

**IAN FELISBERTO FREIRE**

**MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO EM EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA: METODOLOGIA PARA  
DETERMINAÇÃO DO *BASELINE***

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.**

**Florianópolis**

**2001**

**MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO EM EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA: METODOLOGIA PARA  
DETERMINAÇÃO DO *BASELINE***

**IAN FELISBERTO FREIRE**

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da  
Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a  
obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.**

**Área de Concentração: Construção Civil**

**Orientador: Prof. Roberto Lamberts (PhD.).**

**Florianópolis**

**2001**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia

Especialidade **Engenharia Civil** e aprovada em sua forma final pelo programa de  
**Pós-Graduação em Engenharia Civil**

---

**Prof. Roberto Lamberts (PhD.) – Orientador – Moderador**

---

**Prof. Dr. Luis Alberto Gómez – UFSC**

---

**Prof. Dr. Saulo Güths– UFSC**

---

**Prof. Hans Helmut Zürn (PhD.) – UFSC**

---

**Prof. Dr. Jucilei Cordini – Coordenador do CPGEC – UFSC**

FREIRE, Ian Felisberto - **Medição e Verificação em Eficiência Energética-Metodologia para Determinação do *Baseline***. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Defendida em 07/03/2001

Orientador: Prof. Roberto Lamberts (PhD)

A determinação do *baseline* é importante, pois serve de referencial base para se estimar uma meta de economia de energia a ser atingida. O desenvolvimento de metodologias para a avaliação do consumo de energia se apresenta como uma ferramenta fundamental de apoio aos serviços de eficiência energética. Esta dissertação tem por finalidade desenvolver uma ferramenta para avaliação do uso de energia em edifícios comerciais e públicos. Usando informações das faturas de consumo mensal de energia e médias mensais de temperaturas externas de bulbo seco, pode-se construir modelos estatísticos através de análises de regressão para avaliar o uso de energia. Nesta pesquisa, testaram-se diferentes modelos com dados de consumo obtidos de um conjunto de prédios da cidade de Florianópolis, e dados de temperaturas de uma estação climática local. A partir dos resultados obtidos, demonstra-se que estes modelos são capazes de fazer previsões do consumo mensal e anual de energia, com tolerâncias satisfatórias quanto às dispersões em relação aos valores medidos.

**Aos meus filhos**

**Gabriel, Nara e Clara**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, por terem me dado uma boa formação.

À toda minha família, pelo apoio e incentivo.

À minha companheira Vera, pela compreensão do meu afastamento temporário.

Ao meu orientador, prof. Roberto Lamberts, pelo apoio em todas as horas.

Aos professores das disciplinas cursadas.

Aos colegas e companheiros das disciplinas, especialmente Roberto Carlos e Christian Fernandes.

Aos amigos do LabEEE, pela agradável convivência.

Ao amigo Adriano Fortes, pelo constante apoio nestes dois anos de convivência.

Aos amigos Flávio Santos e Cristina Carvalho, pelo fundamental incentivo na inscrição para o mestrado na UFSC.

Às amigas Carminha e Estânia, pelo grande companheirismo.

Aos colegas e à diretoria do CEFET-BA, por terem proporcionado a minha licença e pelo constante apoio, sempre que solicitado.

Às professoras Gina Marocci e Eloisa Petti, pela carta de recomendação pela grande amizade..

À CAPES, pela bolsa concedida.

À EPAGRI, pelo fornecimento dos dados de temperatura de bulbo seco.

Ao Luis Toledo, pelo fornecimento dos arquivos XLS usados na sua dissertação.

À Universidade Federal de Santa Catarina

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSC.

---

## SUMÁRIO

---

<b>Lista de Figuras</b> .....	i
<b>Lista de Tabelas</b> .....	iii
<b>Lista de Abreviaturas, Siglas e Termos</b> .....	v
<b>Resumo</b> .....	vi
<b>Abstract</b> .....	vii

### 1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais .....	1
1.2. Justificativa.....	4
1.3. Objetivos.....	4
1.4. Estrutura da Dissertação .....	5

### 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução .....	7
2.2. Os Protocolos de Medição e Verificação .....	9
2.2.1. Opções Básicas dos Protocolos.....	10
2.2.2. Limitações e Perspectivas .....	14
2.3. Aspectos Relativos À Coleta e Tratamento dos Dados.....	15
2.4. Modelos Usados na Aplicação da Opção C .....	17
2.5. Modelos VBDD (Variable Base Degree-Day).....	19
2.6. Modelos MMT (Médias Mensais de Temperaturas).....	20
2.7. Comparação entre Modelos MMT e VBDD.....	23
2.8. Geração de Um Intervalo de Predição para Modelos MMT.....	24
2.9. Geração de Intervalos IP com 90% de Confiança numa Base Anual .....	27
2.10. Porcentagem de Mudança no Consumo de Energia Normalizado numa Base Anual .....	28
2.11. Considerações sobre o Erro nas Medições do Consumo de Energia .....	30
2.12. Procedimento Para Correções Quando as Datas de Leituras das Faturas Não Estão Identificadas .....	31
2.13. Considerações Finais.....	32

### 3. METODOLOGIA

3.1. Formação do Banco de Dados.....	33
3.2. A Escolha dos Modelos.....	34
3.3. A Seqüência do Trabalho .....	36
3.3.1. Aplicação de Modelos MMT para 12 prédios .....	36
3.3.2. Aplicação de Modelos MMT e VBDD para os prédios do Projeto 6 Cidades ..	37

## **4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

4.1. Aplicação de Modelos MMT para 12 prédios.....	40
4.2. Aplicação de Modelos MMT e VBDD para os prédios do Projeto 6 Cidades .....	70
4.3. Comparação entre Modelos MMT e VBDD.....	79
4.4. Considerações Finais.....	82

## **5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

5.1. Conclusões .....	83
5.2. Recomendações e sugestões para futuros trabalhos.....	85

## **6 ANEXOS**

6.1. Anexo A- Consumo mensal (kWh/m <sup>2</sup> ) dos 12 prédios do primeiro grupo.....	95
6.2. Anexo B- Informações de faturas de energia para os 3 prédios do segundo grupo	98
6.3. Anexo C- Áreas construídas e condicionadas de todos os prédios analisados .....	100
6.4. Anexo D- Médias mensais de temperaturas externas de bulbo seco – 1991a1997 Graus-dia para refrigeração – ano 1995 - Florianópolis .....	102

## **7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

7.1. Referências Bibliográficas .....	103
---------------------------------------	-----

---

## LISTA DE FIGURAS

---

### 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 2.1	Os três intervalos de tempo de um contrato de performance.....	15
Figura 2.7	Modelos MMT – Médias Mensais de Temperatura (IPMVP, 1997).	22

### 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Figura 4.0	Médias mensais de temperaturas externas de bulbo seco .....	41
	jan/95 a ago/97 .....	41
Figura 4.1	Consumo mensal de energia (kWh/m <sup>2</sup> ) – jul/91 a jun/94 – edf 1 .....	41
Figura 4.1a	Consumo real x predito – jul/91 a jun/94– edf 1.....	44
Figura 4.2	Consumo mensal de energia (kWh/m <sup>2</sup> ) – jul/91 a jun/94 – edf 2 .....	45
Figura 4.2a	Consumo real x predito – jul/91 a jun/94– edf 2.....	46
Figura 4.3	Consumo mensal de energia (kWh/m <sup>2</sup> ) – jul/91 a jun/94 – edf 3 .....	47
Figura 4.3a	Consumo real x predito – jul/91 a jun/94– edf 3.....	48
Figura 4.4	Consumo mensal de energia (kWh/m <sup>2</sup> ) – jul/91 a jun/94 – edf 4 .....	49
Figura 4.4a	Consumo real x predito – jul/91 a jun/94– edf 4.....	50
Figura 4.5	Consumo mensal de energia (kWh/m <sup>2</sup> ) – jul/91 a jun/94 – edf 5 .....	52
Figura 4.5a	Consumo real x predito – jul/91 a jun/94– edf 5.....	53
Figura 4.6	Consumo mensal de energia (kWh/m <sup>2</sup> ) – jul/91 a jun/94 – edf 6 .....	54
Figura 4.6a	Consumo real x predito – jul/91 a jun/94– edf 6.....	55
Figura 4.7	Consumo mensal de energia (kWh/m <sup>2</sup> ) – jul/91 a jun/94 – edf 7 .....	56
Figura 4.7a	Consumo real x predito – jul/91 a jun/94– edf 7.....	57
Figura 4.8	Consumo mensal de energia (kWh/m <sup>2</sup> ) – jul/91 a jun/94 – edf 8 .....	58
Figura 4.8a	Consumo real x predito – jul/91 a jun/94– edf 8.....	59
Figura 4.9	Consumo mensal de energia (kWh/m <sup>2</sup> ) – jul/91 a jun/94 – edf 9 .....	60
Figura 4.9a	Consumo real x predito – jul/91 a jun/94– edf 9.....	61
Figura 4.10	Consumo mensal de energia (kWh/m <sup>2</sup> ) – jul/91 a jun/94 – edf 10 ...	62
Figura 4.10a	Consumo real x predito – jul/91 a jun/94– edf 10.....	64
Figura 4.11	Consumo mensal de energia (kWh/m <sup>2</sup> ) – jul/91 a jun/94 – edf 11 ...	65
Figura 4.11a	Consumo real x predito – jul/91 a jun/94– edf 11.....	66
Figura 4.12	Consumo mensal de energia (kWh/m <sup>2</sup> ) – jul/91 a jun/94 – edf 12 ...	67
Figura 4.12a	Consumo real x predito – jul/91 a jun/94– edf 12.....	68
Figura 4.13	Médias mensais de temperaturas externas de bulbo seco .....	71
	jan/95 a ago/97 .....	71
Figura 4.14a	Consumo mensal de energia (kWh/m <sup>2</sup> )-jan/95 a ago/97-Eletrosul ...	71
Figura 4.14b	Consumo mensal de energia (kWh/m <sup>2</sup> )-jan/95 a ago/97-Fiesc .....	72
Figura 4.14c	Consumo mensal de energia (kWh/m <sup>2</sup> )-jan/95 a ago/97-Telesc .....	72
Figura 4.15a	Consumo real x predito -jan/95 a ago/97-Eletrosul .....	73
Figura 4.15b	Consumo real x predito -jan/95 a ago/97-Fiesc .....	73
Figura 4.15c	Consumo real x predito -jan/95 a ago/97-Telesc .....	73
Figura 4.16a	Comparação de coeficientes R <sup>2</sup> entre 06 tipos de modelos MMT .....	75
Figura 4.16b	Comparação de coeficientes CV entre 06 tipos de modelos MMT ...	75
Figura 4.17a	Comparação de coeficientes R <sup>2</sup> entre 06 tipos de modelos VBDD ...	77
Figura 4.17b	Comparação de coeficientes CV entre 06 tipos de modelos VBDD..	78

Figura 4.18a	Comparação do $R^2$ entre modelos MMT e VBDD -Eletrosul.....	79
Figura 4.18b	Comparação do $R^2$ entre modelos MMT e VBDD -Fiesc .....	79
Figura 4.18c	Comparação do $R^2$ entre modelos MMT e VBDD -Telesc .....	80
Figura 4.19a	Comparação do CV entre modelos MMT e VBDD -Eletrosul .....	81
Figura 4.19b	Comparação do CV entre modelos MMT e VBDD -Fiesc.....	81
Figura 4.19c	Comparação do CV entre modelos MMT e VBDD -Telesc.....	81
Figura 4.20a	Consumo Real x Simulado x Predito (kWh) - Eletrosul.....	88
Figura 4.20b	Consumo Real x Simulado x Predito (kWh) - Fiesc .....	88
Figura 4.20c	Consumo Real x Simulado x Predito (kWh) - Telesc .....	88

---

**LISTA DE TABELAS**

---

**4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Tabela 4.1	Coeficientes $R^2$ e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 1 ...	43
Tabela 4.1a	Comparação entre consumo (kWh/m <sup>2</sup> ) total anual medido x predito - edf 1 .....	44
Tabela 4.2	Coeficientes $R^2$ e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 2 ...	46
Tabela 4.2a	Comparação entre consumo (kWh/m <sup>2</sup> ) total anual medido x predito - edf 2 .....	47
Tabela 4.3	Coeficientes $R^2$ e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 3 ...	48
Tabela 4.3a	Comparação entre consumo (kWh/m <sup>2</sup> ) total anual medido x predito - edf 3 .....	49
Tabela 4.4	Coeficientes $R^2$ e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 4 ...	50
Tabela 4.4a	Comparação entre consumo (kWh/m <sup>2</sup> ) total anual medido x predito - edf 4 .....	51
Tabela 4.5	Coeficientes $R^2$ e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 5 ...	52
Tabela 4.5a	Comparação entre consumo (kWh/m <sup>2</sup> ) total anual medido x predito - edf 5 .....	53
Tabela 4.6	Coeficientes $R^2$ e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 6 ...	54
Tabela 4.6a	Comparação entre consumo (kWh/m <sup>2</sup> ) total anual medido x predito - edf 6 .....	55
Tabela 4.7	Coeficientes $R^2$ e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 7 ...	56
Tabela 4.7a	Comparação entre consumo (kWh/m <sup>2</sup> ) total anual medido x predito - edf 7 .....	57
Tabela 4.8	Coeficientes $R^2$ e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 8 ...	58
Tabela 4.8a	Comparação entre consumo (kWh/m <sup>2</sup> ) total anual medido x predito - edf 8 .....	60
Tabela 4.9	Coeficientes $R^2$ e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 9 ...	61
Tabela 4.9a	Comparação entre consumo (kWh/m <sup>2</sup> ) total anual medido x predito - edf 9 .....	62
Tabela 4.10	Coeficientes $R^2$ e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 10.	63
Tabela 4.10a	Comparação entre consumo (kWh/m <sup>2</sup> ) total anual medido x predito - edf 10 .....	64
Tabela 4.11	Coeficientes $R^2$ e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 11.	65
Tabela 4.11a	Comparação entre consumo (kWh/m <sup>2</sup> ) total anual medido x predito - edf 11 .....	66
Tabela 4.12	Coeficientes $R^2$ e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 12.	67
Tabela 4.12a	Comparação entre consumo (kWh/m <sup>2</sup> ) total anual medido x predito - edf 12 .....	68
Tabela 4.13	Coeficientes $R^2$ e CV dos 12 modelos .....	69
Tabela 4.14	Síntese das porcentagens de mudanças anuais referentes às predições .....	70
Tabela 4.15	Combinação das variáveis para os 6 tipos de modelos MMT.....	74
Tabela 4.16	Coeficientes $R^2$ e CV para modelos MMT – <i>baseline</i> ano 1995 .....	74
Tabela 4.17	Combinação das variáveis para os 6 tipos de modelos VBDD.....	76

Tabela 4.18	Coeficientes $R^2$ e CV para modelos VBDD – <i>baseline</i> ano 1995 ....	77
Tabela 4.19	Coeficientes $R^2$ e CV dos doze prédios para os três anos analisados	83
Tabela 4.20	% do consumo de Ar. Cond. – Período Seco e Período Úmido.....	84
Tabela 4.21	% de área condicionada dos 12 prédios .....	85
Tabela 4.22	% de área condicionada – Eletrosul, Fiesc e Telesc.....	86
Tabela 4.23	Consumo Real x Simulado x Predito (kWh) - Eletrosul.....	87
Tabela 4.24	Consumo Real x Simulado x Predito (kWh) - Fiesc .....	87
Tabela 4.25	Consumo Real x Simulado x Predito (kWh) - Telesc .....	87

---

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E TERMOS

---

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
Baseline	específico período de tempo, selecionado para representar o uso e custos de energia em uma edificação antes de passar pela implementação dos serviços de eficiência energética.
CV	Coefficiente de variação (índice estatístico usado em análise de regressão)
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina.
ESCO	Energy Saving Company
ESPC	Energy Savings Performance Contracting
FEMP	Federal Energy Management Program
HVAC	abreviação para sistemas de climatização artificial (Heating, Ventilation and Air Conditioning)
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética.
IP	Intervalo de Predição
IPMVP	International Performance Measurement and Verification Protocol
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.
M&V	Medição e Verificação
MMT	Monthly Mean Temperature- modelos que usam a <b>Média Mensal de Temperatura</b> externa de bulbo seco como variável regressora.
NEMVP	North American Energy Measurement and Verification Protocol
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia. Elétrica.
$R^2$	Coefficiente de determinação (índice estatístico usado em análise de regressão)
Retrofit	reforma de uma edificação visando melhorias (no contexto deste trabalho, na área de eficiência energética).
TBs	Temperatura externa de bulbo seco
VBDD	Variable Base Degree-Days – modelos que usam o número Graus-dia como variável regressora.

## RESUMO

O reconhecimento dos benefícios econômicos sociais e ambientais, como consequência da implementação de medidas de eficiência energética está se tornando cada vez mais freqüente no Brasil. Na implementação destas medidas, é necessário que se avalie corretamente a quantidade e a forma em que a energia é consumida em cada local, antes e depois da execução dos serviços. Chama-se *baseline* um específico período de tempo selecionado para representar o uso e custos de energia em uma edificação antes da execução dos serviços de eficiência energética. A determinação do *baseline* é importante, pois serve de referencial base para se estimar uma meta de economia a ser atingida. O desenvolvimento de metodologias para a avaliação do consumo de energia se apresenta como uma ferramenta fundamental de apoio a estes serviços. A divulgação dos Protocolos de Medição e Verificação (M&V) aqui no Brasil pelo Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) tem incentivado o aparecimento de novas pesquisas. Esta dissertação tem por finalidade desenvolver uma ferramenta para avaliação do uso de energia em edifícios comerciais e públicos, de acordo com uma das abordagens usadas nos Protocolos, conhecida como Abordagem do Medidor Geral. Usando informações das faturas de consumo mensal de energia e médias mensais de temperaturas externas de bulbo seco, pode-se construir modelos estatísticos através de análises de regressão para avaliar o uso de energia. Nesta pesquisa, testou-se diferentes modelos com dados de consumo obtidos de um conjunto de prédios da cidade de Florianópolis, e dados de temperaturas de uma estação climática local. O banco de dados é separado em dois grupos. No primeiro, formado por 12 prédios, foi testado um único tipo de modelo. Em 9 deles, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) apresentou valores acima de 0,80, mostrando existir uma forte correlação entre a temperatura externa e o consumo mensal de energia. No segundo, formado por 3 prédios, para o mesmo tipo de modelo, dois apresentaram valores de  $R^2$  acima de 0,85. A partir dos resultados obtidos, demonstra-se que estes modelos são capazes de fazer previsões do consumo mensal e anual de energia. Em 24 previsões anuais testadas no primeiro grupo, doze apresentaram uma diferença menor ou igual a 5% em relação ao valor medido, oito entre 5% e 10%, duas entre 10% e 20% e duas acima de 20%. No segundo grupo, a prioridade foi testar seis variações para cada uma das duas espécies diferentes de modelos abordadas na pesquisa. Em uma das espécies, a correlação é entre o consumo de energia e a temperatura externa (modelos MMT). Na outra, correlaciona-se o consumo com o valor Graus-dia mensal para refrigeração (modelos VBDD). No geral, os modelos MMT apresentaram desempenhos superiores (44,4% com  $R^2 > 0,80$  e 16,7% com  $R^2 < 0,50$ ) aos modelos VBDD (22,2% com  $R^2 > 0,80$  e 44,4% com  $R^2 < 0,50$ ), demonstrando que a correlação do consumo com a temperatura é mais forte que a correlação com o valor Graus-dia. Entretanto, para alguns exemplos testados, não existe correlação do consumo, nem com a temperatura, nem com o valor Graus-dia.

