura 24 – Curva de carga diária dos apartamentos para 3 valores de desvio padrão com 500kWh/mês.



6.3 CURVAS DE DEMANDA DOS SERVIÇOS DO CONDOMÍNIO

Com relação à demanda definida no apêndice B, foi definido que a iluminação não é utilizada por completo continuamente, possibilitando a aplicação dos fatores de demanda.

Assim como nas curvas de demanda comerciais, o serviço não possui uma curva de comportamento padrão. Ela irá depender de como a instalação foi projetada bem como de seu uso.

Uma opção de cálculo de demanda é a utilizada nos exemplos do NEC (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011, Anexo D). Nele são divididos as cargas das instalações comerciais em cargas de uso contínuo e cargas de uso não contínuo, apenas aplicando os fatores nas cargas não contínuas (como exemplo as tomadas).

7 CONCLUSÕES

O simulador de curvas de carga residencial, a pesquisa de posses e hábitos e a metodologia utilizada para estimar as curvas de carga das múltiplas unidades residenciais foram essenciais para o entendimento do comportamento e na busca dos valores limites de demanda.

Os valores obtidos nos estudos de caso para o cálculo de carga mínimo mostraram similaridades entre os valores obtidos pela NBR 5410 e NEC.

Os cálculos de demanda individuais do RIC de BT e do NEC também convergiram para valores próximos.

Já os valores de demanda do RIC de BT e do NEC para múltiplas unidades residenciais apresentaram uma grande diferença. Uma solução para isso seria a utilização de fatores de diversidade sobre a soma das demandas calculadas dos apartamentos, garantindo um valor coerente com a carga instalada.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir alguns assuntos que podem complementar este trabalho:

- cálculo de demanda para diversos tipos de estabelecimentos comerciais;
- criação de simulador de curva residencial do sul do Brasil a partir de pesquisas de posses e hábitos, clima e estações do ano.

REFERÊNCIAS

- AES/ELETROPAULO. *Livro de Instruções Gerais - Baixa Tensão*. [S.l.], 2007. 103
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5410 Instalações Elétricas de Baixa Tensão*. [S.l.], 2004. 32, 45
- CEEE/AES SUL/RGE. *Regulamento de Instalações Consumidoras. Fornecimento de Tensão Secundária de Distribuição - RIC BT*. [S.l.], 2012. 27, 31, 32, 39, 41, 42, 43, 44
- COTRIM, A. A. M. B. *Instalações elétricas*. [S.l.]: McGraw-Hill do Brasil, 2009. 27, 28, 29, 30
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Consumo anual de energia elétrica por classe (nacional) - 1995-2012*. 2013. Disponível em: <[http://epe.gov.br/mercado/Documents/Box%20Mercado%20de%20Energia-/Consumo%20anual%20de%20energia%20el%C3%A9trica%20por%20classe%20\(nacional\)%20%201995-2012.xls](http://epe.gov.br/mercado/Documents/Box%20Mercado%20de%20Energia-/Consumo%20anual%20de%20energia%20el%C3%A9trica%20por%20classe%20(nacional)%20%201995-2012.xls)>. 24
- FILHO, D. L. L. *Projeto de Instalações Elétricas Prediais*. [S.l.]: Editora Érica, 2012. 24, 27, 28, 29, 30, 64
- FORUM FOR EUROPEAN ELECTRICAL DOMESTIC SAFETY. *Towards improved electrical installations in European homes*. 2004. 35
- FRANCISQUINI, A. *Estimação de Curvas de Carga em Pontos de Consumo e em Transformadores de Distribuição*. 108 p. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2006. 61, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Índice e variação do volume de vendas no comércio varejista, por Unidade da Federação - Fevereiro 2013*. 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/comercio/pmc/pmc_201302_01.shtm>. 25
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *IEC 60364-1 Electrical installations of buildings - Fundamental principles, assessment of general*. 4. ed. [S.l.], 2001. 45
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *IEC 60439-1 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Type-tested and partially type-tested assemblies*. 4.1. ed. [S.l.], 2004. 45
- JARDINI, J. A. et al. Daily load profiles for residential, commercial and industrial low voltage consumers. *Power Delivery, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 15, n. 1, p. 375–380, 2000. 64, 65, 67
- LEGRAND. *International electrical standards e regulations: An Overview of Electrical Installations*. [S.l.], 2012. 23

- NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. *National Electrical Code Handbook*. [S.l.: s.n.], 2011. 36, 50, 51, 53, 70
- O SETOR ELÉTRICO. *Coleção Elétrica: As histórias e os personagens do mundo das instalações elétricas*. [S.l.]: Atitude Editorial, 2008. 23
- PINHO, J. A. M.; SOUZA, R. C.; FROTA, M. N. Desenvolvimento de um algoritmo para estimar curvas de cargas de clientes de uma Concessionária de Energia Elétrica. p. 2–6, 2012. 55, 61
- PROCEL/ ELETROBRÁS. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - Ano Base 2005: Classe Residencial - Relatório Brasil. p. 187, 2007. 55, 63
- PROCEL/ ELETROBRÁS. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - Ano Base 2005: Classe Residencial - Relatório Sul. p. 160, 2007. 55, 56, 57, 58, 59, 60
- RAHDE, S. B. *Modelagem da curva de carga das faixas de consumo de energia elétrica residencial a partir da aplicação de um programa de Gerenciamento de Energia pelo Lado da Demanda*. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) — Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 1998. 91, 92, 93
- RICHARDSON, I. et al. Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model. *Energy and Buildings*, Elsevier, v. 42, n. 10, p. 1878–1887, 2010. 63
- RICHARDSON I; HODGSON, G. T. M. Simulation of high-resolution domestic electricity demand based on a building occupancy model and its applicability to the study of demand side management. 2009. 63
- RICHARDSON I; THOMSON, M. Domestic electricity demand model - simulation example. 2010. Disponível em: <<https://dspace.lboro.ac.uk/2134/5786>>. 64
- SCHNEIDER ELECTRIC. *Electrical Installation Guide 2010*. [S.l.: s.n.], 2009. 35, 45, 46, 47
- TAHAN, C. et al. Desenvolvimento de Sistema de Estimativa de Consumo para Recuperação de Receitas. 2007. 66
- THE INSTITUTION OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY. *On-Site Guide - BS 7671 - IEE Wiring Regulations*. 17. ed. [S.l.: s.n.], 2008. 35, 45, 48

APÊNDICE A – ESTUDO DE CASO: UNIDADES RESIDENCIAIS

Para o primeiro estudo de caso será utilizado os valores da tabela contida na tabela 22, organizado conforme norma ABNT NBR 5410. São valores fictícios, de forma a simular um projeto residencial.

A.1 CÁLCULOS

Tabela 22 – Valores para o exemplo de unidades residenciais.

Depen- dência	Dimensão		Iluminação			T.U.G.			T.U.E.	
	Área	Perím.	Qtd.	Pot. Unit.	Pot. Total	Qtd.	Pot. Unit.	Pot. Total	Aparelho	Pot.
	(m ²)	(m)	Un.	(VA)	(VA)	Un.	(VA)	(VA)		(W)
Dorm. 1	11,05	13,30	1	200	200	6	100	600	-	-
Dorm. 2	10,71	13,10	1	200	200	6	100	600	-	-
Sala	9,91	12,60	1	100	100	6	100	600	-	-
Copa	9,46	12,30	1	100	100	4	600	1900	-	-
Cozinha	11,44	13,60	1	200	200	6	600	2100	Micro-ondas	1300
Banheiro	4,14	8,20	2	100	200	1	600	600	Chuveiro	5000
Área Serv.	5,95	10,30	1	100	100	4	600	1900	-	-
Externa	-	-	7	100	700	-	-	-	-	-
Totais	62,66	83,40	15		1800	33		8300		6300

Fonte: Próprio

Considerando fator de potência unitário e tensão 220/127 V, temos uma potência instalada de 16,4 kVA. Como a potência é superior a 15 kW, deve-se realizar o cálculo de demanda.

Os cálculos de demanda ficam:

- **RIC de BT**

1. Carga Instalada

- a) Iluminação e tomadas: 11,4 kW
- b) Aquecimento: 5 kW
- c) Total: 16,4 kW

2. Compatibilização de carga instalada com previsões mínimas

a) Iluminação e tomadas:

$$30W/m^2 \cdot 62,65m^2 = 1870,5W \quad (A.1)$$

Como $1870,5 W < 11400 W$ continuamos com o valor declarado.

b) Aquecimento: Como não há exigência mínima de aquecimento, mantido o valor de 5 kW.

c) Condicionador de ar tipo “janela”: O valor mínimo a ser adotado é de 1100 VA.

3. Cálculo de demanda

a) Iluminação e tomadas:

$$a = P \cdot FD \cdot FP \quad (A.2)$$

$$a = 11400W \cdot 0,33 \cdot 1 \quad (A.3)$$

$$\mathbf{a = 3672 VA} \quad (A.4)$$

O valor obtido é superior ao mínimo admitido de 2,2 kW por unidade.

b) Aquecimento:

$$b = P \cdot FD \cdot FP \quad (A.5)$$

$$b = 5000W \cdot 1 \cdot 1 \quad (A.6)$$

$$\mathbf{b = 5000 VA} \quad (A.7)$$

c) Condicionador de ar tipo “janela”:

$$c = P \cdot FD \cdot FP \quad (A.8)$$

$$c = 1100W \cdot 1 \cdot 1 \quad (A.9)$$

$$\mathbf{c = 1100 VA} \quad (A.10)$$

d) Total:

$$D(kVA) = (a + b + c) \quad (A.11)$$

$$D(kVA) = (3,67kVA + 5kVA + 1,1kVA) \quad (A.12)$$

$$\mathbf{D(kVA) = 9,77 kVA} \quad (A.13)$$

Conforme verificado na tabela 23, o exemplo atende à quantidade mínima de pontos de iluminação e tomadas, seguindo a NBR 5410.

Tabela 23 – Valores mínimos obtidos com a NBR 5410.

Dependência	Dimensão		Iluminação	T.U.G.	
	Área (m ²)	Perímetro (m)	Mínimo (VA)	Qtd. Un.	Pot. Total (VA)
Dormitório 1	11,05	13,30	160,00	3	300,00
Dormitório 2	10,71	13,10	160,00	3	300,00
Sala	9,91	12,60	100,00	3	300,00
Copa	9,46	12,30	100,00	4	1900,00
Cozinha	11,44	13,60	160,00	4	1900,00
Banheiro	4,14	8,20	100,00	1	600,00
Área de Serviço	5,95	10,30	100,00	3	1800,00
Externa	-	-	-	-	-
Totais	62,66	83,40	880,00	21	7100,00

Fonte: Próprio

• NEC

1. Carga Instalada

- a) Iluminação e tomadas: 11,4 kW
- b) Aquecimento: 5 kW
- c) Total: 16,4 kW

2. Compatibilização de carga instalada com previsões mínimas

- a) Iluminação e tomadas:

$$33W/m^2 \cdot 62,66m^2 = 2067,78W \quad (A.14)$$

Temos ainda dois circuitos para a cozinha e um para a área de serviços, totalizando 4500 W

Como $6567,78 W < 11400 W$ continuamos com o valor declarado.

- b) Aquecimento: Como não há exigência mínima de aquecimento, mantido o valor de 5 kW.

3. Cálculo de demanda

- a) Iluminação e tomadas:

$$3000 + (11400 - 3000) \cdot 0,35 = 5940VA \quad (A.15)$$

- b) Aquecimento:
Mantido o valor, sem redução.
- c) Total:

$$D(kVA) = (a + b) \quad (A.16)$$

$$D(kVA) = (5,94kVA + 5kVA) \quad (A.17)$$

$$D(kVA) = 10,94 \text{ kVA} \quad (A.18)$$

A.2 COMPARAÇÃO DOS VALORES

Tabela 24 – Valores obtidos para unidade residencial.

	Potência Instalada	Carga Mínima	Demanda Máxima
NBR 5410	16,40 kW	7,98 kW	-
RIC BT	16,40 kW	3,30 kW	9,77 kVA
NEC	16,40 kW	6,57 kW	10,94 kVA

Fonte: Próprio

APÊNDICE B – ESTUDO DE CASO: MÚLTIPLAS UNIDADES RESIDENCIAIS

Para possibilitar cálculos comparativos, serão apresentados os cálculos de demanda para um prédio composto de 72 apartamentos. Os valores foram extraídos de projeto real, sendo que o prédio já se encontra em funcionamento. Os primeiros cálculos serão os valores das demandas individuais, ou seja, a demanda dos apartamentos com finais 01 e 02 (com 125 m²), dos apartamentos 03 e 04 (com 106 m²) e do serviço. Depois serão realizados os cálculos de demanda geral do prédio.

B.1 CÁLCULO DE DEMANDA PARA OS APARTAMENTOS DE FINAIS 01 E 02

- **RIC de BT**

1. Carga Instalada:

- a) Iluminação e tomadas: 17,95 kW
- b) Aquecimento: 6,00 kW
- c) Condicionadores de Ar: 7,60 kW

Total: 31,55 kW

2. Compatibilização de carga instalada com previsões mínimas

- a) Iluminação e tomadas:

$$30W/m^2 \cdot 125m^2 = 3,75kW \quad (B.1)$$

Como 3,75 kW < 17,95 kW continuamos com o valor declarado.

- b) Aquecimento:

Como não há exigência mínima de aquecimento, mantido o valor de 6,00 kW.

- c) Condicionador de ar tipo “janela”:

Como não há exigência mínima, mantido os 7,60 kW.

3. Cálculo de demanda

a) Iluminação e tomadas:

$$a = P \cdot FD \quad (\text{B.2})$$

$$a = 17,95kW \cdot 0,28 \quad (\text{B.3})$$

$$\mathbf{a = 5,03 kVA} \quad (\text{B.4})$$

b) Aquecimento:

$$b = P \cdot FD \quad (\text{B.5})$$

$$b = 6,00kW \cdot 1 \quad (\text{B.6})$$

$$\mathbf{b = 6,00 kVA} \quad (\text{B.7})$$

c) Condicionador de ar tipo “janela”:

$$c = P \cdot FD \quad (\text{B.8})$$

$$c = 7,6kW \cdot 1 \quad (\text{B.9})$$

$$\mathbf{c = 7,60 kVA} \quad (\text{B.10})$$

Total:

$$D(kVA) = (a + b + c) \quad (\text{B.11})$$

$$D(kVA) = (5,03kVA + 6,00kVA + 7,60kVA) \quad (\text{B.12})$$

$$\mathbf{D(kVA) = 18,63 kVA} \quad (\text{B.13})$$

• NEC

1. Carga Instalada:

a) Iluminação e tomadas: 17,95 kW

b) Aquecimento: 6,00 kW

c) Condicionadores de Ar: 7,60 kW

Total: 31,55 kW

2. Compatibilização de carga instalada com previsões mínimas:

a) Iluminação e tomadas:

$$33W/m^2 \cdot 125m^2 = 4,13kW \quad (\text{B.14})$$

Temos ainda dois circuitos para a cozinha e um para a área de serviços, totalizando 4,5 kW

Como $8,63 \text{ kW} < 17,95 \text{ kW}$ continuamos com o valor declarado.

b) Aquecimento:

Como não há exigência mínima de aquecimento, mantido o valor de 6 kW.

c) Condicionador de ar tipo “janela”:

Como não há exigência mínima, mantido os 7,60 kW.