Palavras chave: eficiência energética, medição e verificação, *baseline*.

## ABSTRACT

The recognition of the social, economic and environmental benefits as a consequence of the implementation of energy efficiency measures is becoming more and more frequent in Brazil. In the implementation of these measures, it is necessary to evaluate the amount and the correct form the energy is consumed in each place, before and after energy conservation measures are implemented. The specific period of time, selected to represent the use and costs of energy in a construction before the implementation of energy efficiency measures is called *baseline*. The determination of the baseline is important, because it serves as referential base to be considered to calculate the economy to be reached. The development of methodologies for the evaluation of the energy use comes as a fundamental tool of support energy efficiency services. The popularization of the Measurement and Verification Protocols (M&V) here in Brazil, by the National Institute of Energy Efficiency (INEE), has been motivating new research. This dissertation has the purpose of developing a tool for evaluation of the energy use in commercial and public buildings, in agreement with one of the options used in the Protocols, called General Meter Option. Using monthly energy use and monthly averages of dry bulb temperatures, it is possible to build statistical models, through regression analyses, to evaluate the variation of the energy use. The work is based on energy use data of several Florianópolis buildings and average temperatures of a local climatic station. The database is separated in two groups. In the first, formed by 12 buildings, only one model type was tested. In 9 of them, the determination coefficient ( $R^2$ ) presented values above 0,80, showing a strong correlation between the external temperature and the monthly energy use. In the second, formed by 3 buildings, for the same model type, two presented values of  $R^2$  above 0,85. Starting from the obtained results, it is demonstrated that these models are capable to do predictions of the monthly and annual energy use. In 24 annual predictions tested in the first group, 12 presented smaller differences than 5% in relation to the measured value, eight between 5% and 10%, two between 10% and 20% and two above 20%. In the second group, the priority was to test six variations for two species of different approach. In the first approach, the correlation is between the energy use and the external temperature (models MMT). In the other, the energy use is correlated with the monthly Degree-day value for refrigeration (models VBDD). In general, the MMT models presented superior results (44,4% with  $R^2 > 0,80$  and 16,7% with  $R^2 < 0,50$ ) as compared to the VBDD models (22,2% with  $R^2 > 0,80$  and 44,4% with  $R^2 < 0,50$ ), demonstrating that the correlation of the energy use with the temperature is stronger than the correlation with the Degree-day value. However, for some examples, there is no correlation of the consumption, with temperature, and there is no correlation with the Degree-day value.

Key words: *energy efficiency, measurement and verification, baseline.*

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

Estamos vivendo numa época de muita discussão sobre a racionalização do uso da energia. O reconhecimento dos benefícios econômicos sociais e ambientais como consequência da implementação de medidas de eficiência energética está se tornando cada vez mais freqüente no Brasil. Um trabalho pioneiro na área de eficiência energética foi realizado na década de 80 pelo consultor americano Howard Geller, a convite da Eletrobrás, resultando mais tarde na publicação de um livro (Geller 1995), que vem a ser uma referência básica para qualquer estudo na área de eficiência energética no Brasil. Em 1985 estava sendo iniciado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Trabalhos mais recentes (Rosenfeld 1996); (Poole e Geller 1997) aparecem como importantes fontes de informação dentro da conjuntura brasileira atual.

Mesmo já tendo decorrido esse tempo, onde podemos considerar que alguns avanços aconteceram, fazendo com que a consciência sobre os benefícios das implementações de serviços de eficiência energética seja bem maior nos dias atuais, ainda temos muito que aprender com a experiência de alguns países. Podemos citar como referência os Estados Unidos, onde existem inúmeros programas federais e estaduais de incentivo à economia de energia, a exemplo do *Texas LoanSTAR*, um programa administrado pelo Texas State Energy Conservation Office (SECO), que foi criado em 1988 para prover fundos públicos de auxílio à eficiência energética no estado do Texas, a ser aplicado em edifícios públicos. Importantes relatos deste programa podem ser encontrados em Claridge et al. (1994), Heffington et al. (1996) e Haberl et al. (1998).

No mais recente dos trabalhos citados, encontramos um importante estudo relacionado ao tema central desta dissertação que é sobre medição e verificação (M&V) e técnicas para a determinação do *baseline* (condições pré-contratuais). Chama-se

*baseline* um período de tempo específico, selecionado para representar o uso e custos de energia em uma edificação antes de passar pela implementação dos serviços de eficiência energética (Willson 1998). A determinação do *baseline* é importante, pois este serve de base referencial para se estimar uma meta de economia a ser atingida. Depois de terminada a reforma, é feita uma comparação das condições pré e pós-contrato, calculando-se então os ganhos obtidos com as economias de energia. A importância deste cálculo se torna ainda maior quando o cliente e o prestador do serviço firmam um “contrato de risco”.

Os “contratos de risco” ou contratos de desempenho garantido, conhecidos na língua inglesa pela sigla ESPC (Energy Savings Performance Contracting), funcionam da seguinte forma: As despesas com a implementação dos serviços de eficiência são assumidas através de um financiador ou pela própria empresa que presta os serviços. Empresas que trabalham com esse tipo de contrato são conhecidas pela sigla ESCO (Energy Service Companies). Como o pagamento das despesas fica vinculado ao sucesso do projeto, ou seja, obtenções de economias de energia comprovadas, estas empresas, evidentemente, precisam confiar no potencial de economia disponível, convencer o cliente que o negócio é viável e trabalhar dentro de uma metodologia clara, que esclareça cada etapa do projeto. O papel apropriado de uma metodologia de determinação das economias de energia dentro de um contrato é deixar claro todos os itens possíveis de serem identificados, relacionados a esta atividade, definindo os procedimentos para a determinação do *baseline*. Em seguida, efetuar as medidas pós-contrato e calcular as economias de energia. Neste contexto, a utilização dos protocolos de medição e verificação (M&V) é de fundamental importância (Heinemeier et al. 1996).

Dentre os protocolos mais importantes, citamos como exemplo: “North American Energy Measurement and Verification Protocol” – NEMVP (1996); “International Performance Measurement and Verification Protocol” – IPMVP (1997) e “Federal Energy Management Program”- FEMP(1999). O IPMVP é uma versão aperfeiçoada do NEMVP. O FEMP foi estabelecido para reduzir os custos de energia do governo americano e operar as instalações federais com mais eficiência (INEE 1996). Quatro abordagens de opções de M&V destacam-se nos dois protocolos mais recentes, onde a escolha vai depender das características do projeto. São conhecidas como: Opção

A (Abordagem do Consumo Estipulado); Opção B ( Abordagem do Consumo Medido ); Opção C ( Abordagem do Medidor Geral ) e Opção D ( Abordagem da Simulação Calibrada )

Outro item importante que também está presente em muitos programas de conservação de energia, são as atividades de comissionamento. Comissionamento é um processo sistemático que começa na fase de projeto e deve se estender até pelo menos um ano após o término da construção. São realizadas inspeções sistemáticas na edificação, com documentação das atividades, verificando se os equipamentos e sistemas instalados estão se comportando de acordo com o que foi projetado e com as necessidades operacionais do proprietário (Bjornskov et al. 1994; O'Neill e Radke 1994). As atividades de comissionamento visam a garantia do desempenho.

O comissionamento tem tido um papel fundamental na consolidação de programas de incentivo à eficiência energética. Muitos trabalhos com relatos que comprovam a importância destas atividades têm sido publicados nos últimos anos (Yoder e Kaplan 1994; Tseng et al. 1994; Edmunds e Haasl 1998; Brady e Dasher 1998).

As medidas de Operação e Manutenção (O&M) podem ser incluídas nas atividades de comissionamento. Este é o nome que se dá ao processo de fornecimento de eficiência energética começando com a identificação e implementação de medidas de nenhum ou baixo custo. Claridge et al. (1994) apresentam um interessante trabalho relatando medidas de O&M implementadas num programa (Texas LoanSTAR) de incentivo à eficiência energética no estado do Texas, EUA.

Nestas considerações iniciais foram citados vários aspectos relacionados aos estudos e aplicação da eficiência energética. O tema central desta dissertação se relaciona principalmente com a medição e verificação do uso de energia em prédios comerciais. A partir de alguns resultados de auditoria energética em prédios públicos e comerciais da cidade de Florianópolis, são desenvolvidas técnicas para uma avaliação básica do uso de energia e predições de futuros consumos.

## **1.2 Justificativa**

O potencial de redução das perdas de energia nos prédios comerciais é muito grande e ainda pouco explorado no Brasil. Sem comprometer o conforto dos ocupantes, podemos encontrar um conjunto de medidas que podem reduzir em 40% ou mais a conta de energia e obter o retorno do investimento num período inferior a 3 anos (INEE, 1997).

As técnicas para avaliação do uso de energia ainda não foram bem desenvolvidas no Brasil. A recente divulgação dos Protocolos de Medição e Verificação (M&V) pelo Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) chega como um incentivo para novas pesquisas. Lamberts et al. (1994), Pedrini (1997) realizaram importantes trabalhos nesta área usando simulação calibrada. Este procedimento está relacionado com uma das opções abordadas nestes protocolos (Opção D).

A pesquisa proposta para ser desenvolvida neste trabalho se relaciona com outra das opções abordadas nestes protocolos (Opção C). Esta opção utiliza métodos estatísticos para avaliação do uso de energia. Apresenta uma grande vantagem em relação a outras opções devido ao baixo custo. Na maioria das situações é possível se fazer uma razoável predição do uso de energia dispondo-se apenas de faturas de consumo de energia e médias mensais de temperaturas externas de bulbo seco(TBs).

## **1.3 Objetivos**

- ✓ Desenvolver uma metodologia para avaliação do consumo básico anual de energia de uma edificação comercial a partir de informações de faturas da concessionária de energia e médias mensais de temperaturas externas de bulbo seco(TBs).
- ✓ Testar e avaliar modelos estatísticos em predições de consumo mensal e anual de energia.
- ✓ Comparar o desempenho de modelos de duas espécies diferentes, sendo uma delas chamada de modelos MMT, onde o consumo é correlacionado com as

médias mensais TBs, e a outra, conhecida como VBDD, onde o consumo se correlaciona com o valor Graus-dia mensal.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

No segundo capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre técnicas já aplicadas no desenvolvimento de modelos para a definição das condições pré-contrato do uso de energia. *Baseline* é a palavra chave da pesquisa. Este é o nome que se dá ao período que define as condições pré-contrato. São relatadas experiências já desenvolvidas fora do Brasil, principalmente nos Estados Unidos. Também se faz uma apresentação compacta da estrutura dos Protocolos de Medição e Verificação (M&V). Discutem-se aspectos relativos à coleta e tratamento dos dados utilizados na definição do *Baseline*. Apresentam-se as bases estatísticas necessárias para a avaliação dos modelos. Estudam-se e comparam-se duas espécies principais de modelos de regressão (MMT e VBDD). Complementando a teoria, apresentam-se algumas equações para predições de consumos mensais e anuais energia.

No terceiro capítulo, a metodologia utilizada na elaboração do trabalho é apresentada, destacando-se os aspectos relevantes. Comenta-se sobre a forma de obtenção dos dados fundamentais para a realização da pesquisa (consumos mensais de energia e as médias mensais de temperaturas externas de bulbo seco). Em seguida, discutem-se questões relevantes à escolha dos modelos. É chamada a atenção para os testes estatísticos fundamentais a serem realizados no desenvolvimento de cada modelo. Discutem-se também aspectos relativos à contribuição de cada parcela do uso final de energia no consumo total, comentando-se o que pode interferir nos resultados dos modelos. Por fim, é apresentada a seqüência da realização do trabalho, destacando-se as etapas mais importantes.

No quarto capítulo, os resultados obtidos no trabalho são apresentados em duas etapas. A primeira delas corresponde a um grupo de doze prédios. Destaca-se principalmente a apresentação dos resultados das predições mensais e anuais de consumo de energia. As predições são executadas com a aplicação de equações formuladas no segundo capítulo. Comenta-se sobre as porcentagens dos desvios destas predições. Na segunda etapa, são apresentados resultados de aplicações para as duas

espécies de modelos (MMT e VBDD) abordadas no segundo capítulo. Os desempenho de cada modelo é avaliado e são identificados os que apresentam melhores coeficientes.

No quinto capítulo é feita uma síntese dos pontos relevantes do trabalho. Verifica-se o alcance dos objetivos propostos, Comentam-se algumas limitações e fazem-se sugestões para a continuidade do trabalho em pesquisas futuras.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Introdução

Quando um prestador de serviços apresenta o seu produto para um cliente, existe uma expectativa sobre a aceitação deste produto. O sucesso do seu negócio pode estar associado à comprovação da qualidade do que está sendo vendido. É bom lembrar que muitas vezes o cliente não tem realmente nenhuma necessidade do produto e pode ser atraído a comprá-lo, dependendo da estratégia usada pelo vendedor. Em outras situações, o produto pode ser muito importante para o cliente, mas ele ainda precisará ser convencido disto.

Um prestador de serviços em eficiência energética, seja ele um profissional liberal ou uma ESCO (Energy Service Company-Companhia de Serviços de Energia) pode se deparar diante de um cliente em potencial, tendo então que demonstrar a importância da realização destes serviços. Em outras palavras, terá de convencer o cliente dos ganhos econômicos que advirão após as mudanças propostas. É comum se chamar estes serviços de “*retrofit*” em eficiência energética. Eles são de natureza diversificada. Vão desde uma reforma na arquitetura, mudança e instalação de novos equipamentos, gerenciamento dos padrões de uso, etc.

Se for feita uma demonstração objetiva do potencial de economias de energia para o cliente, este será o primeiro passo para o sucesso de um *retrofit*. Após a realização deste *retrofit* uma comprovação destas economias será fundamental para garantir a credibilidade quanto aos serviços realizados. Uma maneira de se determinar estas economias é calcular a diferença entre o consumo medido após a realização do serviço (*pós-retrofit*) e o que existia antes (*pré-retrofit*). Em seguida, calcular o custo desta diferença.

Esta subtração é um cálculo básico e bastante simples. Porém, no momento em que passamos a investigar cada consumo, seja através da análise de faturas de consumo de energia da concessionária ou de medições separadas, complicações podem surgir em função da dificuldade de se obter determinadas informações. Teoricamente, estas medições devem ser feitas sob as mesmas condições climáticas, mesmas taxas de ocupação, dimensões das áreas condicionadas e outras variáveis de interesse.

Levando-se em consideração que estas condições raramente permanecem constantes, se faz necessária a realização de ajustes, que deverão compensar as mudanças ocorridas (Willson 1998). A necessidade de se fazer ajustes comprova que não basta simplesmente calcular a diferença direta entre os consumos medidos nos períodos *pré* e *pós-retofit*. Para complementar, as decisões envolvidas nos ajustes são freqüentemente complexas e muitas vezes diferentes, para diferentes especialistas. O resultado final é que apesar do processo envolver instrumentos de medidas e equações matemáticas, a determinação das economias é mais uma arte que uma ciência (Cowan e Schiller 1997).

Como o consumo de energia varia constantemente, é preciso compreender os fatores que determinam esta variação. Diferenciar as cargas que operam de maneira constante (independente das condições climáticas ou taxa de ocupação) daquelas que variam (identificando as causas de cada variação), compreender que existem variações cíclicas e outras aleatórias, identificar as parcelas de erro envolvidas no processo e escolher períodos de consumo que representem da melhor maneira possível o uso de energia em cada local analisado (Willson 1998; Sondereger 1998; Haberl et al. 1998).

Dentro desta complexidade de fatores, precisamos definir as condições de uso de energia existentes antes da realização do *retofit*. O termo *baseline* tem se configurado como apropriado para definir um período representativo, juntamente com as características de uso de energia que servirá de referencial básico para futuras estimativas de economia de energia (Cowan e Schiller 1997; Willson 1998; Sondereger 1998; Haberl et al. 1998). As informações necessárias para se determinar o *baseline* devem abranger no mínimo um ano, onde aparece a influência das quatro estações climáticas. O mais recente padrão de uso de energia é geralmente o melhor referencial a

ser considerado. Deve-se observar quais instalações tendem a permanecer com o mesmo padrão durante o período *pós-retrofit*.

O papel apropriado de uma metodologia de determinação das economias de energia dentro de um contrato de prestação de serviços é deixar claras as suposições e responsabilidades e definir os procedimentos para a determinação do *baseline* (condições pré-contratuais). Um dos caminhos a seguir, é o desenvolvimento de modelos estatísticos utilizando-se informações de faturas mensais de consumo emitidas pela concessionária de energia e médias mensais de temperaturas externas, fornecidas através de uma estação climática. Uma vez desenvolvidos os modelos, é possível usá-los como ferramenta de comparação entre os índices atuais de uso de energia e os valores previstos por cada modelo (Haberl et al. 1998). Neste contexto, a utilização dos protocolos de medição e verificação (M&V), as atividades de Comissionamento, Operação e Manutenção (O&M) são de fundamental importância (Heinemeier et al. 1996).

## **2.2 Os Protocolos de Medição e Verificação (M&V)**

Os Protocolos de Medição e Verificação (M&V) são utilizados como guia na realização dos serviços de eficiência energética. Eles apresentam um elenco de metodologias e procedimentos para quantificar os ganhos alcançados pelas medidas contratadas num *retrofit*. Orientam as partes sobre fatores na escolha da metodologia mais adequada, na alocação e gestão de riscos, na investigação e resolução de desentendimentos, e outros aspectos importantes na relação entre comprador e vendedor, que são relevantes à determinação dos resultados alcançados.