3. Cálculo de demanda

a) Iluminação e tomadas:

$$3kVA + (17,95kVA - 3kVA) \cdot 0,35 = 8,23kVA \quad (\text{B.15})$$

b) Aquecimento:

Mantido o valor, sem redução.

c) Condicionador de ar tipo “janela”:

Mantido o valor, sem redução.

Total:

$$D(kVA) = (a + b + c) \quad (\text{B.16})$$

$$D(kVA) = (8,23kVA + 6,00kVA + 7,60kVA) \quad (\text{B.17})$$

$$D(kVA) = \mathbf{21,83 \text{ kVA}} \quad (\text{B.18})$$

B.2 CÁLCULO DE DEMANDA PARA OS APARTAMENTOS DE FINAIS 03 E 04

• RIC de BT

1. Carga Instalada:

a) Iluminação e tomadas: 15,80 kW

b) Aquecimento: 6,00 kW

c) Condicionadores de Ar: 8,10 kW

Total: 29,90 kW

2. Compatibilização de carga instalada com previsões mínimas

a) Iluminação e tomadas:

$$30W/m^2 \cdot 106m^2 = 3,18kW \quad (B.19)$$

Como $3,18 \text{ kW} < 15,80 \text{ kW}$ continuamos com o valor declarado.

b) Aquecimento:

Como não há exigência mínima de aquecimento, mantido o valor de $6,00 \text{ kW}$.

c) Condicionador de ar tipo “janela”:

Como não há exigência mínima, mantido os $8,10 \text{ kW}$.

3. Cálculo de demanda

a) Iluminação e tomadas:

$$a = P \cdot FD \quad (B.20)$$

$$a = 15,80kW \cdot 0,28 \quad (B.21)$$

$$\mathbf{a = 4,42 \text{ kVA}} \quad (B.22)$$

b) Aquecimento:

$$b = P \cdot FD \quad (B.23)$$

$$b = 6,00kW \cdot 1 \quad (B.24)$$

$$\mathbf{b = 6,00 \text{ kVA}} \quad (B.25)$$

c) Condicionador de ar tipo “janela”:

$$c = P \cdot FD \quad (B.26)$$

$$c = 8,10kW \cdot 1 \quad (B.27)$$

$$\mathbf{c = 8,10 \text{ kVA}} \quad (B.28)$$

Total:

$$D(kVA) = (a + b + c) \quad (B.29)$$

$$D(kVA) = (4,42kVA + 6,00kVA + 8,10kVA) \quad (B.30)$$

$$\mathbf{D(kVA) = 18,52 \text{ kVA}} \quad (B.31)$$

- **NEC**

1. Carga Instalada:

- a) Iluminação e tomadas: 15,80 kW
- b) Aquecimento: 6,00 kW
- c) Condicionadores de Ar: 8,10 kW

Total: 29,90 kW

2. Compatibilização de carga instalada com previsões mínimas:

- a) Iluminação e tomadas:

$$33W/m^2 \cdot 106m^2 = 3,50kW \quad (B.32)$$

Temos ainda dois circuitos para a cozinha e um para a área de serviços, totalizando 4,5 kW

Como $8,00 \text{ kW} < 15,80 \text{ kW}$ continuamos com o valor declarado.

- b) Aquecimento:
Como não há exigência mínima de aquecimento, mantido o valor de 6 kW.
- c) Condicionador de ar tipo “janela”:
Como não há exigência mínima, mantido os 8,10 kW.

3. Cálculo de demanda

- a) Iluminação e tomadas:

$$3kVA + (15,80kVA - 3kVA) \cdot 0,35 = 7,48kVA \quad (B.33)$$

- b) Aquecimento:
Mantido o valor, sem redução.
- c) Condicionador de ar tipo “janela”:
Mantido o valor, sem redução.

Total:

$$D(kVA) = (a + b + c) \quad (B.34)$$

$$D(kVA) = (7,48kVA + 6,00kVA + 8,10kVA) \quad (B.35)$$

$$\mathbf{D(kVA) = 21,58 kVA} \quad (B.36)$$

B.3 CÁLCULO DE DEMANDA DOS SERVIÇOS DO CONDOMÍNIO

- RIC de BT

1. Carga Instalada:

a) Iluminação e tomadas: 53,27 kW

b) Aquecimento: 3 x 6,00 kW = 18,00 kW

c) Condicionadores de Ar: 1,50 kW

d) Motores:

Potência nominal dos motores

i. 2 motores de 6,50 CVs:

$$2 \times 6,50CVs \times 735,5W = 9,56kW \quad (B.37)$$

ii. 4 motores de 2,00 CVs: 4 x 2,00 CVs

$$4 \times 2,00CVs \times 735,5W = 5,88kW \quad (B.38)$$

Total: 88,22 kW

2. Compatibilização de carga instalada com previsões mínimas :

Como não há descrição da área de serviços no projeto, mantidas as potências instaladas para o cálculo.

3. Cálculo de demanda

a) Iluminação e tomadas:

$$a = P \cdot FD \quad (B.39)$$

$$a = 53,27kW \cdot 0,86 \quad (B.40)$$

$$\mathbf{a = 45,81 kVA} \quad (B.41)$$

b) Aquecimento:

$$b = P \cdot FD \quad (B.42)$$

$$b = 18,00kW \cdot 0,7 \quad (B.43)$$

$$\mathbf{b = 12,60 kVA} \quad (B.44)$$

c) Condicionador de ar tipo “janela”:

$$c = P \cdot FD \quad (\text{B.45})$$

$$c = 1,50kW \cdot 1 \quad (\text{B.46})$$

$$\mathbf{c = 1,50 kVA} \quad (\text{B.47})$$

d) Motores:

i. 2 motores de 6,50 CVs: $2 \times 6,40 \text{ kVA} = 12,80 \text{ kVA}$

ii. 4 motores de 2,00 CVs: $4 \times 2,60 \text{ kVA} = 10,40 \text{ kVA}$

$$e = P \cdot FD \quad (\text{B.48})$$

$$e = 23,20kVA \cdot 0,7 \quad (\text{B.49})$$

$$\mathbf{e = 16,24 kVA} \quad (\text{B.50})$$

Total:

$$D(kVA) = (a + b + c + e) \quad (\text{B.51})$$

$$D(kVA) = (45,81kVA + 12,60kVA + 1,50kVA + 16,24kVA) \quad (\text{B.52})$$

$$\mathbf{D(kVA) = 76,15 kVA} \quad (\text{B.53})$$

• NEC

1. Carga Instalada:

a) Iluminação e tomadas: 53,27 kW

b) Aquecimento: $3 \times 6,00 \text{ kW} = 18,00 \text{ kW}$

c) Condicionadores de Ar: 1,50 kW

d) Motores:

Potência nominal dos motores (com fator de potência 0,9)

i. 2 motores de 6,50 CVs:

$$2 \times 6,50CVs \times 735,5W = 9,56kW \quad (\text{B.54})$$

ii. 4 motores de 2,00 CVs: $4 \times 2,00 \text{ CVs}$

$$4 \times 2,00CVs \times 735,5W = 5,88kW \quad (\text{B.55})$$

Total: 88,22 kW

2. Compatibilização de carga instalada com previsões mínimas :

Como não há descrição da área de serviços no projeto, mantidas as potências instaladas para o cálculo.

3. Cálculo de demanda

a) Iluminação e tomadas:

$$10,00kVA + (53,27kVA - 10,00kVA) \cdot 0,5 = 31,64kVA \quad (B.56)$$

b) Aquecimento:

Como são apenas 3 chuveiros, não se aplica o fator de 75%. Mantido o valor de 18,00 kW.

c) Condicionador de ar tipo “janela”:

Mantido o valor, sem redução.

d) Motores:

Potência nominal dos motores (com fator de potência 0,9)

i. 2 motores de 6,50 CVs:

$$\frac{2 \times 6,50CVs \times 735,5W}{0,9} = 10,62kVA \quad (B.57)$$

ii. 4 motores de 2,00 CVs: 4 x 2,00 CVs = 10,40 kVA

$$\frac{4 \times 2,00CVs \times 735,5W}{0,9} = 6,54kVA \quad (B.58)$$

Total:

$$D(kVA) = (a + b + c + e) \quad (B.59)$$

$$D(kVA) = (31,64kVA + 18,00kVA + 1,50kVA + 17,16kVA) \quad (B.60)$$

$$D(kVA) = \mathbf{68,30 kVA} \quad (B.61)$$

B.4 CÁLCULO DE DEMANDA DO PRÉDIO

• RIC de BT

1. Carga Instalada:

a) Apartamentos 01 e 02: $36 \times 31,55 \text{ kW} = 1135,80 \text{ kW}$

b) Apartamentos 01 e 02: $36 \times 29,90 \text{ kW} = 1076,40 \text{ kW}$

c) Serviços: 88,22 kW

Total: 2300,42 kW

2. Cálculo de demanda:

Utilizando a expressão 8 para definição das demandas,

$$D_{edifício} = D_{aptos} + D_{condomínio} \quad (B.62)$$

a) Demanda dos apartamentos

Utilizando a média das área dos apartamentos, obtêm-se a demanda dos apartamentos (tabela 12)

$$F_1 = 2,45kVA \quad (B.63)$$

A partir da quantidade de apartamentos (tabela 13)

$$F_2 = 47,66 \quad (B.64)$$

Utilizando a expressão 9

$$D_{aptos} = 1,2 \cdot 2,45kVA_1 \cdot 47,66 \quad (B.65)$$

$$D_{aptos} = 140,12kVA \quad (B.66)$$

b) Demanda do serviço

$$D_{condomínio} = 76,15kVA \quad (B.67)$$

Total

$$D_{edifício} = 216,27kVA \quad (B.68)$$

• **NEC**

1. Carga Instalada:

a) Iluminação e tomadas dos apartamentos: $36 \times 17,95 \text{ kW} + 36 \times 15,80 \text{ kW} = 1215,00 \text{ kW}$

b) Aquecimento dos apartamentos: $72 \times 6,00 \text{ kW} = 432,00 \text{ kW}$

c) Condicionadores de ar dos apartamentos: $36 \times 7,60 \text{ kW} + 36 \times 8,10 \text{ kW} = 565,20 \text{ kW}$

d) Serviços do prédio: 88,22 kW

Total: 2300,42 kW

2. Cálculo de demanda

Em virtude da quantidade de chuveiros e condicionadores de ar o cálculo padrão ficaria muito alto. Então foi utilizado o cálculo alternativo conforme tabela 21. Foi assumido a potência de um fogão elétrico de 8,00 kVA.

- a) Iluminação e tomadas dos apartamentos:
- i. $33 \text{ VA/m}^2 \times (106 \text{ m}^2 + 125 \text{ m}^2) \times 36 = 274,43 \text{ kVA}$
 - ii. $4,50 \text{ kVA} \times 72 = 324,00 \text{ kVA}$
- b) Aquecimento dos apartamentos: $72 \times 6,00 \text{ kVA} = 432,00 \text{ kVA}$
- c) Condicionadores de ar dos apartamentos: $36 \times 7,60 \text{ kVA} + 36 \times 8,10 \text{ kVA} = 565,20 \text{ kVA}$
- d) Fogão Elétrico: $8,00 \text{ kVA} \times 72 = 576,00 \text{ kVA}$

$$D_{aptos} = 0,23 \times 2171,63 \text{ kVA} = 499,48 \text{ kVA} \quad (\text{B.69})$$

Para a demanda do serviço do prédio, utilizado o valor anteriormente calculado.

$$D_{condomínio} = 68,30 \text{ kVA} \quad (\text{B.70})$$

Total:

$$D_{edifício} = 567,78 \text{ kVA} \quad (\text{B.71})$$

B.5 COMPARAÇÃO DOS VALORES

Tabela 25 – Valores obtidos para múltiplas unidades residenciais

Situação de Cálculo	Potência Instalada	Demanda Máxima	
		RIC BT	NEC
Apartamentos final 1 e 2	31,55 kW	18,63 kVA	21,83 kVA
Apartamentos final 3 e 4	29,90 kW	18,52 kVA	21,58 kVA
Serviços do condomínio	88,22 kW	76,15 kVA	68,30 kVA
Prédio	2300,42 kW	216,27 kVA	567,78 kVA

Fonte: Próprio

APÊNDICE C – TABELA RESUMO DAS NORMAS E REGULAMENTO

Tabela 26 – Tabela resumo das normas e regulamento.

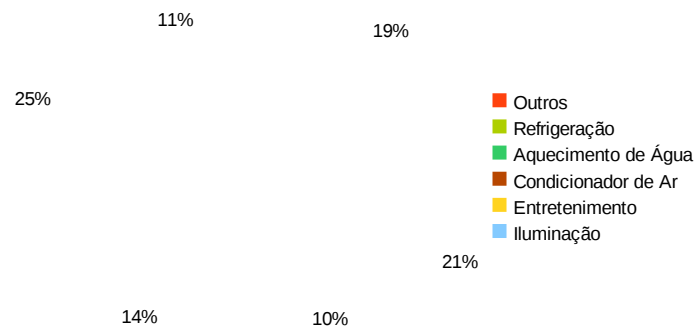
Norma ou Regulamento	Previsão de Carga Mínima	Demanda Máxima
IEC 60364	Não específica	Não específica
NEC	Específica	Específica
NBR 5410	Específica	Não específica
RIC de BT	Específica	Específica

Fonte: Próprio

ANEXO A – CONSUMO RESIDENCIAL NA REGIÃO ATENDIDA PELA CEEE

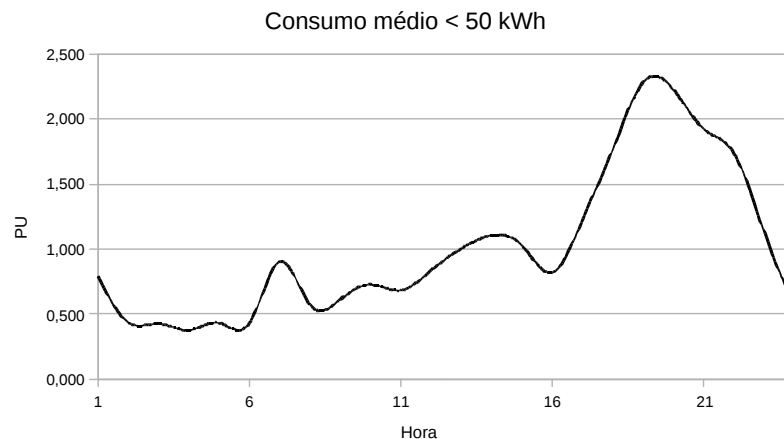
Para gerar um comparativo, foram extraídos os percentuais encontrados na dissertação de mestrado (RAHDE, 1998) na região de abrangência da CEEE no Rio Grande do Sul (figura 25). Verifica-se que o percentual de consumo do chuveiro aumentou, possivelmente pela elevação da potência dos equipamentos, um aumento no consumo por parte do crescimento do número de condicionadores de ar, e uma redução na parcela de iluminação possivelmente causada pela introdução das lâmpadas fluorescentes.