Nos anos 80 na América do Norte surgiram várias tentativas de normalizar as metodologias de M&V. Inicialmente existiam muitas divergências entre as abordagens de medição e verificação. A partir do ano de 1994 começaram a surgir medidas mais eficazes de harmonização, envolvendo a cooperação entre agências de governo, especialistas nas indústrias de energia e profissionais ligados à eficiência energética dos Estados Unidos, Canadá e México. Destas medidas resultou a publicação do “North American Energy Measurement and Verification Protocol” (NEMVP) em março de 1996.

Esta primeira versão foi modificada e expandida com uma participação internacional mais ampla para produzir a versão atual, o “International Performance Measurement and Verification Protocol” (IPMVP), publicada em novembro de 1997. Outro protocolo importante é o Federal Energy Management Program (FEMP). Sua primeira publicação foi em 1996 e a versão mais atual é de janeiro de 1999. Este protocolo foi estabelecido para reduzir os custos de energia do governo ao operar as instalações federais com mais eficiência.

As diretrizes do FEMP para M&V são em grande parte coincidentes com as do IPMVP, focalizando os projetos do setor federal. Ambos protocolos foram patrocinados pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE) quase que ao mesmo tempo. Contudo, não há conflito entre eles, pois foram elaborados para diferentes propósitos e públicos distintos (Schiller e Kromer 1998)

### **2.2.1 Opções básicas dos Protocolos**

Quatro opções básicas (A, B, C e D) de M&V são definidas nos protocolos, permitindo flexibilidade no custo e no método de avaliação das economias. A escolha da opção também está diretamente relacionada com a precisão e o custo de implementação. É importante lembrar que todos os métodos usados para determinar economias são estimados. As opções descritas foram criadas para satisfazer as necessidades de uma grande gama de contratos que usam as economias para determinar o pagamento de financiamentos (recursos utilizados para a realização dos serviços). É importante perceber as limitações, bem como o poder de cada método apresentado (IPMVP 1997).

#### **2.2.1.1 Opção A: Abordagem do consumo estipulado; verificação apenas de potencial de economia.**

A Opção A é uma verificação planejada para projetos onde o potencial para realizar economias precisa ser verificado, mas as economias podem ser estipuladas com base nos resultados da verificação e cálculos de engenharia. Esta opção se aplica com mais frequência a cargas individuais ou sistemas específicos num prédio, como um sistema de iluminação, onde as condições de *baseline* são bem entendidas e as horas de

operação não são sujeitas a mudanças importantes. A precisão desta Opção é inversamente proporcional à complexidade da medida. Assim, as economias de um simples *retrofit* de iluminação tipicamente serão estimadas com mais precisão que as do *retrofit* de um *chiller*. A precisão média esperada fica em torno de 20%. Os custos irão depender da quantidade de pontos de medição, variando de 1% a 5% do custo do projeto de *retrofit* (INEE 1997).

Segundo IPMVP (1997), a Opção A envolve procedimentos para verificar se:

- ✓ As condições de contrato foram definidas apropriadamente.
- ✓ Os equipamentos e/ou sistemas contratados para serem instalados já o foram realmente.
- ✓ Os equipamentos/sistemas estão dentro das especificações do contrato em termos de quantidade, qualidade e categoria.
- ✓ Os equipamentos instalados estão operando com o desempenho de acordo com as especificações de contrato e todos os testes de funcionamento.
- ✓ Os equipamentos/sistemas instalados continuam, durante o período do contrato, dentro das especificações do contrato em termos de quantidade, qualidade, categoria, desempenho operacional e funcional.

#### **2.2.1.2 Opção B: Abordagem do Consumo Medido**

A Opção B é recomendada para projetos onde se deseja a medição contínua do desempenho de longo prazo. Nesta abordagem as cargas individuais são continuamente monitoradas para determinar o desempenho e este é comparado às condições do baseline para se determinar as economias. Os métodos empregados nesta opção envolverão o uso de medições de longo prazo de uma ou mais variáveis. A Opção B envolve os mesmos procedimentos de verificação do potencial de gerar economias que a Opção A. O uso de medições de longo prazo é recomendado para compensar as variações de operação que ocorrem durante um longo período de tempo, favorecendo a aproximação das economias calculadas das reais, diferente do que acontece com o uso de estipulações definido para a Opção A. Dependendo da quantidade de sistemas medidos, o custo pode variar de 3% a 10% do custo do projeto de retrofit (INEE 1997)

### 2.2.1.3 Opção C: Abordagem do Medidor Geral.

Esta abordagem tem como enfoque a verificação do consumo global de energia, calculando-se as economias com os dados de medição da concessionária registrados ao longo do período do contrato de desempenho. Esta metodologia é tipicamente utilizada em situações de modernização global do prédio. Nesta abordagem, a ESCO é responsável pelo desempenho do prédio como um todo.

Os métodos de faturamento da Concessionária são ferramentas usadas para calcular as economias de *retrofits* em conservação de energia estabelecendo condições pré-contratuais usando doze ou mais meses de dados para faturamento. As informações básicas para os cálculos são as seguintes: i) as datas de leituras das faturas; ii) as informações das temperaturas médias diárias (geralmente obtidas de estações climáticas em aeroportos) e iii) a quantidade de energia consumida durante cada período entre leituras (IPMVP 1997). Em geral este tipo de cálculo de economia é para projetos onde a economia esperada é pelo menos 20% do valor da fatura mensal. Recomenda-se também para situações onde o tamanho do projeto é pequeno, ou os recursos financeiros para a medição são reduzidos e não justificam a instalação de medição específica.

A metodologia que iremos abordar no próximo capítulo foi desenvolvida de acordo com a Opção C. É determinado um modelo estatístico pela regressão das leituras de consumo contra as temperaturas externas mensais médias do período correspondente a cada fatura. Diferenças nos períodos entre duas leituras serão consideradas ao calcular o uso diário médio de energia no período.

Distinguir mudanças causadas pelas medidas de conservação de energia de mudanças ocorridas devido a outros fatores é o maior desafio associado à Opção C, especialmente para contratos de longo prazo. Um exemplo é o aumento de consumo causado pela instalação de novos equipamentos como, a exemplo dos sistemas de informática (INEE 1997). A Opção C pode ser utilizada em conjunto com as Opções A, B e D, para se checar valores visando o aumento na precisão do cálculo das economias. Os custos desta opção devem ficar entre 1% a 10% do valor do projeto de *retrofit* (INEE 1997).

#### **2.2.1.4 Opção D: Abordagem da Simulação Calibrada**

Esta opção consiste na utilização de uma ferramenta computacional que simula através de modelos o uso geral de energia em função de cada uma das medidas de conservação da instalação predial. Os modelos são calibrados no uso real durante o período *baseline*. Depois são ajustados para incorporarem mudanças nos parâmetros de operação decorrentes das medidas de conservação implementadas. As economias são definidas como a diferença entre as simulações do *baseline* e as simulações pós-instalação.

De acordo com o IPMVP (1997) as variáveis de entrada mais influentes nos resultados das simulações são:

- ✓ Cargas de tomadas e Iluminação.
- ✓ Umidade e temperatura interna.
- ✓ Caracterização dos sistemas primários e secundários HVAC.
- ✓ Cargas de ventilação e infiltração.
- ✓ Envelope e caracterização da massa térmica.
- ✓ Cargas de ocupação.

A Opção D pode ser utilizada para componentes separados ou para todo o prédio. A precisão esperada é em torno de 10% e o custo deve ficar de 3% a 10% do valor do projeto *retrofit* (INEE 1997).

#### **2.2.2 Limitações e Perspectivas**

Tanto o IPMVP quanto o FEMP M&V Guideline devem ser considerados apenas como ponto de partida para o desenvolvimento de especificações em M&V. Cada projeto tem seus aspectos específicos. Compradores e vendedores provavelmente terão sempre que resolver os detalhes de M&V para cada contrato em particular. A maneira de conduzir estes detalhes, as análises das economias e o controle de qualidade dos resultados ainda não fazem parte de nenhum protocolo e provavelmente nunca fará (Schiller e Kromer 1998).

Não há portanto um protocolo ou conjunto de diretrizes suficientemente completo. Há vários protocolos em evolução dinâmica que tratam: (1) da tecnologia da medição; (2) das relações contratuais entre comprador (setor público e privado), vendedor e financiador; (3) das diversas interfaces entre o uso da energia e da água e os impactos ambientais. A diversidade dos campos de normalização reflete o alcance e ramificações da grande inovação que a M&V representa (INEE 1997).

No Brasil ainda não existe nenhum protocolo publicado. O Instituto Nacional de Eficiência Energética em um relatório sobre medição e verificação de economias de energia no Brasil (INEE 1997) orienta a prática de abordagens de complexidade gradual, instituindo inicialmente alternativas simples e de fácil aplicação, tornando-se mais abrangente e com maior precisão nos resultados, na medida em que o mercado exigir.

Neste documento recomenda-se dar preferência à prática da Opção C em função do baixo custo e facilidade na obtenção das informações sobre as variáveis mais importantes: consumo mensal de energia e média mensal da temperatura externa de bulbo seco.

### **2.3 Aspectos relativos à coleta e tratamento dos dados**

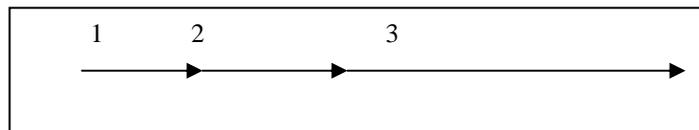
Para assegurar uma mútua satisfação de negócio, tanto o cliente quanto o prestador dos serviços de conservação de energia devem estar acordados numa clara e confiável metodologia de cálculo do *baseline*, que deve constar nos termos do contrato. A capacidade de se desenvolver maneiras lógicas e objetivas de quantificar os efeitos de eventos que acontecem após a definição do *baseline* e não puderam ser previstos é a chave para se manter uma efetiva garantia (Willson 1998).

Os seguintes procedimentos deverão chamar a atenção do prestador dos serviços de conservação de energia:

- ✓ Quantas faturas de energia precisam-se para estabelecer o *baseline*
- ✓ Com o quê, e como correlacionar as faturas

- ✓ Como se deve levar em conta os impactos dos períodos de férias e feriados
- ✓ Como se deve levar em consideração incrementos de consumo devido a novos equipamentos

Sonderegger (1998) aborda cada uma destas questões e apresenta métodos quantitativos para respondê-las. Neste trabalho ele apresenta três diferentes intervalos de tempo identificados nos contratos de performance representados no gráfico a seguir



**Figura 2.1 – Os três intervalos de tempo de um contrato de performance**

- 1- Período de Ajuste – usado para se estabelecer uma correlação confiante das faturas de energia.
- 2- Período de Instalação – tempo em que a empresa prestadora dos serviços implementa as medidas contratadas.
- 3- Período de Performance – período no qual aparecem os resultados das economias nas faturas, resultantes das medições que estão sendo monitoradas.

O trabalho também discute o número de faturas mensais que deve ser usado para se chegar a uma boa correlação no desenvolvimento do *baseline*. Quanto mais faturas são usadas, mais confiante é a correlação. Por outro lado, usar faturas mensais prolongadas por vários anos deve inadvertidamente capturar os efeitos de eventos passados e tendências irrelevantes para os padrões atuais de uso.

Na determinação do número de faturas a ser usado no período de ajuste, Sonderegger (1998) recomenda as seguintes medidas:

- 1- Usar informações de faturas dentro de um período de um a dois anos e não menos que 12 faturas.

- 2- Incluir somente medidas atuais de consumo. Se existir alguma fatura com o valor estimado e não medido, ela deve ser comparada com um ou mais subseqüentes faturas onde as leituras devem estar atualizadas.
- 3- Se existem dados de faturas de vários anos, selecionar o mais apropriado período de ajuste usando o traçado da soma de 12 meses onde cada ponto representa o valor de um ano de consumo.

Temos dois caminhos a seguir na determinação do *baseline* (Sonderegger 1998):

- (1) através de simulações com programas de computador, onde são considerados todos os parâmetros físicos relevantes do edifício (como citado no item 2.2.1.4) e ações do usuário que afetam o consumo e ,
- (2) através de correlações com faturas de meses anteriores, observando-se as variáveis e projetando-se as correlações para se avaliar o consumo no futuro.

#### **2.4 Modelos usados na aplicação da Opção C**

O cálculo das economias em *retrofits* utilizando o faturamento da concessionária é realizado através do uso de modelos estatísticos. Modelos mais simples podem ser calculados pela regressão estatística dos dados de consumo mensal correlacionados com as temperaturas externas (TBs) médias do período de faturamento.

Os coeficientes usados na avaliação da representatividade e qualidade dos modelos são: o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o coeficiente de variação (CV). Enquanto  $R^2$  é o índice estatístico usado quando o objetivo primário é avaliar como os dados se ajustam no modelo, o CV é normalmente mais apropriado quando este modelo é subseqüentemente usado para se determinar os valores das economias de energia. O índice CV representa a variação entre os dados não explicados pelo modelo, normalizado através do valor médio da variável dependente.  $R^2$  pode ser interpretado como a fração de variação entre a variável dependente Y (consumo de eletricidade e consumo de gás natural, por exemplo) em torno de um valor médio que é explicado

através do modelo. O coeficiente  $R^2$  pode atingir o valor máximo de 1,0.  $R^2 = 0,9$  indica que 90% da variação de  $Y$  em torno de um valor médio é explicado pelo modelo (Reddy et al. 1997a; Reddy e Claridge 2000). As fórmulas para o cálculo do  $R^2$  e  $CV$  são :

$$R^2 = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{pred,i} - Y_{data,i})^2}{\sum_{i=1}^n (\bar{Y}_{data} - Y_{data,i})^2} \right) \quad \text{e} \quad CV = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{pred,i} - Y_{data,i})^2}}{\frac{(n-p)}{\bar{Y}_{data}}} \times 100$$

onde:

$Y_{data,i}$  = valores da variável dependente correspondendo a um conjunto de variáveis independentes

$Y_{pred,i}$  = valores preditos da variável dependente, para o mesmo conjunto de variáveis independentes identificados acima.

$\bar{Y}_{data}$  = valor médio da variável dependente

$n$  = quantidade total de pontos

$p$  = número de parâmetros da regressão no modelo

Na avaliação da qualidade e relevância dos modelos de regressão em dados de consumo de energia encontramos uma sugestão arbitrária indicando que modelos mensais com  $R^2 \geq 0,7$  e  $CV \leq 7\%$  são considerados bons. Em certos casos, o valor  $R^2$  pode ser muito baixo, indicando que o consumo de energia é pouco afetado pelas variações de temperatura. Nestas situações, modelos de regressão com  $CV \leq 12\%$  são considerados satisfatórios. Reddy et al.(1997a; 1997b; 2000) adotaram em seus trabalhos a seguinte classificação: modelos com  $CV \leq 5\%$  são considerados excelentes;  $CV \leq 10\%$ , bons;  $CV \leq 12\%$ , satisfatórios;  $CV \leq 20\%$ , regulares e,  $CV > 20\%$ , fracos.

Quando os modelos mais simples não se ajustam de forma satisfatória com os dados de um determinado exemplo, isto é: não se obtêm valores significativos para os coeficientes  $R^2$  e  $CV$ , devemos tentar ajustá-los a modelos com descontinuidades (pontos de mudança). Isto ocorre quando durante um período do ano a variação de temperatura externa não influencia no consumo de energia, e, a partir de um

determinado mês, ela começa a influenciar. Os pontos de mudança estão associados a uma determinada temperatura de referência, que separa os dois períodos diferentes (ASHRAE 1997). São exemplos de mecanismos que controlam o funcionamento desses sistemas: termostatos em residências, controle de operação em sistemas HVAC, ciclos economizadores em edifícios comerciais (Reddy et al 1997a).

Um importante aspecto na identificação de modelos estatísticos de consumo de energia para o desenvolvimento de um *baseline* é a escolha da variável independente (regressor), e a forma funcional de cada modelo. A temperatura externa de bulbo seco tem sido reconhecida como a variável regressora de maior importância, especialmente em escalas mensais de tempo (Reddy et al. 1997a).

Os modelos de regressão são divididos em duas classes. Uma delas, é baseada no índice VBDD (Variable Base Degree Days), onde o efeito da temperatura externa é incorporado na variação de *Graus-dia* (variável calculada em função das diferenças entre as temperaturas externas e uma temperatura base referencial). A outra classe é baseada em médias mensais de temperatura (MMT). Ambos modelos possuem tipos similares de parâmetros não lineares: temperaturas base para os modelos VBDD, e descontinuidades (pontos de mudança) para os modelos MMT (ASHRAE 1997).

## **2.5 Modelos VBDD (Variable Base Degree-Day)**

O método VBDD (Variable Base Degree-Day) tem sido reconhecido como apropriado para a determinação de economias de energia em programas residenciais de conservação (Claridge et al. 1987). No entanto, também pode ser usado em edifícios comerciais de pequeno porte (Reddy et al. 1997a). VBDD significa adotar o valor da quantidade de graus-dia (Degree-day) como variável de referência (Variable Base) na correlação com o consumo de energia. No cálculo da demanda anual de energia para aquecimento, graus-dia é um parâmetro climático que pode ser definido como o somatório da diferença de temperatura, quando esta se encontra abaixo de uma temperatura base ( $T_b$ ). Quando a temperatura média diária for menor que  $T_b$ , calcula-se a diferença ( $T_b - T_{\text{méd}}$ ), somando-se estas diferenças, dia-a-dia, para todo o ano. Na situação de refrigeração, o cálculo é semelhante: quando a temperatura média diária for

maior que  $T_b$ , calcula-se a diferença ( $T_{med} - T_b$ ), somando-se também estas diferenças, dia-a-dia, para todo o ano (ASHRAE 1993; Goulart et al. 1998).

Nos cálculos dos valores de graus-dia deve-se levar em consideração o conceito *temperatura do ponto de balanço* (ponto de mudança), ou seja: temperatura externa acima da qual o clima não influencia mais no sistema aquecimento ou abaixo da qual não há influência no sistema de refrigeração. Este conceito é resultante da temperatura média interna menos o efeito do calor proveniente dos aparelhos, iluminação e ocupantes, ou seja:  $T_B = T_R - IG / BLC$ , onde  $T_R$  é a média da temperatura da sala em °C; IG é a média de ganhos de calor interno em Btu/h (W); e BLC (Building Load Coefficient) é chamado de coeficiente de carga do edifício em Btu/h\*F (W / K). (Erbs et al. 1983; ASHRAE, 1993; Sonderegger 1998)

O valor da *temperatura do ponto de balanço* ( $T_B$ ) adotado pode variar largamente de um prédio para outro, dependendo das preferências dos ocupantes em relação à regulagem dos termostatos e também das características do envelope de cada edificação. Por isso, o valor padrão para  $T_B$  de 18,3°C (65F) em geral não é respeitado (ASHRAE 1997). Erbs e outros (1983) foram pioneiros no desenvolvimento de modelos para se estimar valores médios de  $T_B$  e graus-dia. Em ASHRAE (1997) encontramos algumas tabelas formuladas com base nestes modelos e em função de diferentes temperaturas  $T_B$  para diversas cidades americanas. Valores de graus-dia para a cidade de Florianópolis calculados segundo metodologia ASHRAE e em função de dados climáticos locais podem ser encontrados no trabalho de Goulart e outros (1998).

Os graus-dia para aquecimento e refrigeração na equação do *baseline* de um modelo VBDD são calculados sobre um arbitrário período de dias utilizando-se dados de temperaturas diárias. Geralmente este período é o intervalo de tempo entre duas datas de leituras. Portanto, graus-dia para aquecimento é a soma das diferenças positivas entre a temperatura do ponto de balanço e a média diária de temperatura de bulbo seco. Graus-dia para refrigeração é a soma das diferenças positivas entre a média diária de temperatura de bulbo seco e a temperatura do ponto de balanço.

Um modelo VBDD é formulado através da regressão estatística dos dados de consumo mensal correlacionados com o somatório de graus-dia do período

correspondente. O consumo deve ser normalizado em função do número de dias do período de faturamento. Daí a importância do registro das datas de leituras de cada fatura. Dependendo do valor adotado para a temperatura do ponto de balanço, obteremos diferentes valores de graus-dia e, conseqüentemente, diferentes valores de  $R^2$  e CV para cada exemplo.

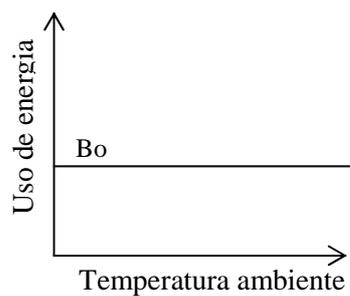
Em alguns meses do ano os valores dos graus-dia são iguais ou bem próximos de zero. Para minimizar os erros estatísticos provocados por este fato, é conveniente excluir da regressão todas as faturas correspondentes aos períodos onde o número graus-dia for menor que um valor referencial chamado *graus-dia limite*. O *graus-dia limite* pode ser expresso como uma média de graus-dia por dia correspondente a um determinado período. Um valor típico adotado (Sonderegger 1998) é 2°F (1,1°C). Isto significa que num período de 30 dias onde o valor do número graus-dia for menor que 60°F-dias ou 33,33°C-dias a fatura mensal correspondente deverá ser excluída da regressão.

## **2.6 Modelos (MMT) - Médias Mensais de Temperatura**

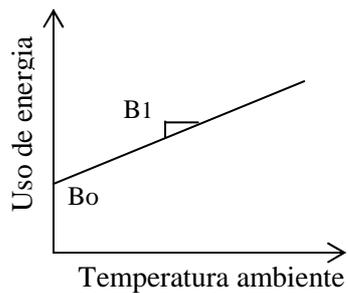
No lugar de usar o conceito graus-dia, outra abordagem aplica as médias mensais de temperatura (MMT) como variáveis regressoras para modelar o consumo médio mensal de energia. As médias mensais de temperatura devem corresponder aos períodos de leitura das faturas e não meramente ao calendário mensal. As formas funcionais dos modelos MMT serão apresentadas a seguir na figura 2.2, extraída do IPMVP (1997). A forma de cada função (de *a* até *g*) vai mudando na medida em que vão se introduzindo mais parâmetros, sendo: (a) um parâmetro-1P; (b) dois parâmetros-2P; (c) três parâmetros-3P-aquecimento; (d) três parâmetros-3P-refrigeração; (e) quatro parâmetros-4P-aquecimento; (f) quatro parâmetros-4P-refrigeração e (g) cinco parâmetros-5P-aquecimento e refrigeração.

Os dois primeiros modelos representados graficamente na figura 2.2 (a e b) são os mais simples, pois são lineares. O primeiro deles é aplicado para situações onde o consumo de energia ( $B_0$ ) independe das variações das temperaturas externas (por exemplo, sistemas de iluminação, quando são identificados em separado do consumo global de energia). O segundo, modelo 2P, caracteriza o consumo de energia que

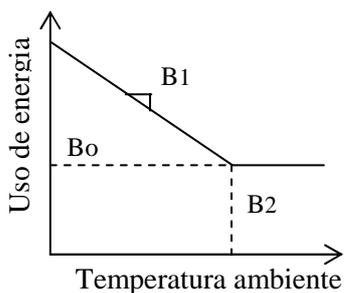
aumenta linearmente com o aumento das temperaturas externas. É elaborado através de uma regressão linear simples entre médias de consumo de energia e médias de temperatura. O terceiro exemplo (c) é um modelo que representa um consumo grande de energia quando a temperatura é baixa e este consumo vai diminuindo à medida que a temperatura vai aumentando até chegar a um determinado valor ( $B_2$  = ponto de mudança), onde, a partir do qual, a temperatura não irá mais influenciar no consumo. É uma situação típica para modelos de aquecimento. O exemplo (d) também é três parâmetros-3P, só que invertido. Na parte inicial do gráfico, as temperaturas ainda são pequenas e não influenciam no consumo de energia. A partir de um valor ( $B_2$ ) correspondente à temperatura do ponto de mudança o consumo começa a ser influenciado pelo aumento da temperatura. É um modelo recomendável para situações de refrigeração não constantes, ou seja: numa parte do período o consumo independe da temperatura e, na outra parte, cresce com o aumento desta. Os modelos restantes (4P e 5P) são combinações dos três primeiros.



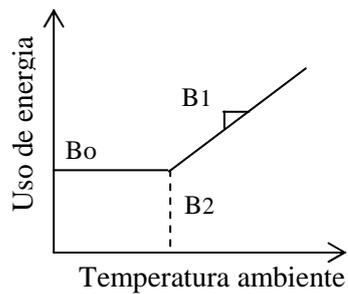
(a)



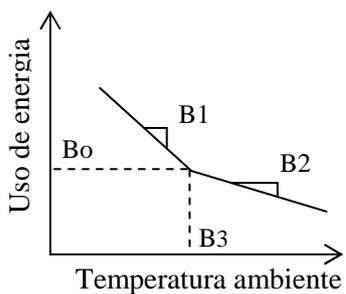
(b)



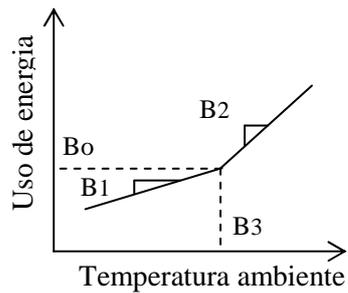
(c)



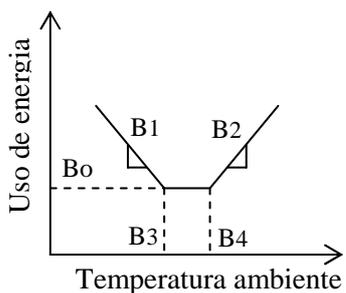
(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 2.2 – Modelos MMT – Médias Mensais de Temperatura (IPMVP, 1997)

## 2.7 Comparação entre modelos VBDD e modelos MMT.

Modelos VBDD e MMT foram usados no Texas (Reddy et al. 1997b) após auditorias de energia. Modelos de consumo e demanda de eletricidade, consumo de gás e consumo de água foram desenvolvidos para diversas unidades de uma base do exército americano entre os anos de 1989 e 1993.

Para os modelos MMT, os que se ajustaram melhor foram os de três parâmetros (3P- fig 2.2- c e d). Os modelos VBDD foram utilizados para situações de somente aquecimento, somente refrigeração, e aquecimento mais refrigeração. Foi observado que de uma maneira geral os modelos MMT apresentaram um desempenho melhor que os modelos VBDD. As razões desta superioridade não ficaram bem claras. Talvez devido ao fato dos modelos VBDD serem mais apropriados para residências. Dos prédios analisados, apenas 25% eram residenciais (Reddy et al. 1997b). Portanto, a maior parte das análises abordadas no trabalho se refere a modelos MMT.

Um estudo aplicando os modelos MMT foi realizado para oito diferentes bases do exército americano localizadas em diferentes estados (Reddy et al. 1997b). Foram desenvolvidos oito modelos para consumo de eletricidade e oito para consumo de gás. Como as mudanças identificadas nas áreas condicionadas eram pequenas (2% a 3%), não se justificou a normalização deste parâmetro.

Segundo critérios já discutidos (Reddy et al. 1997a; Reddy e Claridge 2000), para os oito modelos de eletricidade analisados, constatou-se que dois foram excelentes ( $CV < 5\%$ ); cinco bons ( $5\% < CV < 10\%$ ) e um regular ( $12\% < CV < 20\%$ ). Para os oito modelos de consumo de gás não foi encontrado nenhum excelente. Foram encontrados dois modelos bons, quatro regulares e dois fracos ( $CV > 20\%$ ). Isto nos faz observar que modelos para consumo de eletricidade tendem a se comportar melhor que modelos para consumo de gás.

## 2.8 Geração de Um Intervalo de Predição (IP) Para Modelos MMT

Os modelos de *baseline* desenvolvidos para um ano de referência podem ser usados para a predição do consumo de energia ajustado às condições climáticas. A comparação dos valores projetados a partir do modelo *baseline* com os valores do consumo atual, serve para verificar a necessidade ou não de fazer ajustes.

As regressões invariavelmente carregam uma quantidade de incertezas, e, portanto, para um modelo poder ser usado como ferramenta de análise de consumo de energia, devemos quantificar estas incertezas. O grau de credibilidade que deve ser anexado aos resultados é expresso através de um nível de confiança estatístico. Especificações de confiança são apenas convenções. Adotar 90% de nível de confiança parece ser um padrão em pesquisas de cargas elétricas. Um intervalo de predição (IP) com 90% de confiança em relação às estimativas do *baseline* pode ser determinado. Isto significa que: se  $Y$  é o valor predito pelo modelo, então os valores medidos correspondentes a  $Y$  devem ficar dentro do intervalo  $(Y + IP)$  e  $(Y - IP)$ . Para um modelo linear simples (por exemplo, modelo MMT - 2P), o valor IP pode ser calculado da seguinte maneira (Reddy et al. 1997a):

$$IP = t \left( 1 - \frac{\alpha}{2}, n - p \right) \times \left\{ \text{MSE} \left[ 1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \right] \right\}^{1/2} \quad (\text{equação 2.1})$$

onde:

$t$  = índice estatístico de avaliação em  $(1 - \alpha / 2, n - p)$ ;

$\alpha$  = nível de significância (com 90% de confiança,  $\alpha = 0,10$ );

$n$  = número de observações (número de faturas utilizadas, p.ex. 12 meses);

$p$  = número de parâmetros do modelo;

$X_0$  = variável individual independente (neste estudo, temperatura externa bulbo seco);

$X_i$  = variável independente (em nosso caso, o valor da temperatura externa durante a identificação do modelo, p.ex, para o ano *baseline* para o mês  $i$ );

$\bar{X}$  = média anual do valor de  $X_i$ .

MSE = (Mean Square Error). Este termo é conhecido como estimador de mínimos quadrados da variância do erro ( $\sigma^2$ ), o qual representa a distorção à reta. Intuitivamente, sua estimativa deve basear-se nos resíduos (Charnet et al. 1999). MSE é definido pela equação:

$$\text{MSE} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2}{n - p} \right] \quad (\text{equação 2.2});$$

onde:

$Y_i$  = valor do consumo mensal medido

$\hat{Y}$  = valor do consumo predito pelo modelo para o mês correspondente.

A equação 2.1 é estritamente válida para modelos lineares. Os modelos com pontos de mudança não são lineares. Reddy e outros (1997a) afirmam ter encontrado comportamento disperso em diversos trabalhos, onde, um ou outro lado do ponto de mudança apresenta um fenômeno conhecido como variância residual. As tentativas de correção deste problema utilizando-se recomendações de Draper e Smith (1981) têm tido um sucesso ainda limitado.

Para compensar o problema da variação residual Reddy e outros (1997a) sugerem um procedimento de modificação na equação 2.1. Se a variância apresentar um comportamento muito diferenciado entre o lado anterior e o lado posterior ao ponto de mudança., faz-se um desmembramento desta equação em duas partes. Uma delas servirá para calcular o IP anterior ao ponto de mudança, e a outra, o IP posterior a este ponto.

Chamando-se de  $n_1$  e  $n_2$  o número de meses de cada ano correspondentes aos períodos anterior e posterior ao ponto de mudança respectivamente, Reddy e outros (1997a) apresentam as seguintes equações para os cálculos dos IPs:

$$IP_1 = t\left(1 - \frac{\alpha}{2}, n - p\right) \times \left\{ MSE_1 + MSE \left[ \frac{1}{n} + \frac{(X_o - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \right] \right\} \quad (\text{eq. 2.3a})$$

$$IP_2 = t\left(1 - \frac{\alpha}{2}, n - p\right) \times \left\{ MSE_2 + MSE \left[ \frac{1}{n} + \frac{(X_o - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \right] \right\}^{1/2} \quad (\text{eq. 2.3b})$$

Onde:

$$MSE_1 = \sum_{i=1}^{n_1} \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n_1} \quad (\text{eq. 2.4a})$$

$$MSE_2 = \sum_{i=1}^{n_2} \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n_2} \quad (\text{eq. 2.4b})$$

Observa-se que nos modelos 3P, sendo  $n = 12$  e  $p = 2$ , para o cálculo do valor de  $t$  (Distribuição  $t$  de Student), o número de graus de liberdade é  $(n - p) = 9$ . Em modelos 3P, os dois segmentos IPs apresentados aparecem dentro de um período, durante os meses de inverno para modelos de refrigeração e os meses de verão, para modelos de aquecimento. São os meses onde o consumo de energia no modelo não é influenciado pela variação da temperatura externa. Este intervalo se expande nos meses de verão para modelos de refrigeração e inverno para modelos de aquecimento. Este é o período onde o consumo de energia no modelo é influenciado diretamente pelas diferenças entre os valores das temperaturas externas e a temperatura correspondente ao ponto de mudança.

## 2.9 Geração de intervalos IP com 90% de confiança numa base anual.

Draper e Smith (1981) apresentam uma equação a ser utilizada no cálculo do intervalo IP para uma média de  $m$  pontos individuais em modelos lineares simples:

1/2

$$IP_{\text{Anual}} = t\left(1 - \frac{\alpha}{2}, n - p\right) \times \left\{ \frac{\text{MSE}}{m} \left[ m + \frac{m}{n} + \frac{\sum_{o=1}^m (X_o - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \right] \right\} \quad (\text{eq. 2.5})$$

Esta equação é válida estritamente para modelos 2P. Em modelos com ponto de mudança de 3 e 4 parâmetros (3P e 4P), ela poderá ser usada somente se forem observadas duas condições: (i) nenhuma incerteza está associada ao ponto de mudança e (ii) o modelo de variância residual é constante.

Como já foi mencionado anteriormente, a segunda condição citada é frequentemente violada em modelos não lineares. Seguindo um desenvolvimento similar ao adotado para as previsões mensais, o intervalo de predição anual para modelos 3P e 4P poderá ser determinado através das seguintes equações:

$$IP_{\text{Anual}} = t\left(1 - \frac{\alpha}{2}, n - p\right) \times (\text{VAR})^{1/2} \quad (\text{eq. 2.6})$$

e

$$\text{VAR} = \left\{ \left[ \sum_{o=1}^{m_1} \text{MSE}_1 \right] + \left[ \sum_{o=1}^{m_2} \text{MSE}_2 \right] + \text{MSE} \left[ \frac{m}{n} + \frac{\sum_{o=1}^m (X_o - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \right] \right\} / m \quad (\text{eq.2.7a})$$

onde  $m_1$  e  $m_2$  são valores que representam o número de meses anual dos períodos antes e depois do ponto de mudança, respectivamente, e  $m = 12$  se todas as faturas mensais de um ano de consumo estiverem disponibilizadas.

Para a maioria dos casos estudados o segundo termo que multiplica MSE na equação 2.7a é reduzido ao valor 1 e, no máximo chega ao valor 1,2 (Reddy et al. 1997a). Assumindo-se o valor 1 para todos os casos, ainda ficamos com um erro menor que 10% para o termo multiplicativo de MSE, que em termos de VAR o erro final fica reduzido a um valor menor que 1%. Desta maneira, sugere-se uma simplificação para a equação 2.7a que é transformada na seguinte:

$$\text{VAR} = \{[(\text{MSE}_{1.m_1} + \text{MSE}_{2.m_2}) + 2.\text{MSE}]\} / m. \quad (\text{eq. 2.7b})$$

## **2.10 Porcentagem de mudança no consumo de energia normalizado numa base anual.**

Um dos principais objetivos desta pesquisa é avaliar mudanças no consumo anual de energia em uma edificação entre dois períodos diferentes. Os modelos *baseline* MMT e VBBD descritos anteriormente podem ser usados para se determinar as mudanças ocorridas no consumo devido à influência da variação da temperatura externa bulbo seco. É importante lembrar que os modelos apresentados só consideram esta variável nos cálculos. Análises dos efeitos das mudanças de taxa de ocupação dos ambientes, variação da área condicionada e outras variáveis importantes deverão ser feitas simultaneamente à parte.

As equações que seguem foram utilizadas para se determinar mudanças ocorridas na média anual do consumo de energia (Reddy et al. 1997a). Primeiramente definem-se as mudanças por área condicionada ( $\Delta Y$ ) ano 92, referenciada ao ano *baseline* 85 usando a seguinte equação:

$$\Delta Y(\text{ano 92}) = \bar{Y} \text{ medido (ano 92)} - \bar{Y} \text{ modelo } \textit{baseline} \text{ (ano 92)} \quad (\text{eq. 2.8})$$

$\bar{Y}$  modelo *baseline* (ano 92) é o consumo anual de energia determinado como a média dos valores de 12 meses calculados em função da equação do modelo *baseline* do ano referencial 85 usando-se as correspondentes médias mensais de temperatura do ano 92.  $\bar{Y}$  medido (ano 92) é o consumo médio anual de energia medido nas faturas mensais do ano de 92, normalizado para a correspondente área condicionada daquele ano. A porcentagem de mudança numa base anual é definida assim:

$$\% \Delta Y(\text{ano } 92) = \frac{\bar{Y}_{\text{medido}}(\text{ano } 92) - \bar{Y}_{\text{modelo baseline}}(\text{ano } 92)}{\bar{Y}_{\text{modelo baseline}}(\text{ano } 92)} \times 100 \quad (\text{eq. 2.9})$$

Quando se usa  $\bar{Y}$  modelo *baseline* (ano 92) no denominador fica estabelecida uma base comum para comparações do consumo de energia através de vários diferentes anos.