Figura 25 – Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial na região atendida pela CEEE.



Fonte: (RAHDE, 1998)

Figura 26 – Curva de carga para consumo médio residencial inferior a 50 kWh.



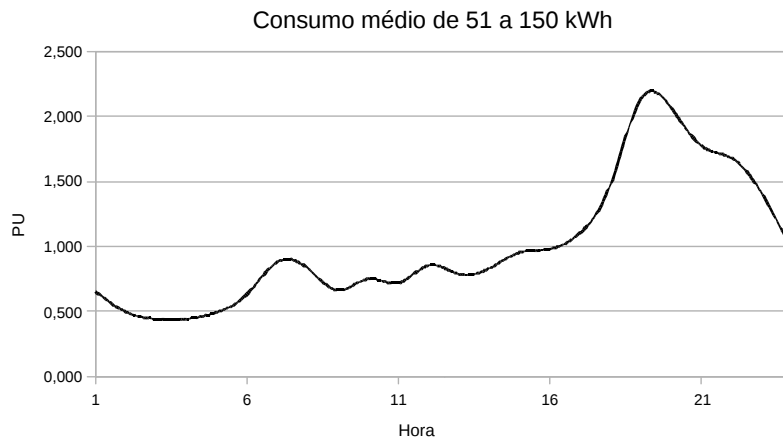
Fonte: (RAHDE, 1998)

Tabela 27 – Curva de demanda da CEEE conforme faixa de consumo.

Hora	< 50 kWh		51 a 150 kWh		151 a 300 k Wh		301 a 500 kWh		>500 kWh	
	PU	MW	PU	MW	PU	MW	PU	MW	PU	MW
1	0,791	3,03	0,652	32,96	0,640	59,75	0,795	41,71	0,800	32,93
2	0,434	1,66	0,496	25,07	0,520	48,54	0,658	34,52	0,610	25,05
3	0,425	1,63	0,440	22,24	0,492	45,93	0,627	32,89	0,610	24,84
4	0,375	1,44	0,441	22,29	0,482	45,00	0,598	31,37	0,590	24,06
5	0,431	1,65	0,493	24,92	0,482	45,00	0,613	32,16	0,500	20,53
6	0,430	1,65	0,632	31,95	0,539	50,32	0,674	35,36	0,630	25,87
7	0,903	3,46	0,879	44,43	0,855	79,82	0,791	41,50	0,860	35,11
8	0,570	2,19	0,831	42,00	0,780	72,82	0,778	40,82	0,800	32,68
9	0,612	2,35	0,661	33,41	0,858	80,10	0,835	43,81	1,090	44,59
10	0,725	2,78	0,750	37,91	0,829	77,39	0,889	46,64	1,090	44,59
11	0,682	2,61	0,718	36,29	0,790	73,75	0,892	46,80	0,980	40,28
12	0,836	3,20	0,854	43,17	1,071	99,98	0,919	48,21	0,870	35,56
13	1,004	3,85	0,786	39,73	0,949	88,59	0,960	50,37	0,950	38,80
14	1,106	4,24	0,831	42,00	0,907	84,67	0,863	45,28	0,910	37,45
15	1,024	3,93	0,953	48,17	0,846	78,98	0,803	42,13	0,920	37,86
16	0,820	3,14	0,980	49,54	0,938	87,57	0,807	42,34	1,040	42,50
17	1,232	4,72	1,105	55,85	1,012	94,48	0,917	48,11	1,020	41,72
18	1,772	6,79	1,482	74,91	1,369	127,80	1,213	63,64	1,240	51,00
19	2,286	8,76	2,136	107,97	1,908	178,12	1,920	100,73	1,560	63,89
20	2,224	8,53	2,064	104,33	1,927	179,89	1,901	99,73	1,680	68,94
21	1,922	7,37	1,773	89,62	1,829	170,75	1,713	89,87	1,510	61,84
22	1,732	6,64	1,678	84,82	1,636	152,73	1,523	79,90	1,540	63,23
23	1,121	4,30	1,402	70,87	1,390	129,76	1,296	67,99	1,260	51,57
24	0,546	2,09	0,962	48,63	0,952	88,87	1,018	53,41	0,990	40,69

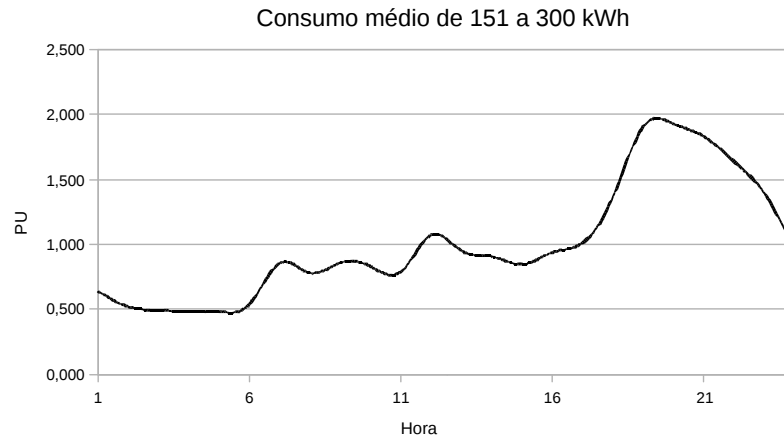
Fonte: (RAHDE, 1998)

Figura 27 – Curva de carga para consumo médio residencial entre 51 e 150 kWh.



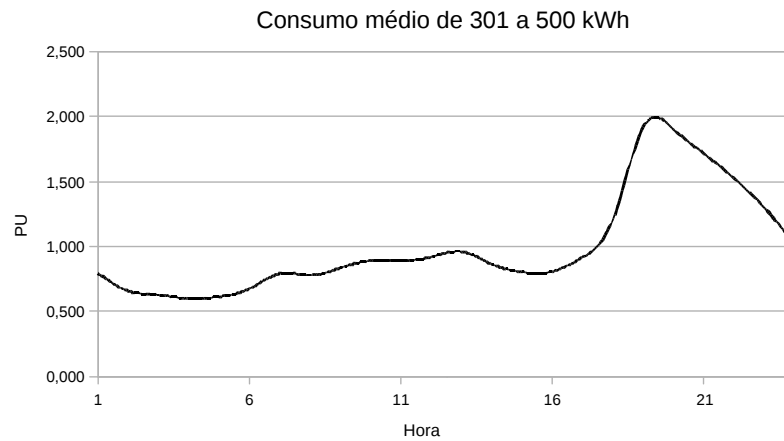
Fonte: (RAHDE, 1998)

Figura 28 – Curva de carga para consumo médio residencial entre 151 e 300 kWh.