Finalmente, quando se deseja computar a porcentagem de mudança num método simples de comparação de faturas, ou seja, sem a utilização do modelo *baseline* que leva em consideração as diferenças das condições climáticas (pequenas alterações nos valores das médias mensais da TBs) entre dois períodos diferentes (o ano *baseline*, e o ano específico em questão), Reddy e outros (1997a) apresentam a seguinte equação:

$$\% \Delta Y(\text{ano } 92/85) = \frac{\bar{Y}_{\text{medido}}(\text{ano } 92) - \bar{Y}_{\text{baseline medido}}(\text{ano } 85)}{\bar{Y}_{\text{baseline medido}}(\text{ano } 85)} \times 100 \quad (\text{eq. 2.10})$$

As incertezas associadas às medições do consumo de energia devem ser explicitamente consideradas segundo recomendações da American Society of Mechanical Engineers (Reddy et al. 1997a):

$$\text{Erro em } \left( \frac{B \pm b}{A \pm a} \right) = \frac{B}{A} \left[ \left( \frac{a}{A} \right)^2 + \left( \frac{b}{B} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{eq. 2.11})$$

Sendo **A** e **B** o numerador e denominador do lado direito da equação 2.9, **a** o erro considerado no modelo (nesta pesquisa, 90% do intervalo IP) e **b** o erro correspondente aos dispositivos de medição (também considerado com um nível de confiança de 90%), a equação para medir a variação do consumo anual ( $\square Y$ ) considerando o intervalo de predição IP pode ser expressada assim:

$$IP_{\text{Anual}}(\square Y) = 100 * \frac{\bar{Y}_{\text{medido}}(\text{ano } 92)}{\bar{Y}_{\text{modelo baseline}}(\text{ano } 92)} * \left\{ t\left(1 - \frac{\alpha}{2}, n - p\right)^2 * \frac{VAR_{\text{Modelo}}}{[\bar{Y}_{\text{modelo baseline}}(\text{ano } 92)]^2} + (\text{fração do erro referente às medições})^2 \right\}^{1/2} \quad (\text{eq. 2.12})$$

onde o valor  $VAR_{\text{Modelo}}$  é obtido usando-se a equação 2.7b. Valores típicos de 2% (eletricidade) e 5% (gás) são adotados para a fração do erro referente às medições, com um nível de confiança de 90%. Mesmo quando o modelo de regressão é muito bom (conseqüentemente o erro de predição do modelo é pequeno), a contribuição das incertezas devido às medições em relação ao total de incertezas tende a ser bem pequena. Reddy e outros (1997b) trabalharam com incertezas de 3% para consumo de eletricidade e 5% para consumo de gás num estudo realizado no estado americano do Texas. A partir dos resultados obtidos eles concluíram que as incertezas referentes às medições podem, em muitos casos, serem consideradas desprezíveis quando se está determinando os intervalos IPs.

## 2.12 Procedimentos Para Correções Quando as Datas de Leituras das Faturas Não Estão Identificadas.

A determinação de uma média mensal da temperatura externa de bulbo seco correspondente ao período da fatura é essencial na identificação de um correto modelo *baseline* MMT. Quando as datas de leituras das faturas são desconhecidas, elas podem

ser identificadas de uma maneira com razoável exatidão (Reddy et al. 1997a) adotando-se o seguinte processo de busca:

- 1- Assumir que as datas de leituras das faturas correspondem ao calendário mensal associado.
- 2- Identificar o modelo de regressão MMT mais apropriado, ou seja, aquele com o mais alto valor de  $R^2$  e mais baixo CV
- 3- Deslocar alguns dias o intervalo mensal (sugerem-se incrementos de cinco dias, embora incrementos menores ou maiores possam ser usados). Recalcular o valor associado da média de temperatura.
- 4- Repetir o segundo e o terceiro passo até o deslocamento de um mês para frente e para trás.
- 5- Os valores atuais das datas de leitura assumidos serão aqueles que estiverem associados ao modelo de regressão que gerar um menor valor para CV.

### **2.13 Considerações finais**

Nos trabalhos consultados foram discutidas várias questões relativas aos principais procedimentos usados na determinação de um *baseline*. Aborda-se uma visão geral dos Protocolos de Medição e Verificação (M&V). Identifica-se a Opção C como uma recomendação inicial (INEE 1997) a ser adotada em função dos recursos financeiros e facilidade de obtenção dos dados para análise (faturas mensais de energia e temperaturas externas bulbo seco). São citados exemplos de modelos VBDD e MMT. Consta-se um melhor desempenho na utilização dos modelos MMT e que estes são mais recomendados para aplicações em edificações não residenciais. Observa-se também (figura 2.2) que existem modelos MMT lineares e modelos com descontinuidades que são chamadas de pontos de mudança, correspondentes às temperaturas onde o modelo muda de comportamento independente do clima para dependente do clima e vice-versa. A determinação e identificação da representatividade dos modelos podem ser feitas através de dois caminhos: (i) simulação calibrada e (ii) correlações estatísticas entre

faturas de consumo com médias de temperaturas externas. Foram abordados aqui exemplos seguindo o segundo caminho. Através de análises de regressão, utilizando-se os coeficientes R<sup>2</sup> e CV como parâmetros de avaliação, determina-se um período representativo das condições pré-contratuais conhecido como *baseline*, e estimam-se consumos de energia. Em seguida, foram apresentadas equações simplificadas para a determinação de intervalos de predição (IP) em modelos lineares e não lineares e as várias maneiras de se avaliar as mudanças no consumo ano-a-ano. Por último, discutem-se os erros envolvidos no processo e os procedimentos para as correções quando houver insuficiência de informações sobre as datas de leituras das faturas. No próximo capítulo apresenta-se uma metodologia desenvolvida para a aplicação da teoria aqui abordada. Utiliza-se uma base de dados de auditorias energéticas realizadas pelo LabEEE e complementadas por dados de temperaturas obtidos através da EPAGRI .

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 Formação do banco de dados**

Uma grande parte do banco de dados utilizado nesta pesquisa foi gerada dentro do “Projeto 6 Cidades”, uma pesquisa para implementação de medidas de eficiência energética, incentivado pelo PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Em Florianópolis, o Projeto é executado pelo LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações). Foram realizadas auditorias em três prédios: ELETROSUL (Centrais Elétricas do Sul do Brasil S. A.), TELESC (Telecomunicações de Santa Catarina S. A.) e FIESC (Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina). Uma equipe do LabEEE levantou dados relativos à arquitetura, potência instalada dos equipamentos, tempo de ocupação dos edifícios, etc. Além disso foram realizadas medições in loco do consumo do sistema de iluminação, equipamentos, sistemas de ar condicionado e elevadores.

Outra parte dos dados desta pesquisa foi obtida da dissertação de mestrado de Toledo (1995), onde se encontra um banco de dados sobre vários edifícios comerciais e públicos da cidade de Florianópolis. Foram selecionados doze prédios de escritórios. Do banco de dados relativo a estes prédios obtiveram-se informações sobre área construída e condicionada de cada um, e ainda os valores do consumo mensal de energia a partir do mês de julho de 1991 até o mês de junho de 1994.

Quanto às informações sobre temperatura, inicialmente se resumiram aos dados parciais de arquivos climáticos, coletados nos relatórios de auditorias do Projeto 6 Cidades. Em seguida as informações foram ampliadas consultando-se os trabalhos Goulart (1993) ; Goulart et al. (1998) . Para a obtenção de dados reais de temperaturas externas de bulbo seco (TBs) referentes aos períodos analisados, foram realizados

contatos com a EPAGRI, que nos atendeu prontamente, fornecendo as informações solicitadas.

Ampliando as informações sobre consumo de energia de alguns edifícios, utilizamos dados de bienais fornecidos pela CELESC que se encontravam arquivados no LabEEE. Estes dados foram digitalizados e atualmente estão disponibilizados em arquivos de extensão xls.

### **3.2 A escolha dos modelos**

Foram citadas no capítulo anterior duas classes de modelos conhecidas como VBDD e MMT. Os modelos MMT são reconhecidos como mais apropriados para edificações comerciais e serão usados predominantemente em nosso trabalho, devido à semelhança com os tipos de edificações pertencentes ao banco de dados do LabEEE que foi escolhido para ser analisado. No entanto, também foram desenvolvidos modelos VBDD para os três prédios do Projeto 6 Cidades e os resultados comparados com alguns modelos MMT. Outra observação importante em relação a nossa realidade é quanto à falta de exemplos para modelos de aquecimento. Nas edificações aqui estudadas não se constatou nenhum exemplo de sistema de aquecimento, nem elétrico, nem a gás.

Teoricamente, a primeira etapa da avaliação do desempenho de um modelo estatístico consiste na realização de um teste de hipóteses. Estas hipóteses testam a contribuição da variável regressora **X** para explicar a variável resposta **Y** (Charnet e outros 1999). Em cada exemplo do trabalho aqui desenvolvido, testou-se a influência da variável regressora **TBs** (temperatura externa bulbo seco) sobre a variável resposta **E** (consumo de Energia). Em cada exemplo foi construída a tabela de análise de variância (ANOVA) permitindo a realização do teste estatístico F. O trabalho abordou estritamente a correlação simples de uma variável resposta **Y** (ou **E**) com outra regressora **X** (ou **TBs**), seguindo a abordagem da Opção C (IPMVP 1997) e ao enfoque analítico citado no capítulo anterior.

Inicialmente, antes de efetuar qualquer cálculo para testar a significância estatística dos dados, representou-se graficamente a variação do consumo de energia

mês-a-mês, para cada prédio estudado. É importante a representação num mesmo gráfico dos consumos mensais de energia ano-a-ano. Assim, é possível identificar visualmente a variação de cada mês ao longo dos anos subsequentes. Nesta visualização gráfica, foram identificados anualmente os meses em que o consumo tende a ser influenciado pela variação da temperatura, daqueles em que o consumo independe dela. A representação gráfica anual da variação das médias mensais de temperatura ajuda-nos a perceber o relacionamento destas com os respectivos consumos de energia.

Os cálculos e a apresentação gráfica dos dados necessários para a construção dos modelos podem ser realizados em qualquer planilha eletrônica. Neste trabalho utilizou-se o programa Excel. Optou-se por digitar as equações necessárias aos cálculos dos coeficientes  $R^2$ , CV e determinação dos Intervalos de Predição (IP). As planilhas foram organizadas de forma que os dados de entrada pudessem ser substituídos com rapidez, obtendo-se imediatamente, quando solicitados, os novos dados de saída.

O trabalho seguinte consistiu na determinação dos coeficientes  $R^2$  e CV de cada exemplo, admitindo-se inicialmente a existência de um relacionamento linear entre o consumo mensal e a média TBs do período correspondente. Quando as datas de leituras das faturas são informadas, deveremos calcular a média TBs correspondente ao período de cada fatura, representado pelo número de dias entre uma leitura e outra. Em algumas situações, como foi o caso das informações extraídas de bienais, não estavam disponibilizadas as datas das leituras dos consumos mensais. Sendo assim, para estes exemplos, as médias de temperaturas foram calculadas em função do calendário mensal padrão. Portanto, é uma média que geralmente não corresponde exatamente ao número de dias do intervalo entre duas leituras, pois, estas leituras variam ligeiramente em cada período, e não são feitas necessariamente no primeiro, nem no último dia de cada mês.

O consumo global representado numa fatura mensal agrega vários usos finais de energia. Quando se avalia a influência da variação da temperatura externa sobre a variação deste consumo, deve-se ter consciência de que a parcela correspondente ao sistema de refrigeração é a grande responsável por esta correlação, já que não se analisam aqui sistemas de aquecimento. Apesar de se poder usar o valor do consumo global para uma caracterização aproximada do período *baseline*, é sempre conveniente se fazer uma estimativa para consumo de ar condicionado, bem como de todos os

sistemas de refrigeração identificados em cada edificação. Lamberts e Signor (1996) apresentaram uma metodologia simplificada para o desmembramento de cargas de consumo aplicada a uma edificação de Florianópolis. É importante lembrar, que mesmo nos meses de inverno, alguns sistemas de refrigeração continuam funcionando. Esta constatação revela mais uma parcela do consumo global que independe do clima.

### **3.3 A seqüência do trabalho.**

#### **3.3.1 - Aplicação de modelos MMT (Médias Mensais de Temperaturas) para 12 prédios**

Inicialmente se apresenta graficamente o comportamento das médias mensais de temperaturas externas de bulbo seco (TBs) para três intervalos anuais começando em julho de 1991 e terminando em junho de 1994. Os valores foram superpostos num mesmo gráfico, facilitando uma comparação ano-a-ano das trajetórias destas médias. Em seguida, se procede individualmente a análise de cada prédio. Cada análise consta das seguintes etapas:

- ✓ Apresentação gráfica do consumo mensal de energia do período jul/91 a jun/94, de forma semelhante ao que foi feito para as médias TBs.
- ✓ Análise comparativa do gráfico de consumo de energia com o gráfico de temperaturas.
- ✓ Análise do gráfico de consumo de energia, comparando as trajetórias ano-a-ano.
- ✓ Identificação de valores extremos de consumo mensal (superiores e inferiores).
- ✓ Interpretação destes valores, e tratamento dos dados para o processamento da análise de regressão.
- ✓ Processamento da análise de regressão simples dos doze pares (Y=consumo; X=TBs) de valores anuais, de cada um dos anos disponíveis.

- ✓ Comparação dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e de variação (CV), obtidos em cada regressão.
- ✓ Identificação do ano que apresenta os melhores coeficientes  $R^2$  e CV para servir como referencial *baseline* do período.
- ✓ Apresentação do gráfico de Intervalos de Predição (IP) referente ao período analisado.
- ✓ Comparação entre consumos anuais medidos e preditos

Terminada esta seqüência de etapas para todos os doze prédios é feita uma síntese dos resultados das porcentagens de mudanças anuais e uma comparação geral entre eles. Em seguida, comenta-se sobre resultados pouco expressivos de alguns coeficientes de determinação ( $R^2$ ) do conjunto analisado. Por fim, argumenta-se a alternativa para utilização destes modelos em função de resultados significativos do coeficiente de variação (CV).

### **3.3.2 Aplicação de modelos MMT e VBDD para os prédios do projeto 6 cidades.**

Nesta segunda etapa do trabalho, foi utilizado o banco de dados do Projeto 6 Cidades. A abordagem inicial é idêntica à que foi feita para os doze prédios comentados na seção anterior, no entanto, o enfoque seguinte foi bem diferente. Enquanto nos doze prédios se deu ênfase à comparação das predições anuais de consumo para cada modelo MMT individualmente, no grupo de prédios do Projeto 6 cidades a abordagem principal foi diferente. Praticamente todas as etapas citadas na análise dos doze prédios foi repetida aqui, exceto a última (“proceder a comparação entre consumos anuais medidos e preditos”). A importante informação sobre as datas de leituras das faturas mensais de consumo (agora disponíveis para este grupo) possibilitou a criação de diferentes tipos de modelos para cada prédio. A apresentação destes modelos teve a seguinte seqüência:

- ✓ Seleção de seis tipos de modelos MMT com diferentes alternativas de dados de entrada.

- ✓ Identificação dos dados de entrada de cada modelo – A variável dependente e a variável independente.
- ✓ Apresentação (em tabela e em gráfico) dos resultados dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e de variação ( $CV$ ) obtidos para cada um dos seis modelos.
- ✓ Análise de desempenho, comparando os seis tipos de modelos MMT em cada prédio.
- ✓ Análise de desempenho, comparando cada tipo de modelo MMT entre os três prédios.
- ✓ Seleção de seis tipos de modelos VBDD com três diferentes temperaturas-base.
- ✓ Para cada temperatura base, criação de um modelo com a variável  $X$  = número de *Graus-dia* mensal e outro com esta mesma variável, porém normalizada em relação ao número de dias úteis do intervalo entre leituras.
- ✓ Apresentação (em tabela e em gráfico) dos resultados dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e de variação ( $CV$ ) obtidos para cada um dos seis modelos.
- ✓ Análise de desempenho, comparando os seis tipos de modelos VBDD em cada prédio.
- ✓ Análise de desempenho, comparando cada tipo de modelo VBDD entre os três prédios.
- ✓ Apresentação conjunta em gráfico dos resultados dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e de variação ( $CV$ ) obtidos de todos os modelos (MMT e VBDD) para cada um dos três prédios.
- ✓ Comparação geral dos modelos MMT e VBDD.
- ✓ Identificação dos modelos de melhor desempenho.

Para concluir, são feitas as considerações finais, onde se avaliam os resultados do trabalho como um todo. Os procedimentos adotados são citados e o desempenho geral obtido com a aplicação dos modelos é avaliado. Por fim, são comentados alguns pontos do trabalho relacionados aos objetivos propostos, deixando-se as conclusões e propostas para o capítulo final.

## **4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

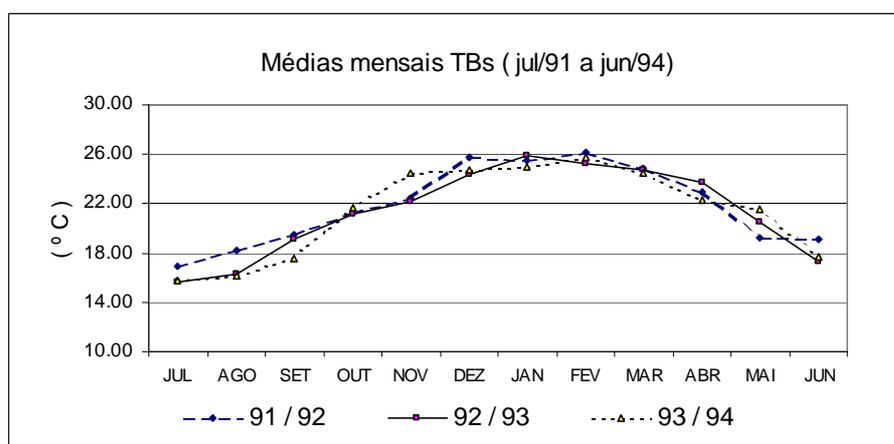
### **4.1 Aplicação de modelos MMT (Médias Mensais de Temperaturas) para 12 prédios**

A partir de um banco de dados encontrado no trabalho de Toledo (1995), testaram-se modelos MMT para 12 prédios (públicos e comerciais) selecionados da cidade de Florianópolis - SC.

Os edifícios que compõem a análise são:

- ✓ Assembléia Legislativa (edf 1)
- ✓ Banco do Brasil (edf 2)
- ✓ Caixa Econômica Federal (edf 3)
- ✓ CASAN (edf 4)
- ✓ CELESC (edf 5)
- ✓ Edifício das Diretorias (edf 6)
- ✓ Edifício das Secretarias (edf 7)
- ✓ EMBRATEL (edf 8)
- ✓ Fórum-Florianópolis (edf 9)
- ✓ Palácio do Governo (edf 10)
- ✓ Secretaria de Educação (edf 11)
- ✓ Tribunal de Contas (edf 12)

Os Dados de consumo mensal de energia de cada prédio foram colocados num gráfico, representando um período de três intervalos anuais superpostos. O período começa em julho de 1991 e termina em junho de 1994. A variação das médias mensais de temperaturas externas de bulbo seco na cidade de Florianópolis também foi analisada para o mesmo período. Esta variação é apresentada na figura 4.0

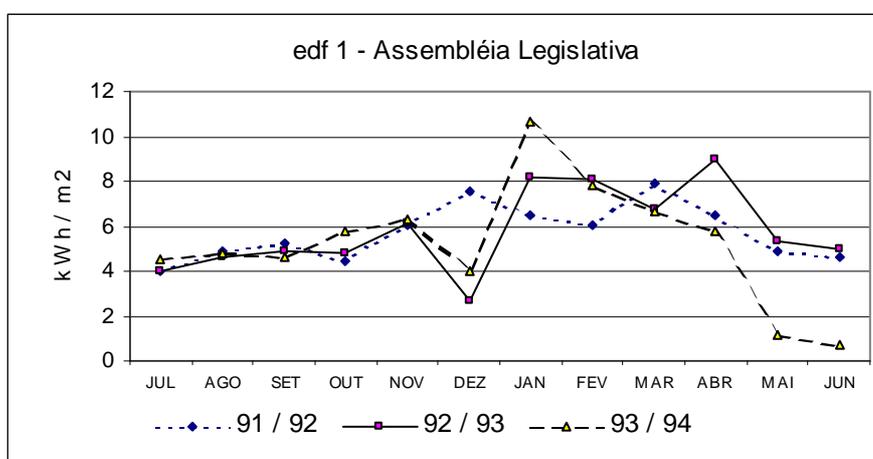


**Figura 4.0 – Médias mensais de Temperatura de Bulbo Seco (°C) – fonte - EPAGRI**

Observando a variação da temperatura externa de bulbo seco (TBS) para cada um dos três anos apresentados, percebe-se que o comportamento desta, em média, segue uma tendência de elevação a partir do mês de julho, chegando a um valor máximo entre os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, e, a partir de março, começa a declinar até o mês de junho. Antes da análise do consumo de energia de cada prédio, é sempre oportuno comparar graficamente o comportamento anual destas duas variáveis: Consumo mensal de energia (kWh) X Média mensal TBS (°C). Os resultados e as discussões para cada um dos doze prédios serão apresentados a seguir:

#### 4.1.1 Assembléia Legislativa

##### 4.1.1.1 Consumo mensal de energia x médias TBS ano-a-ano



**Figura 4.1 – Consumo mensal de energia (kWh/m²) – jul/91 a jun/94 – edf 1**

Analisando a figura 4.1, inicialmente podemos observar que o consumo de energia segue uma tendência de se elevar ligeiramente no início do período, atingir valores altos no meio do período e declinar novamente no final. Como já foi visto na figura 4.0, este comentário também se aplica às médias TBs. Porém, uma contradição forte aparece nos meses de dezembro dos dois últimos anos (92/93 e 93/94). Houve uma queda do consumo muito acentuada. Este comportamento será observado também em outros dos doze prédios desta análise. Podemos interpretar que, possivelmente, nestes meses, deve ter havido uma grande variação nos intervalos entre duas leituras. Outra possibilidade, é que a taxa de ocupação pode ter diminuído muito devido à interferência dos feriados de fim-de-ano.

Se o intervalo entre duas leituras consecutivas é reduzido, e a data da leitura seguinte não é antecipada, mantendo-se dentro do padrão anterior, conseqüentemente, o intervalo seguinte ao reduzido, fica ampliado, o que vai provocar um aumento extra no consumo registrado na próxima fatura. O grande salto no consumo acima do normal no mês de janeiro do ano 93/94 pode ser um exemplo deste tipo de desajuste. Sendo assim, o procedimento no tratamento dos dados para a realização da análise de regressão do consumo em função das temperaturas foi o seguinte: (i) calcular a média aritmética dos dois valores (consumos de dezembro e janeiro); (ii) substituir os valores originais dos consumos destes dois meses pelo valor calculado em (i). No ano 93/94, encontram-se também dois valores atípicos. Os consumos dos dois últimos meses (maio e junho) apresentados no gráfico, estão muito abaixo dos valores correspondentes aos mesmos meses dos anos anteriores. Sendo assim, se decidiu adotar um procedimento já usado em trabalho anterior de análise de consumo de energia (Lamberts e Signor, 1996), ou seja: adotar, para o ano 93/94 as médias aritméticas dos respectivos meses de maio e junho dos dois anos anteriores.

Testando um modelo MMT linear, tipo dois parâmetros, encontramos os valores de  $R^2$  (coeficiente de determinação) e CV (coeficiente de variação) para cada um dos três anos do período. Estes coeficientes estão apresentados na tabela 4.1

**Tabela 4.1 – Coeficientes  $R^2$  e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 1**

<b>edf 1</b>	<b>91 / 92</b>	<b>92 / 93</b>	<b>93 / 94</b>
<b><math>R^2</math></b>	0,72	0,56	0,86
<b>CV (%)</b>	12,0	13,6	7,6

O procedimento agora será escolher um dos três anos analisados, que represente melhor o período que é definido como *baseline*. De acordo com a tabela 4.1, o período correspondente ao último ano (93/94) apresenta os melhores coeficientes, ou seja, o maior  $R^2$  e o menor CV. Na análise de regressão que gerou estes coeficientes, obtemos a seguinte equação:

$$E = -0,32 + 0,29 \text{ TBs} \quad (\text{eq. 4.1})$$

Onde **E** é a variável dependente, que representa o consumo mensal de Energia/m<sup>2</sup> predito pelo modelo, e **TBs** é a variável independente, representando a média mensal correspondente das temperaturas externas de bulbo seco. A partir daí, podemos obter os intervalos de predição (IP), calculados através da equação 2.1 (capítulo 2) e ter uma idéia do comportamento do modelo comparando-se com o consumo medido durante qualquer período.

#### **4.1.1.2 Consumo medido (real) x consumo predito pelo modelo**

A figura 4.1a mostra o comportamento do consumo medido em comparação com o consumo predito pelo modelo através dos três anos consecutivos do período analisado. Os intervalos de predição foram calculados para uma confiança de 90%. Observa-se que praticamente durante todo o período os valores medidos ficam dentro da faixa de predição, excetuando-se o mês de abril do ano 92/93. O consumo alto daquele mês já poderia ter sido observado no gráfico anterior, figura 4.1. No mês de janeiro deste mesmo ano, observamos também um valor medido ligeiramente abaixo do predito.

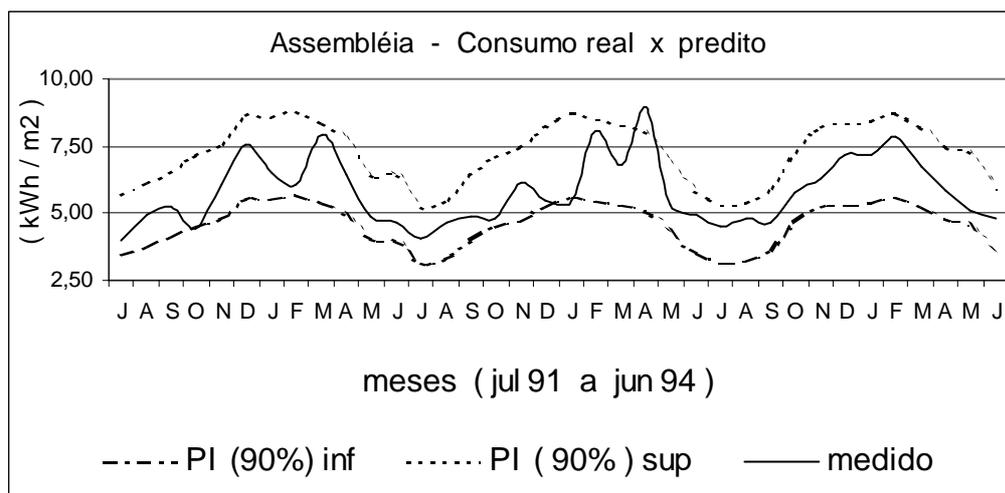


Figura 4.1a – Consumo real X predito – jul/91 a jun/94 – edf 1

#### 4.1.1.3 Porcentagem de mudança no consumo de energia normalizado numa base anual.

Complementando a análise, utilizaremos a seguir a tabela 4.1a , onde será apresentado o consumo total medido e o predito para cada um dos três anos do intervalo. Na mesma tabela, encontram-se os valores obtidos com a aplicação das equações 2.9, 2.10 e 2.12, apresentadas no capítulo 2. O ano *baseline* já definido no item 4.1.1.1 em função dos coeficientes  $R^2$  e  $CV$  é usado como referencial de comparação com os outros dois anos do período. Usualmente num *retrofit* a predição é mais aplicada para anos posteriores. No entanto, é importante lembrar que os valores preditos podem ser calculados tanto para anos anteriores quanto posteriores ao ano *baseline*. Para o ano referente ao *baseline*, o valor medido é igual ao predito, pois, na análise de regressão, o somatório dos valores das observações  $Y$  (consumo medido) é sempre igual ao somatório dos valores  $\hat{Y}$  (consumo predito pelo modelo).

Tabela 4.1a – Comparação entre consumo (kWh/m<sup>2</sup>) total anual medido x predito - edf 1

edf 1	91 / 92	92 / 93	93 / 94
medido	68,52	66,79	70,57
predito	71,99	70,28	70,57
eq2.9 (%)	-4,8	-5,0	<i>baseline</i>
eq2.10 (%)	-2,9	-5,4	
eq2.12 (%)	21,6	22,2	
eq2.12 (%) cor.	21,8	22,5	

Como o ano *baseline* determinado para este prédio é o último dos três, as previsões são feitas sempre para anos anteriores. Na comparação direta do consumo medido, observamos um acréscimo no consumo do primeiro até o terceiro ano do período, passando por um decréscimo no segundo ano. Aplicando a equação 2.10, encontramos para o ano 92/93 um consumo 5,4% menor que o valor medido para o ano *baseline*. Fazendo o mesmo com o ano 91/92, encontramos o valor 2,9%. Já na utilização da equação 2.9, a comparação é entre o valor medido e o valor predito do mesmo ano. Neste caso, encontramos os percentuais negativos de 4,8% e 5,0%, respectivamente para os anos 91/92 e 92/93. A variação do consumo anual ( $\Delta Y$ ) considerando o intervalo de previsão IP pode ser determinada através da equação 2.12, discutida no capítulo 2. Quando se considera uma porcentagem de erro devido às medições, se obtém um valor ligeiramente superior. Os valores calculados para cada ano são praticamente iguais, como se pode observar na mesma tabela.

A seguir, os outros prédios citados serão analisados de uma forma semelhante à que foi feita com o primeiro. Os aspectos semelhantes aos já discutidos, que não tiverem um caráter particular importante serão omitidos para não se tornarem repetitivos. No final da apresentação do conjunto dos doze prédios faremos uma síntese das observações mais importantes.

#### 4.1.2 Banco do Brasil

##### 4.1.2.1 Consumo mensal de energia x médias TBs ano-a-ano

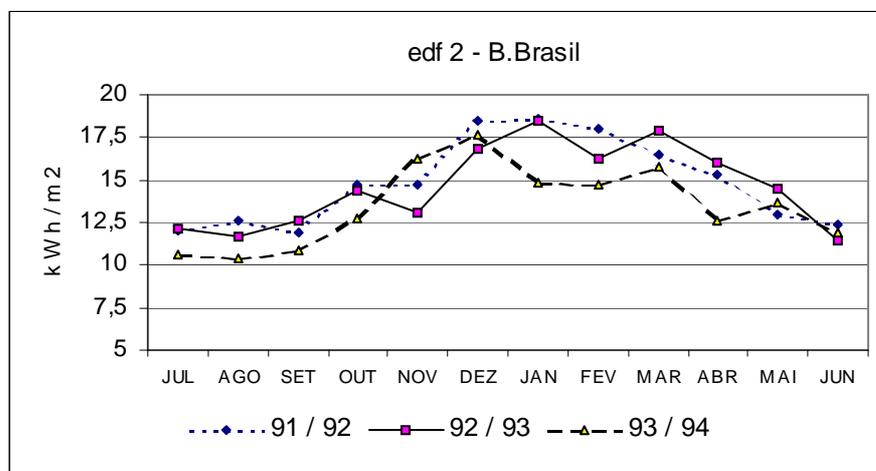


Figura 4.2 – Consumo mensal de energia (kWh/m²) – jul/91 a jun/94 – edf 2

Na figura 4.2, podemos também notar algumas semelhanças entre a trajetória do consumo mensal de energia e a trajetória das médias mensais TBs (fig4.0). Testando um modelo MMT linear, tipo dois parâmetros, encontramos os valores de  $R^2$  e CV para cada um dos três anos do período, que estão apresentados na tabela 4.2

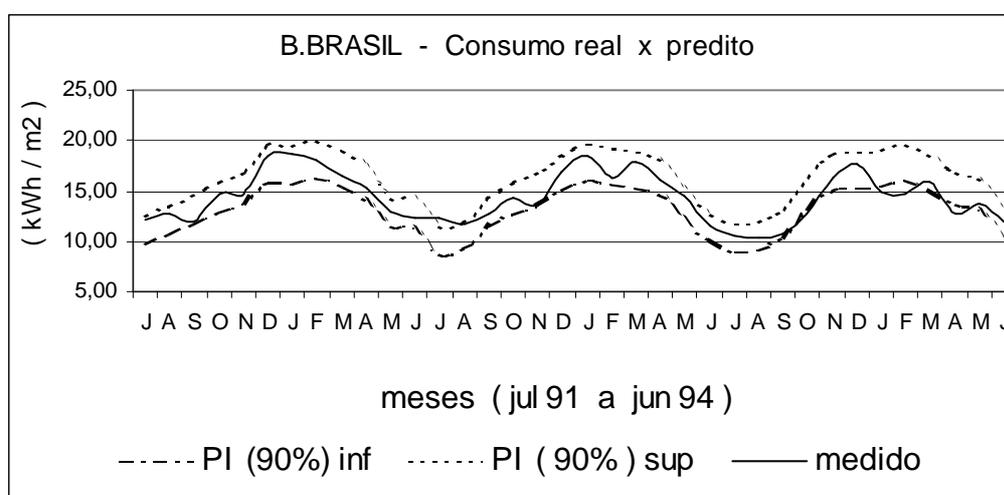
**Tabela 4.2 – Coeficientes  $R^2$  e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 2**

edf 2	91 / 92	92 / 93	93 / 94
$R^2$	0,93	0,86	0,81
CV (%)	4,7	6,5	8,1

O ano 91/92 apresenta os melhores coeficientes, sendo então escolhido como representante do período *baseline*. A equação do modelo é a seguinte:

$$E = - 1,58 + 0,75 \text{ TBs} \quad (\text{eq. 4.2})$$

#### 4.1.2.2 Consumo medido x consumo predito pelo modelo



**Figura 4.2a – Consumo real X predito – jul/91 a jun/94 – edf 2**

O gráfico dos intervalos de predição apresentado na figura 4.2a nos mostra que os valores medidos se encontram dentro da faixa predita durante quase todo o período estudado. No mês de julho do ano 91/92, o valor medido extrapola o intervalo. Nos meses de janeiro, fevereiro e abril do último ano (93/94) o consumo medido é inferior ao predito pelo intervalo.

### 4.1.2.3 Porcentagem de mudança no consumo de energia normalizado numa base anual.

Tabela 4.2a – Comparação entre consumo (kWh/m<sup>2</sup>) total anual medido x predito - edf 2

edf 2	91 / 92	92 / 93	93 / 94
medido	178,45	176,12	161,99
predito	178,45	173,98	174,75
eq2.9 (%)	<i>baseline</i>	1,2	-7,3
eq2.10 (%)		-1,3	-9,2
eq2.12 (%)		9,7	8,8
eq2.12 (%) cor.		10,3	9,4

A tabela 4.2a nos mostra que o consumo anual medido reduziu nos dois anos subsequentes ao ano *baseline*, num percentual de -1,3% para 92/93 e -9,2% para 93/94. Porém, os resultados do consumo normalizado (equação 2.9) indicam que o consumo medido foi maior 1,2% que o predito em 92/93, e menor 7,3% em 93/94. A variação  $\% \Delta Y$  (equação 2.12) confirma a pequena diferença entre os valores calculados considerando-se o erro de medições (10,3 para 92/93 e 9,4 para 93/94) e sem considerar o erro (9,7 para 92/93 e 8,8 para 93/94). Este comportamento pode ser confirmado também no restante dos prédios analisados a seguir e não será mais comentado.

### 4.1.3 Caixa Econômica Federal

#### 4.1.3.1 Consumo mensal de energia x médias TBs ano-a-ano

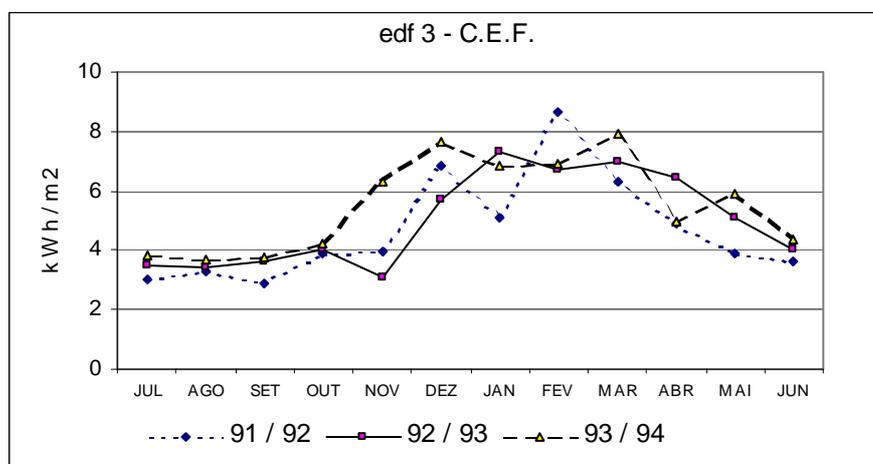


Figura 4.3 – Consumo mensal de energia (kWh/m<sup>2</sup>) – jul/91 a jun/94 – edf 3

A figura 4.3 mostra que, no geral, a variação do consumo mensal de energia acompanha o aumento das temperaturas TBs durante o intervalo de um ano, embora haja alguns saltos pouco coerentes. Um exemplo é o baixo consumo do mês de janeiro do primeiro ano do intervalo (91/92), comparado com a tendência dos anos posteriores. Os valores de  $R^2$  e CV para cada um dos três anos do período estão apresentados na tabela 4.3.