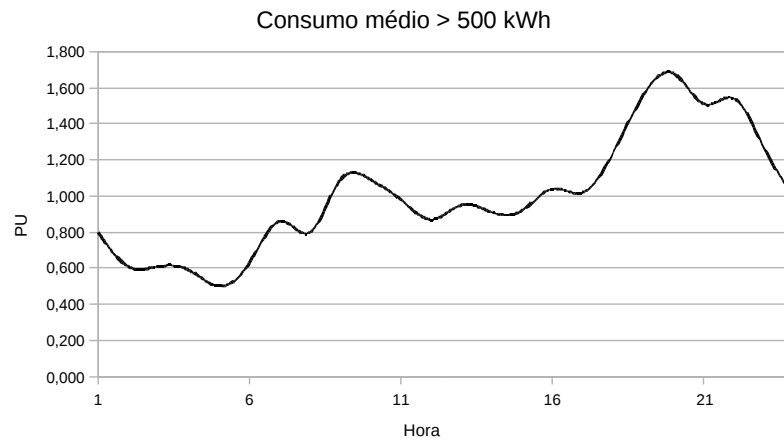
Fonte: (RAHDE, 1998)

Figura 29 – Curva de carga para consumo médio residencial entre 301 e 500 kWh.



Fonte: (RAHDE, 1998)

Figura 30 – Curva de carga para consumo médio residencial maior que 500 kWh.



Fonte: (RAHDE, 1998)

ANEXO B – CURVAS DE CARGA OBTIDAS POR MEDIÇÃO DIRETA

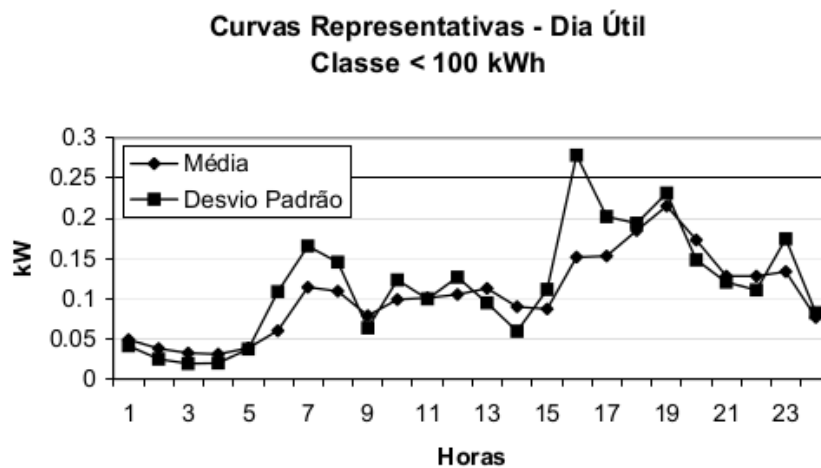
- CONSUMIDORES RESIDENCIAIS

Tabela 28 – Consumidores da classe de consumo menor que 100 kWh/mês.

Consumidor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
kWh/mês	87	75	37	44	94	90	51	66	93	83	91	100	72	49	29

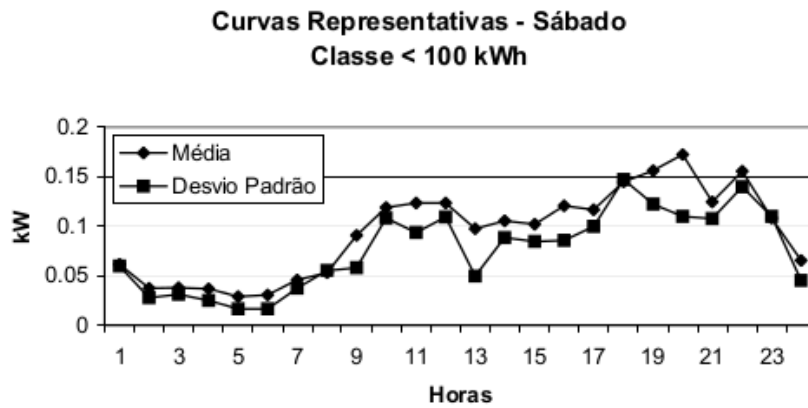
Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Figura 31 – Curva de carga em dia útil para consumo médio residencial menor que 100 kWh.



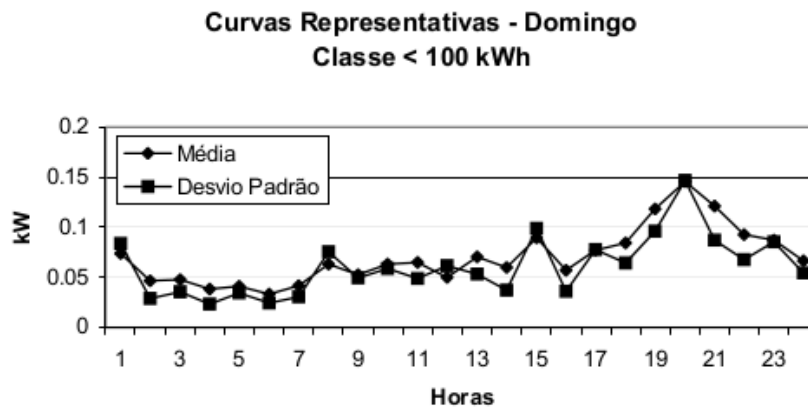
Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Figura 32 – Curva de carga no sábado para consumo médio residencial menor que 100 kWh.



Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Figura 33 – Curva de carga no Domingo para consumo médio residencial menor que 100 kWh.



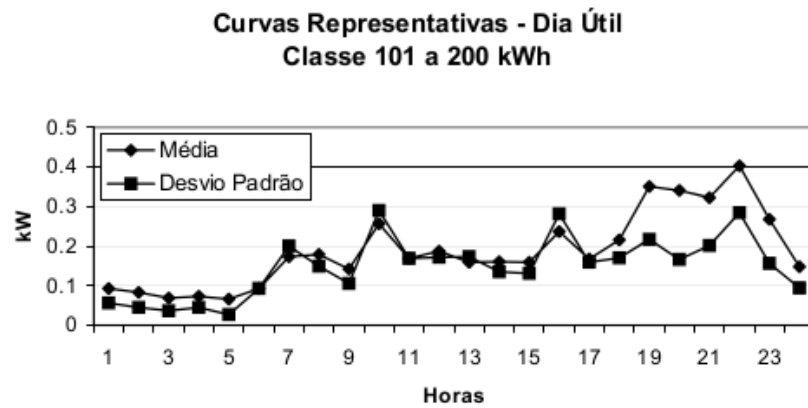
Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Tabela 29 – Consumidores da classe de consumo de 101 a 200 kWh/mês.

Consumidor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
kWh/mês	148	174	132	186	91	129	107	143	195	142	141	128	150

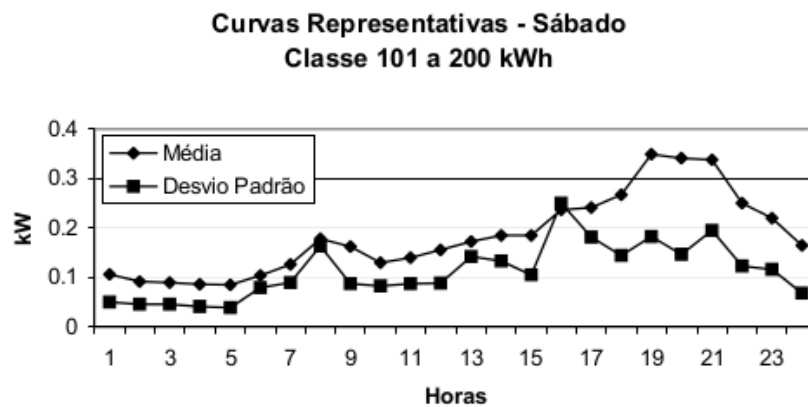
Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Figura 34 – Curva de carga em dia útil para consumo médio residencial de 101 a 200 kWh.