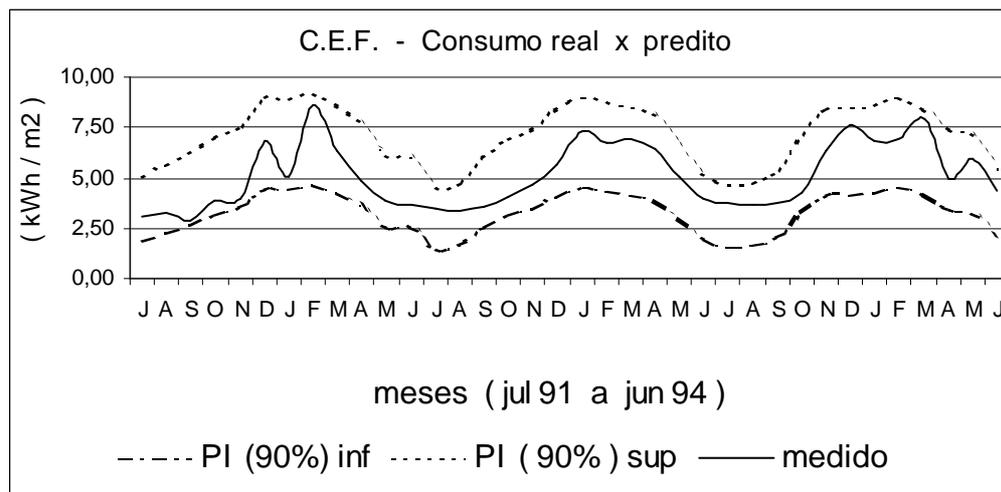
**Tabela 4.3 – Coeficientes  $R^2$  e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 3**

edf 3	91 / 92	92 / 93	93 / 94
$R^2$	0,80	0,84	0,80
CV (%)	13,5	12,1	13,5

O ano 92/93 apresenta os melhores coeficientes, sendo então escolhido como representante do período *baseline*. A equação do modelo é a seguinte:

$$E = -2,75 + 0,37 \text{ TBs} \quad (\text{eq. 4.3})$$

#### 4.1.3.2 Consumo medido x consumo predito pelo modelo



**Figura 4.3a – Consumo real X predito – jul/91 a jun/94 – edf 3**

Observa-se na figura 4.3a que durante todo o período, os valores medidos ficam dentro do intervalo de predição, até mesmo o mês de janeiro com baixo consumo 91/92 citado anteriormente (ano 91/92).

#### 4.1.3.3 Porcentagem de mudança no consumo de energia normalizado numa base anual.

Tabela 4.3a – Comparação entre consumo (kWh/m<sup>2</sup>) total anual

edf 3	91 / 92	92 / 93	93 / 94
medido	56,41	61,38	66,32
predito	63,56	61,38	61,75
eq2.9 (%)	-11,3	<i>baseline</i>	7,4
eq2.10 (%)	-8,1		8,0
eq2.12 (%)	22,8		28,6
eq2.12 (%) cor.	23,0		28,9

A tabela 4.3a nos revela que, ao contrário do Banco do Brasil, o consumo medido na Caixa Econômica Federal cresceu ano-a-ano de 91/92 até 93/94. Como o ano 92/93 é o referencial do *baseline*, temos que no ano anterior o consumo foi menor 8,1% e no ano posterior maior 8%. No ano 91/92 o consumo medido ficou -11,3% abaixo do predito, e no ano 93/94, 7,4% acima.

#### 4.1.4 CASAN

##### 4.1.4.1 Consumo mensal de energia x médias TBs ano-a-ano

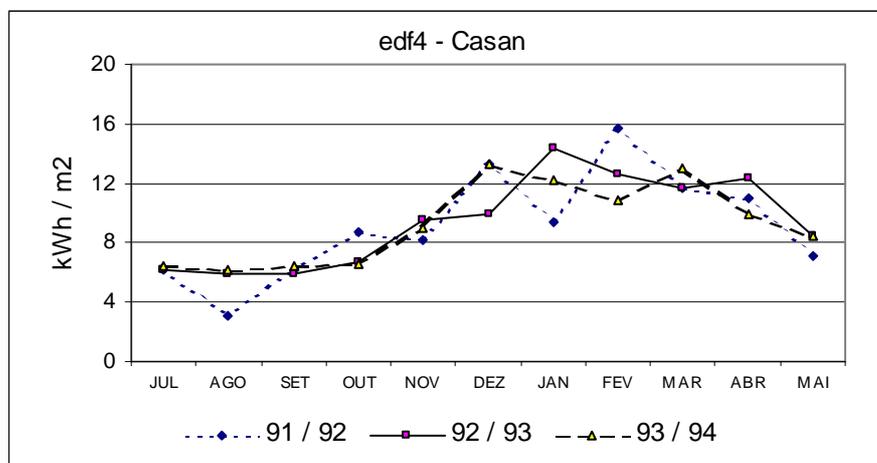


Figura 4.4 – Consumo mensal de energia (kWh/m<sup>2</sup>) – jul/91 a jun/94 – edf 4

A figura 4.4 nos revela grandes saltos para cima e para baixo, no consumo mensal de energia da CASAN durante o ano 91/92. Identifica-se dois destes saltos (meses de janeiro e fevereiro) apresentando um comportamento semelhante ao já acontecido com o par dezembro-janeiro em outros prédios. Agora, é o mês de janeiro que parece ter um intervalo de leitura reduzido e o mês de fevereiro ampliado. Para efetuar o cálculo dos coeficientes  $R^2$  e CV, faremos o mesmo procedimento já explicado no item 4.1.1.1. Nos dois anos seguintes, o comportamento tem uma variação menos acentuada e mostra um consumo quase constante de julho a outubro. Os valores de  $R^2$  e CV para cada um dos três anos do período estão apresentados na tabela 4.4.

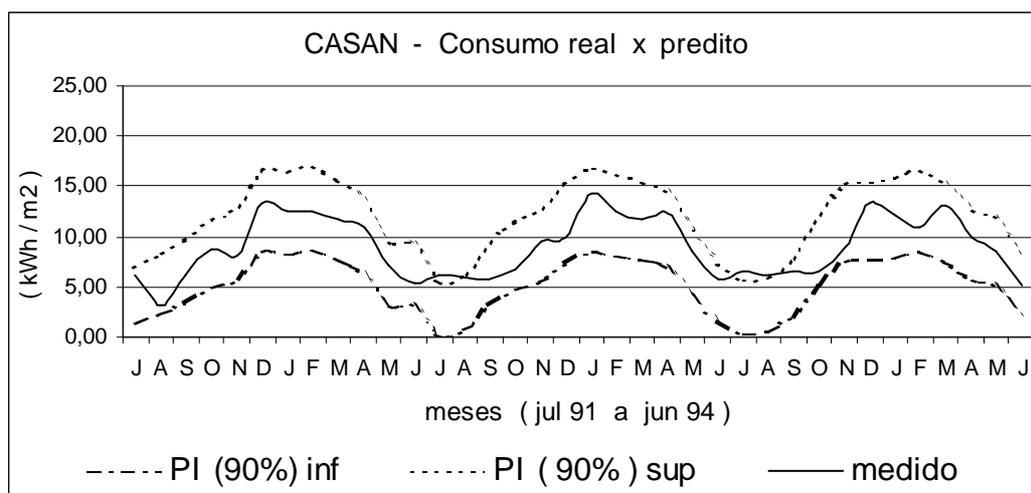
**Tabela 4.4 – Coeficientes  $R^2$  e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 4**

edf 4	91 / 92	92 / 93	93 / 94
$R^2$	0,88	0,83	0,73
CV (%)	13,6	14,5	17,7

O ano 91/92 tem os melhores valores para os coeficientes  $R^2$  e CV, e é escolhido como representativo do período *baseline*. A equação do modelo é a seguinte:

$$E = -12,16 + 0,96 \text{ TBs} \quad (\text{eq. 4.4})$$

#### 4.1.4.2 Consumo medido x consumo predito pelo modelo



**Figura 4.4a – Consumo real X predito – jul/91 a jun/94 – edf 4**

O modelo *baseline* construído em função do ano 92/93 consegue prever bem o consumo para todo o período de três anos, como mostra a figura 4.4a. Mesmo com a grande variabilidade dos valores medidos no ano 91/92, eles ainda conseguem se manter dentro do intervalo, com uma pequena exceção no mês de agosto.

#### 4.1.4.3 Porcentagem de mudança no consumo de energia normalizado numa base anual.

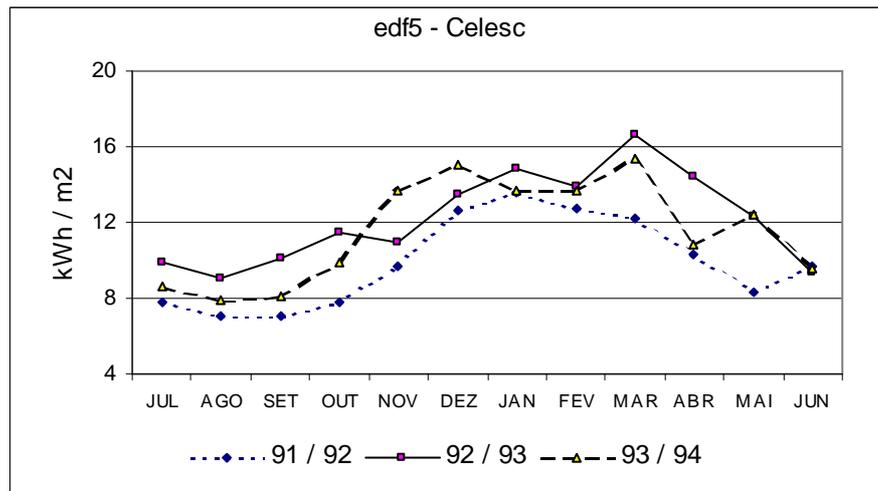
**Tabela 4.4a – Comparação entre consumo (kWh/m<sup>2</sup>) total anual medido x predito - edf 4**

<b>edf 4</b>	<b>91 / 92</b>	<b>92 / 93</b>	<b>93 / 94</b>
<b>medido</b>	105,81	109,33	107,60
<b>predito</b>	105,81	100,11	101,09
<b>eq2.9 (%)</b>	<i>baseline</i>	-9,2	-6,4
<b>eq2.10 (%)</b>		3,3	-1,7
<b>eq2.12 (%)</b>		18,1	17,5
<b>eq2.12 (%) cor.</b>		18,5	17,9

Analisando as mudanças anuais através dos resultados apresentados na tabela 4.4a, observa-se que o consumo cresceu de 91/92 para 92/93 (105,81 e 109,33), e reduziu o seu valor no ano seguinte (107,60). Como o ano *baseline* (92/93) é justamente o que apresenta o maior consumo medido, os dois percentuais obtidos com a equação 2.10 são negativos (-3,2 % e -1,6 %). Já os dois valores obtidos com a equação 2.9 (-7,1% e -2,3%) são negativos porque os valores medidos para estes dois anos são menores que os respectivos preditos pelo modelo.

#### 4.1.5 CELESC

##### 4.1.5.1 Consumo mensal de energia x médias TBs ano-a-ano



**Figura 4.5 – Consumo mensal de energia (kWh/m<sup>2</sup>) – jul/91 a jun/94 – edf 5**

A figura 4.5 nos mostra uma pequena queda inicial do consumo no início de cada um dos três anos do período estudado, trajetória inversa à das médias TBs. Isto não invalida a representatividade do modelo MMT construído, pois, durante os outros meses de cada ano, o crescimento do consumo quase sempre acompanha o crescimento das temperaturas.

**Tabela 4.5 – Coeficientes  $R^2$  e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 5**

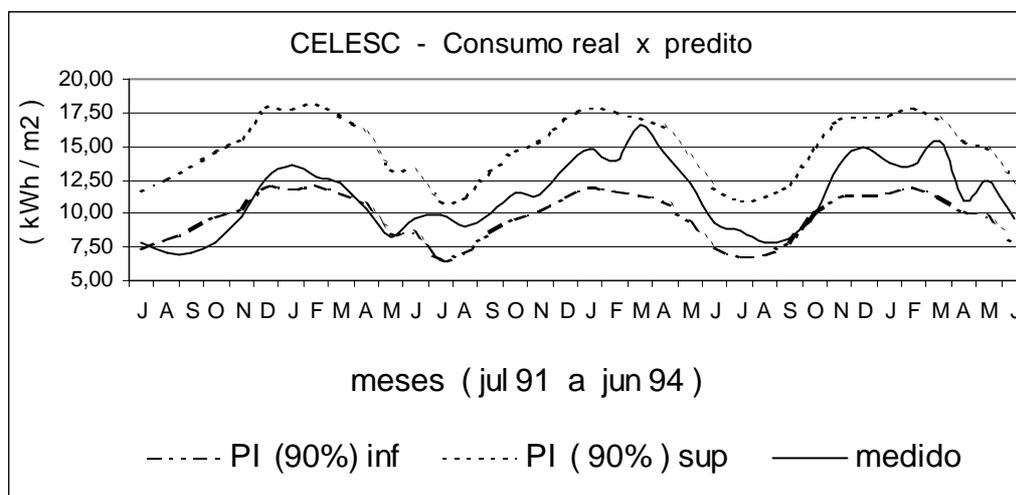
edf 5	91 / 92	92 / 93	93 / 94
$R^2$	0,82	0,82	0,84
CV (%)	10,6	8,8	9,8

Para o prédio da CELESC, encontramos uma situação nova a ser analisada. Na tabela 4.5 se observa que o melhor valor do coeficiente  $R^2$  (0,84) não aparece no mesmo ano que o melhor valor do coeficiente CV (8,8%). Seguindo recomendações de Reddy e outros (1997b), escolhe-se o ano (92/93), representado pelo melhor coeficiente de variação para a construção do modelo *baseline*. Esta escolha deve ser feita, principalmente porque para este ano o valor do  $R^2$  (0,82) é quase o mesmo que o Máximo alcançado no outro ano.

. A equação do modelo é a seguinte:

$$E = -0,72 + 0,61 \text{ TBs} \quad (\text{eq. 4.5})$$

#### 4.1.5.2 Consumo medido x consumo predito pelo modelo



**Figura 4.5a – Consumo real X predito – jul/91 a jun/94 – edf 5**

A figura 4.5a nos mostra que os valores medidos no ano 91/92 têm uma tendência a ficarem abaixo do intervalo de predição construído com o modelo. Isto também ocorre no início do ano 93/94.

#### 4.1.5.3 Porcentagem de mudança no consumo de energia normalizado numa base anual.

**Tabela 4.5a – Comparação entre consumo (kWh/m<sup>2</sup>) total anual medido x predito - edf 5**

edf 5	91 / 92	92 / 93	93 / 94
<b>medido</b>	118,93	146,88	138,78
<b>predito</b>	150,48	146,88	147,50
eq2.9 (%)	-21,0	<i>baseline</i>	-5,9
eq2.10 (%)	-19,0		-5,5
eq2.12 (%)	8,6		10,5
eq2.12 (%) cor.	9,0		11,0

Olhando-se a tabela 4.5a, observamos que o comportamento das mudanças no consumo anual da CELESC segue o mesmo padrão que o da CASAN, ou seja, valores negativos, tanto para os resultados da equação 2.9, quanto para os resultados da equação 2.10.

#### 4.1.6 Edifício das Diretorias

##### 4.1.6.1 Consumo mensal de energia x médias TBs ano-a-ano

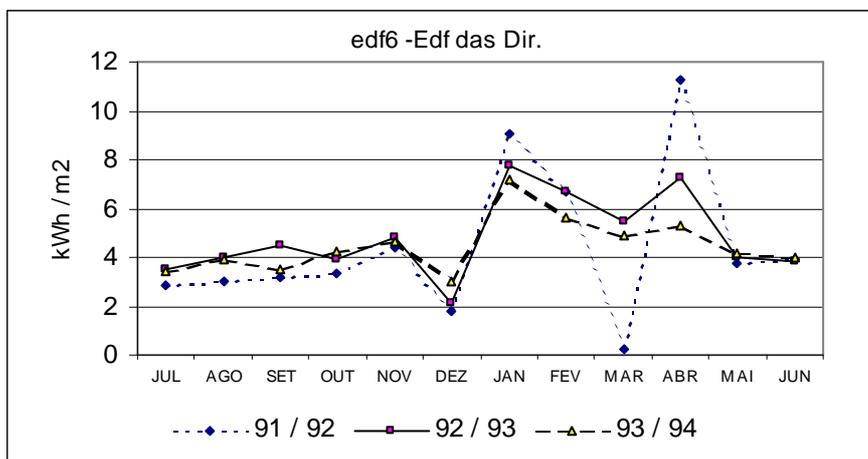


Figura 4.6 – Consumo mensal de energia (kWh/m<sup>2</sup>) – jul/91 a jun/94 – edf 6

No comportamento do consumo mensal de energia deste prédio, notamos o aparecimento do mesmo problema encontrado para o prédio da Assembléia. Valores muito reduzidos para o mês de dezembro e extrapolados acima do esperado para o mês de janeiro em todos os três anos do período. Portanto, o procedimento no tratamento dos dados para gerar o modelo de regressão será semelhante ao já adotado anteriormente naquele prédio. Além disso, constatamos a existência de grandes saltos no consumo para outros meses, principalmente no ano 91/92, gerando valores altos para o coeficiente de variação e valores baixos para o coeficiente de determinação. A tabela 4.6 apresenta estes coeficientes para cada ano.