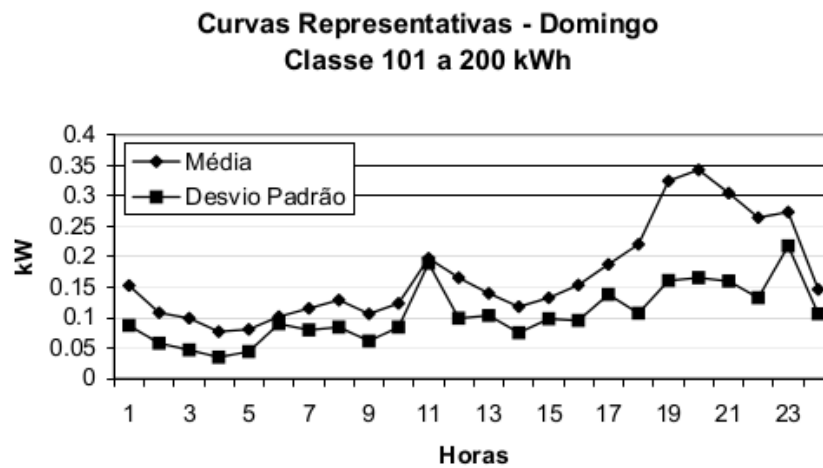
Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Figura 35 – Curva de carga no sábado para consumo médio residencial de 101 a 200 kWh.



Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Figura 36 – Curva de carga no Domingo para consumo médio residencial de 101 a 200 kWh.



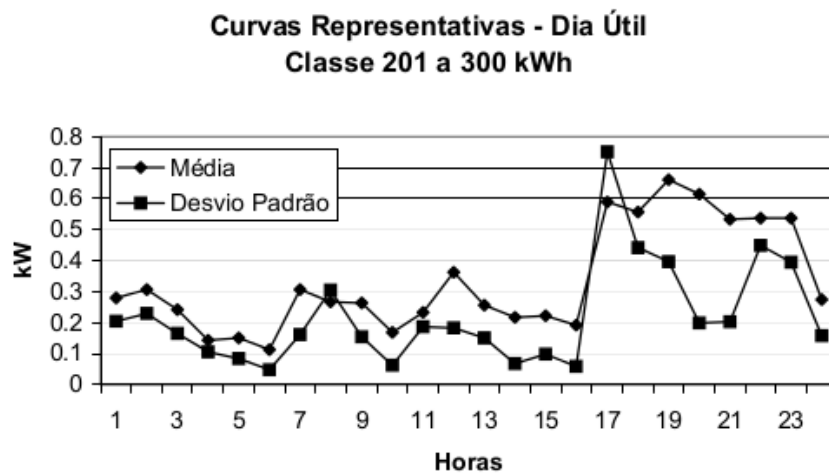
Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Tabela 30 – Consumidores da classe de consumo de 201 a 300 kWh/mês.

Consumidor	1	2	3	4	5	6	7
kWh/mês	152	251	282	249	214	229	251

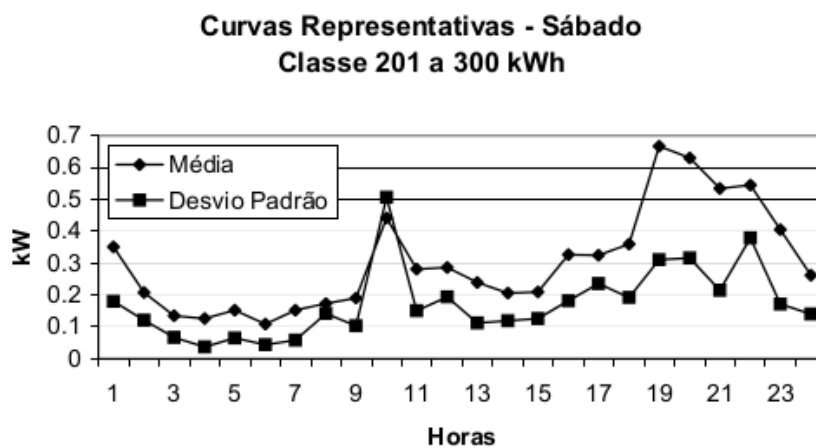
Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Figura 37 – Curva de carga em dia útil para consumo médio residencial de 201 a 300 kWh.



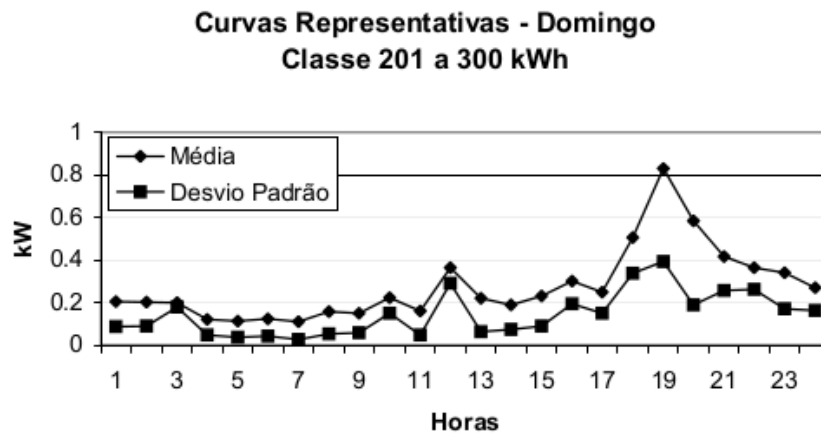
Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Figura 38 – Curva de carga no sábado para consumo médio residencial de 201 a 300 kWh.



Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Figura 39 – Curva de carga no Domingo para consumo médio residencial de 201 a 300 kWh.



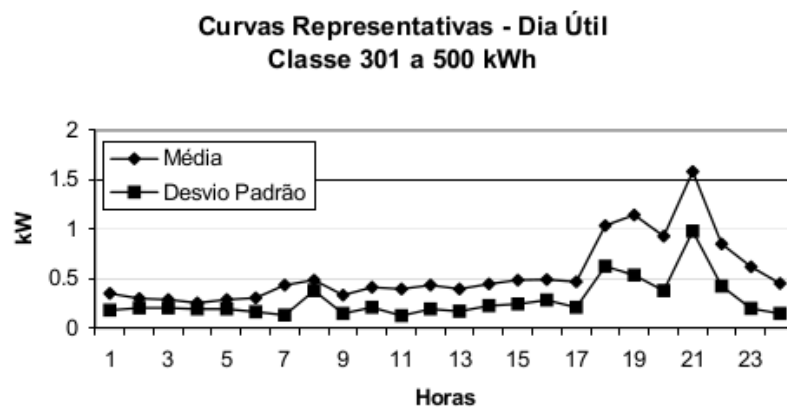
Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Tabela 31 – Consumidores da classe de consumo de 301 a 500 kWh/mês.

Consumidor	1	2	3	4	5	6	7	8	9
kWh/mês	329	339	469	386	373	372	461	390	315

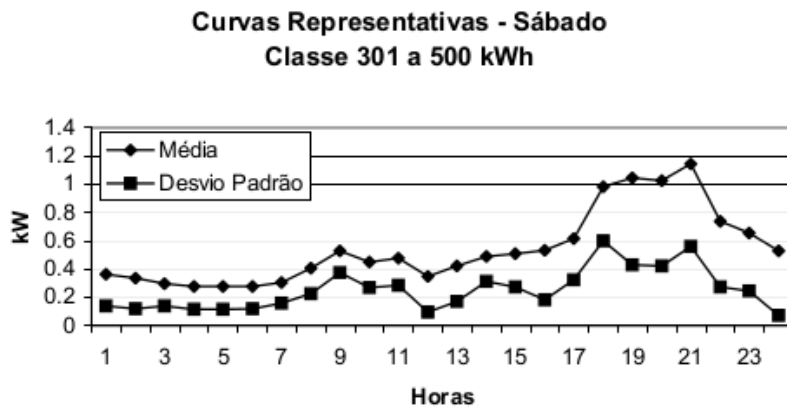
Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Figura 40 – Curva de carga em dia útil para consumo médio residencial de 301 a 500 kWh.



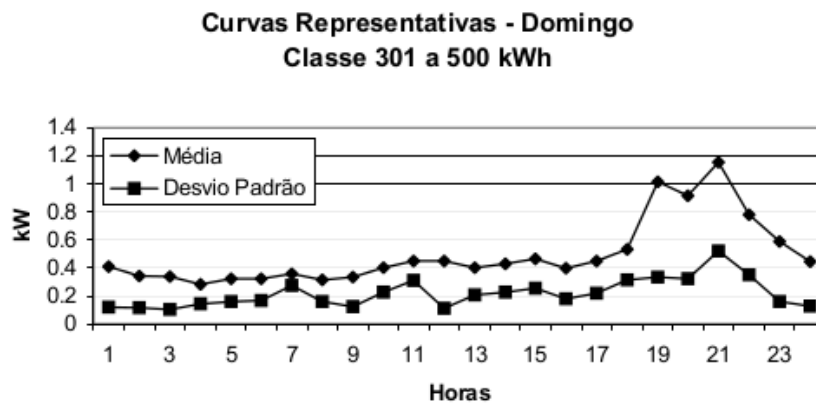
Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Figura 41 – Curva de carga no sábado para consumo médio residencial de 301 a 500 kWh.



Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Figura 42 – Curva de carga no Domingo para consumo médio residencial de 301 a 500 kWh.



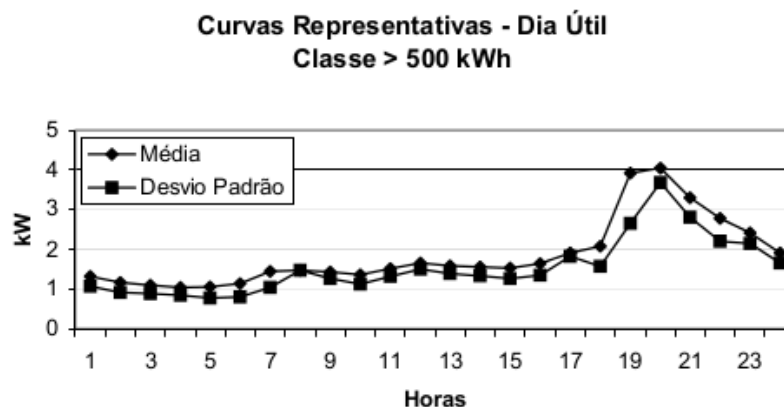
Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Tabela 32 – Consumidores da classe de consumo maior que 500 kWh/mês.

Consumidor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
kWh/mês	1002	1510	647	2040	775	563	883	630	1256	772	912	532

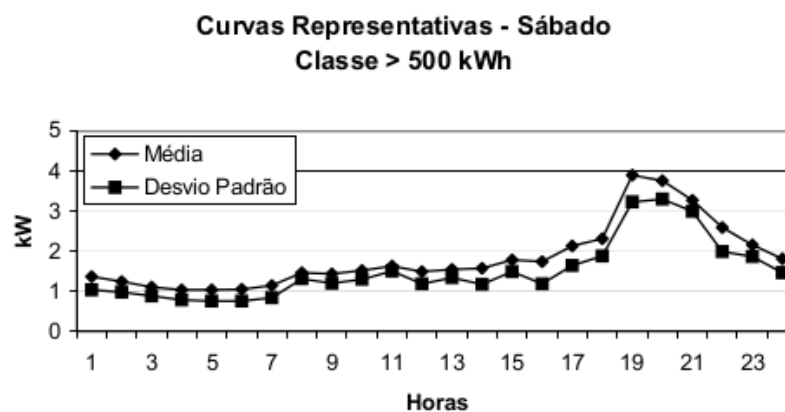
Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Figura 43 – Curva de carga em dia útil para consumo médio residencial maior que 500 kWh.



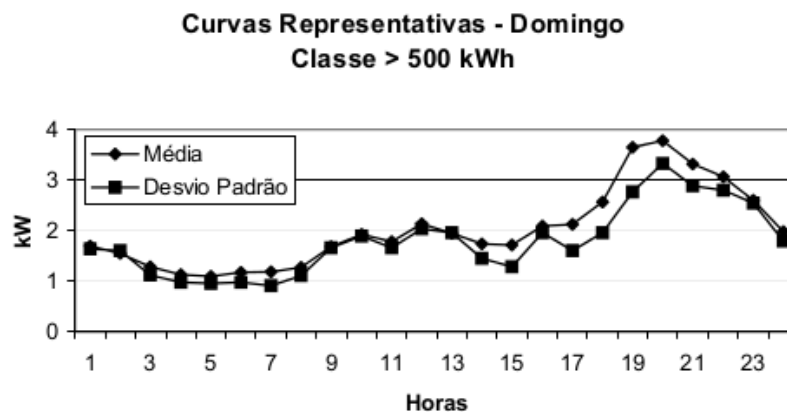
Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Figura 44 – Curva de carga no sábado para consumo médio residencial maior que 500 kWh.



Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

Figura 45 – Curva de carga no Domingo para consumo médio residencial maior que 500 kWh.



Fonte: (FRANCISQUINI, 2006)

ANEXO C – FATORES DE DIVERSIDADE PARA MÚLTIPLAS UNIDADES RESIDENCIAIS

Tabela 33 – Fator de diversidade para edifícios residenciais, hotéis e flats.

Número de Unidades Residenciais	Fatores	Número de Unidades Residenciais	Fatores
–	–	58 a 63	0,68
02 a 03	0,98	64 a 69	0,67
04 a 06	0,97	70 a 78	0,66
07 a 09	0,96	79 a 87	0,65
10 a 12	0,95	88 a 96	0,64
13 a 15	0,91	97 a 102	0,63
16 a 18	0,89	103 a 105	0,62
19 a 21	0,87	106 a 108	0,61
22 a 24	0,84	109 a 111	0,6
25 a 27	0,81	112 a 114	0,59
28 a 30	0,79	115 a 117	0,58
31 a 33	0,77	118 a 120	0,57
34 a 36	0,76	121 a 126	0,56
37 a 39	0,75	127 a 129	0,55
40 a 42	0,74	130 a 132	0,54
43 a 45	0,73	133 a 138	0,53
46 a 48	0,72	139 a 141	0,52
49 a 51	0,71	142 a 147	0,51
52 a 54	0,7	148 a 150	0,5
55 a 57	0,69	150 acima	0,5

Fonte: (AES/ELETROPAULO, 2007)