Tabela 4.6 – Coeficientes  $R^2$  e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 6

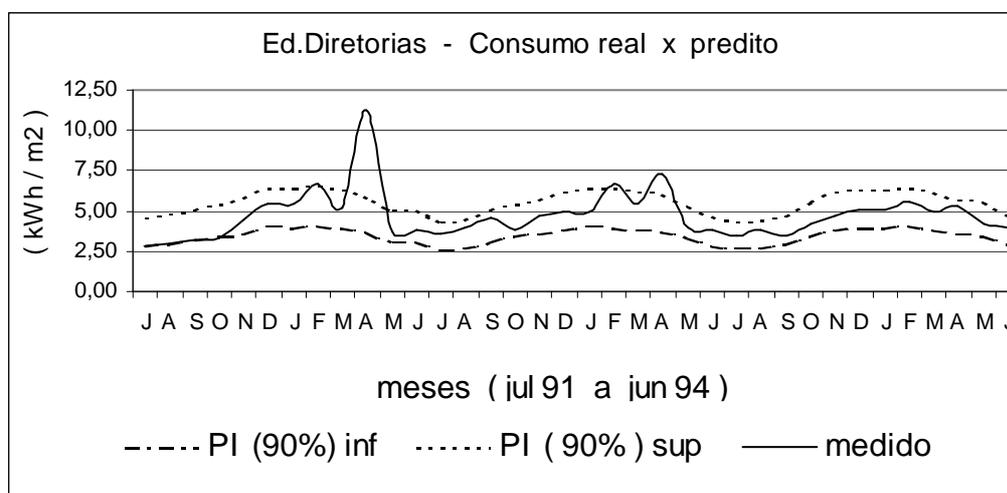
edf 6	91 / 92	92 / 93	93 / 94
$R^2$	0,85	0,52	0,81
CV (%)	11,9	17,5	7,4

O terceiro ano do intervalo (93/94) apresenta coeficientes com os melhores valores, possibilitando a construção do modelo *baseline*.

A equação do modelo é a seguinte:

$$E = 0,73 + 0,18 \text{ TBs} \quad (\text{eq. 4.6})$$

#### 4.1.6.2 Consumo medido x consumo predito pelo modelo



**Figura 4.6a – Consumo real X predito – jul/91 a jun/94 – edf 6**

A figura 4.6a nos mostra que devido à grande variabilidade dos valores medidos nos dois primeiros anos, a faixa de predição é extrapolada nos meses onde existem saltos destes valores.

#### 4.1.6.3 Porcentagem de mudança no consumo de energia normalizado numa base anual.

**Tabela 4.6a – Comparação entre consumo (kWh/m<sup>2</sup>) total anual medido x predito - edf 6**

edf 6	91 / 92	92 / 93	93 / 94
medido	53,63	57,77	53,93
predito	54,79	53,75	53,93
eq2.9 (%)	-2,1	7,5	<i>baseline</i>
eq2.10 (%)	-0,6	7,1	
eq2.12 (%)	29,1	32,8	
eq2.12 (%) cor.	29,4	33,1	

Para este prédio, o valor medido está acima do predito (eq. 2.9) pelo modelo no ano 92/93 (7,5%) e abaixo (-2,1%) no ano 91/91 (tabela 4.6a). O consumo medido em 91/92 é apenas 0,6% menor que o consumo de 93/94. Já em 92/93, a diferença é 7,1% para cima (eq. 2.10).

#### 4.1.7 Edifício das Secretarias

##### 4.1.7.1 Consumo mensal de energia x médias TBs ano-a-ano

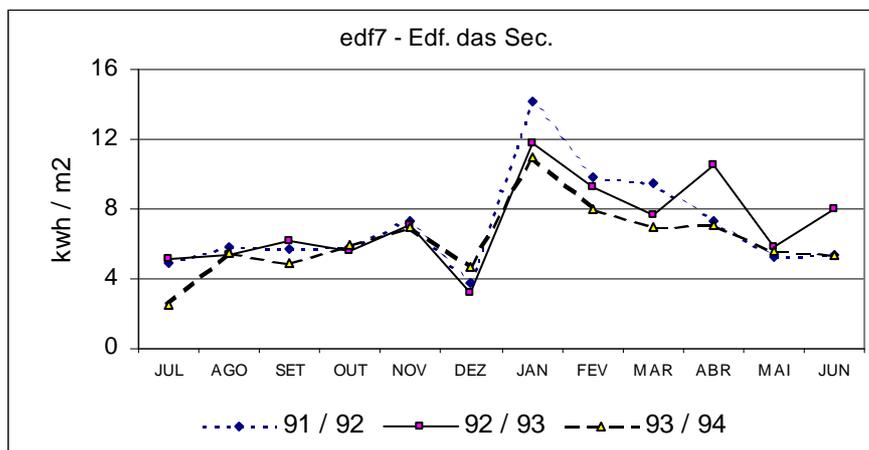


Figura 4.7 – Consumo mensal de energia (kWh/m<sup>2</sup>) – jul/91 a jun/94 – edf 7

O Edifício das Secretarias tem aparentemente uma variação mensal no consumo de energia bem semelhante à variação observada no Edifício das Diretorias, embora uma diferença importante. No ano 91/92. Não existem saltos acentuados nos consumos referentes aos meses de março e abril. Ao contrário do prédio anterior, é justamente o ano 91/92 que apresenta os melhores coeficientes, como podemos observar na tabela 4.7.

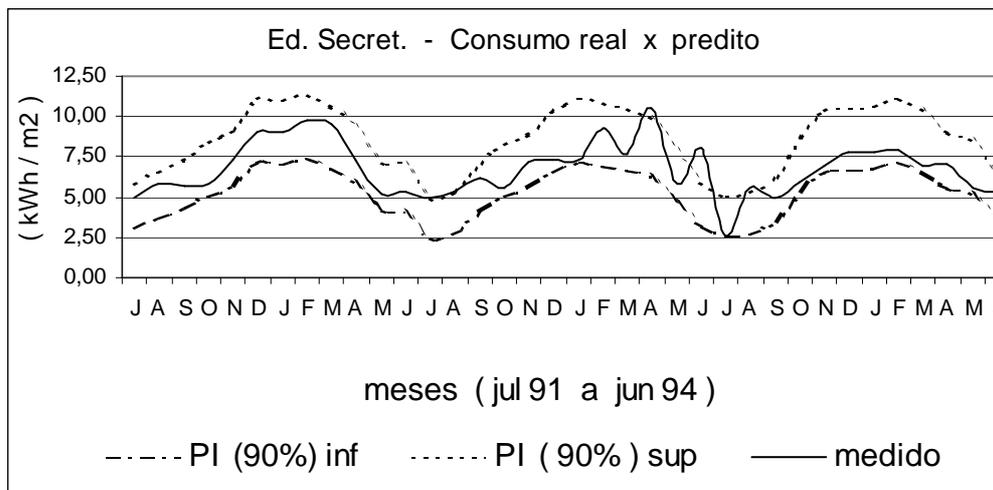
Tabela 4.7 – Coeficientes  $R^2$  e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 7

edf 7	91 / 92	92 / 93	93 / 94
$R^2$	0,92	0,39	0,79
CV (%)	7,6	19,1	12,3

O modelo *baseline* adotado é representado pela seguinte equação:

$$E = -4,65 + 0,54 \text{ TBs} \quad (\text{eq. 4.7})$$

#### 4.1.7.2 Consumo medido x consumo predito pelo modelo



**Figura 4.7a – Consumo real X predito – jul/91 a jun/94 – edf 7**

Devido ao aparecimento de valores muito altos para o consumo medido, nos meses de abril e junho do ano 92/93 (Isto pode ser visto na figura 4.7), observa-se na faixa de predição da figura 4.7a que os valores medidos extrapolam os preditos nos referidos meses. Esta dispersão provocou também os coeficientes ruins observados para o mesmo ano na tabela 4.7.

#### 4.1.7.3 Porcentagem de mudança no consumo de energia normalizado numa base anual.

**Tabela 4.7a – Comparação entre consumo (kWh/m<sup>2</sup>) total anual medido x predito - edf 7**

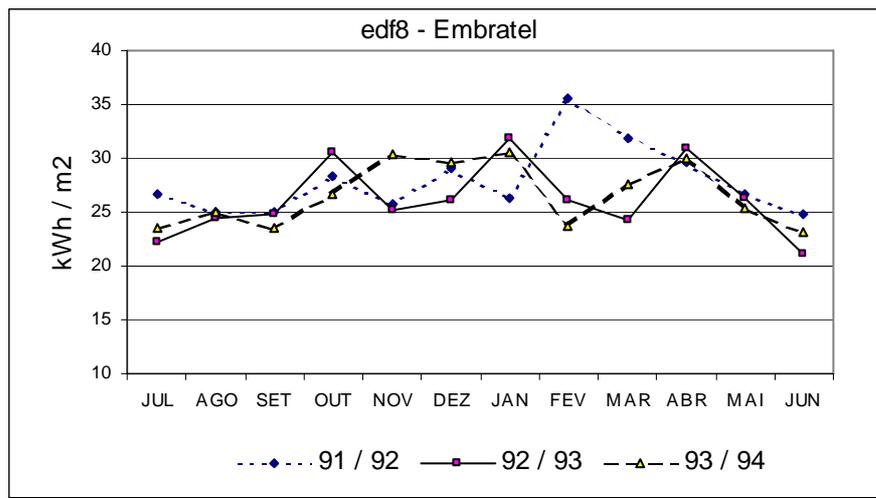
edf 7	91 / 92	92 / 93	93 / 94
medido	84,73	85,15	74,48
predito	84,73	81,55	82,09
eq2.9 (%)	<i>baseline</i>	4,4	-9,3
eq2.10 (%)		0,5	-12,1
eq2.12 (%)		21,3	18,4
eq2.12 (%) cor.		21,6	18,7

O consumo anual medido aumenta do primeiro para o segundo ano e diminui do segundo para o terceiro. Este fato é responsável pelos respectivos percentuais, positivo

(0,5%), e negativo (-12,1%), obtidos com a equação 2.10 (tabela 4.7a). Tomando como referencial a equação 2.9, também encontramos um valor positivo para o ano 92/93 e um valor negativo para o ano 93/94.

#### 4.1.8 EMBRATEL

##### 4.1.8.1 Consumo mensal de energia x médias TBs ano-a-ano



**Figura 4.8 – Consumo mensal de energia (kWh/m<sup>2</sup>) – jul/91 a jun/94 – edf 8**

O gráfico da variação do consumo de energia do prédio da Embratel (figura 4.8) apresenta uma intensidade de pequenos saltos mês-a-mês, às vezes para cima, às vezes para baixo, em todos os três anos do período estudado. Este comportamento irá provocar valores baixos no coeficiente de determinação em todos os três anos, como veremos a seguir, na tabela 4.8.

**Tabela 4.8 – Coeficientes  $R^2$  e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 8**

edf 8	91 / 92	92 / 93	93 / 94
$R^2$	0,42	0,38	0,45
CV (%)	9,1	10,6	8,6

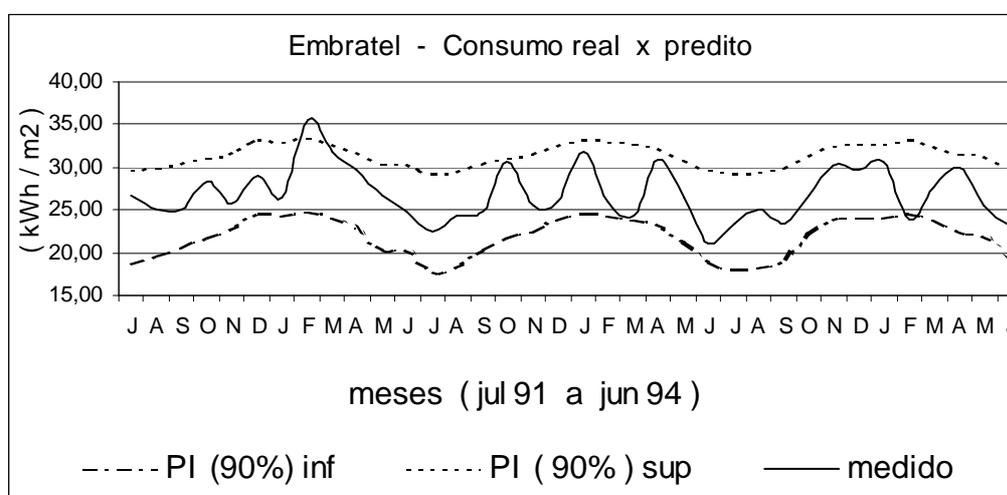
Embora nenhum dos coeficientes  $R^2$  da tabela represente bem um modelo linear de regressão entre as variáveis consumo medido (variável dependente) e TBs (variável independente), os valores dos coeficientes de variação possibilitam classificar os três modelos como satisfatórios (segundo item 2.4, capítulo 2) para todos os três anos, principalmente o coeficiente de 8,6%, correspondente ao ano (93/94) que apresenta

também o melhor valor de  $R^2$  que é de 0,45. Este ano então é escolhido como representativo do modelo *baseline*.

A equação do modelo é a seguinte:

$$E = -15,19 + 0,53 TBs \quad (\text{eq. 4.8})$$

#### 4.1.8.2 Consumo medido x consumo predito pelo modelo



**Figura 4.8a – Consumo real X predito – jul/91 a jun/94 – edf 8**

Apesar do baixo coeficiente de determinação do modelo ( $R^2 = 0,45$ ) indicando que não existe uma relação linear muito forte entre o consumo e a temperatura externa, ainda é possível com este modelo construir um intervalo de predição que consegue, com uma confiança de 90%, fazer com que os valores medidos não ultrapassem os valores máximo e mínimo preditos para cada mês, com a exceção dos meses de fevereiro do primeiro e do último ano do intervalo, como se observa na figura 4.8a.

#### 4.1.8.3 Porcentagem de mudança no consumo de energia normalizado numa base anual.

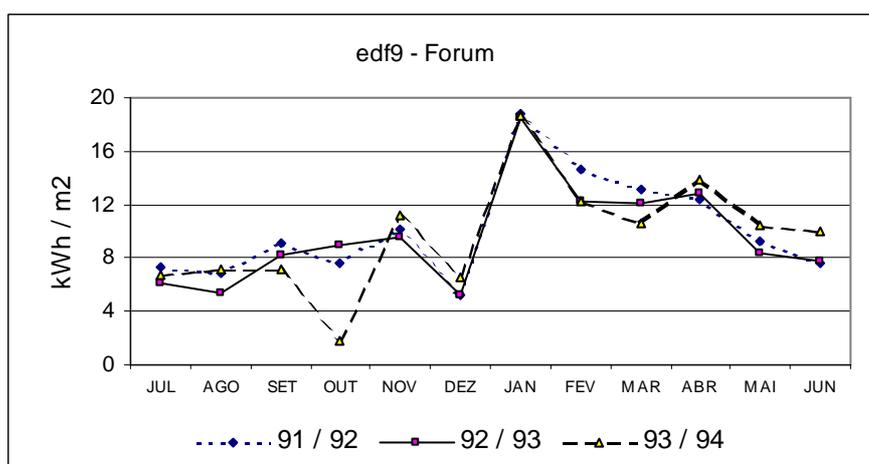
**Tabela 4.8a – Comparação entre consumo (kWh/m<sup>2</sup>) total anual medido x predito - edf 8**

edf 8	91 / 92	92 / 93	93 / 94
medido	334,79	314,51	319,16
predito	321,78	318,62	319,16
eq2.9 (%)	4,0	-1,3	<i>baseline</i>
eq2.10 (%)	4,9	-1,5	
eq2.12 (%)	5,3	5,1	
eq2.12 (%) cor.	6,5	6,2	

A tabela 4.8a mostra um consumo decrescente do primeiro para o segundo ano e crescente do segundo para o terceiro. Comparando o primeiro com o terceiro, verificamos um valor ainda inferior no consumo anual deste último. Como este último ano é o referencial *baseline*, ficamos com um percentual positivo no ano 91/92 (4,9%) e um percentual negativo no ano 92/93 (-1,5%), quando se aplica a equação 2.10. O valor medido em relação ao predito pelo modelo *baseline* é crescente para o ano 92/93 (4,9%) e decrescente para o ano 93/94 (-1,5%).

#### 4.1.9 Fórum

##### 4.1.9.1 Consumo mensal de energia x médias TBs ano-a-ano



**Figura 4.9 – Consumo mensal de energia (kWh/m<sup>2</sup>) – jul/91 a jun/94 – edf 9**

A figura 4.9 nos revela novamente aquela distorção já encontrada em outros prédios, para os meses de dezembro e janeiro. Nos revela também um valor destoante para o mês de outubro do ano 93/94. Os valores de  $R^2$  e CV para cada um dos três anos do período estão apresentados na tabela 4.9.

**Tabela 4.9 – Coeficientes  $R^2$  e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 9**

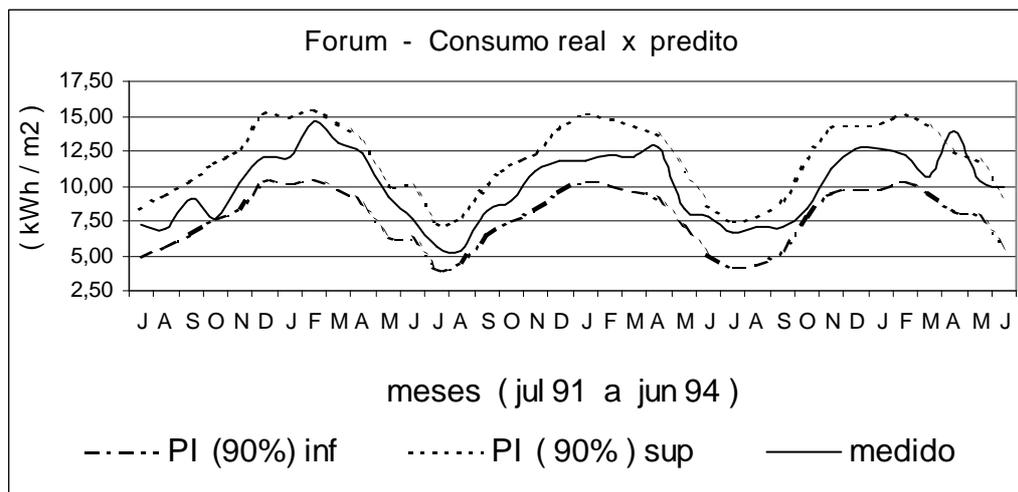
edf 9	91 / 92	92 / 93	93 / 94
$R^2$	0,83	0,92	0,67
CV (%)	10,9	8,2	14,4

Pela tabela 4.9, concluímos que o ano 92/93 é o que representa melhor o modelo *baseline* para o prédio do Fórum.

A equação do modelo é a seguinte:

$$E = - 5,14 + 0,69 \text{ TBs} \quad (\text{eq. 4.9})$$

#### 4.1.9.2 Consumo medido x consumo predito pelo modelo



**Figura 4.9a – Consumo real X predito – jul/91 a jun/94 – edf 9**

Exceto no mês de abril do ano 93/94, todos os meses do período estudado apresentam um consumo medido dentro do intervalo de predição, como mostra a figura 4.9a.

### 4.1.9.3 Porcentagem de mudança no consumo de energia normalizado numa base anual.

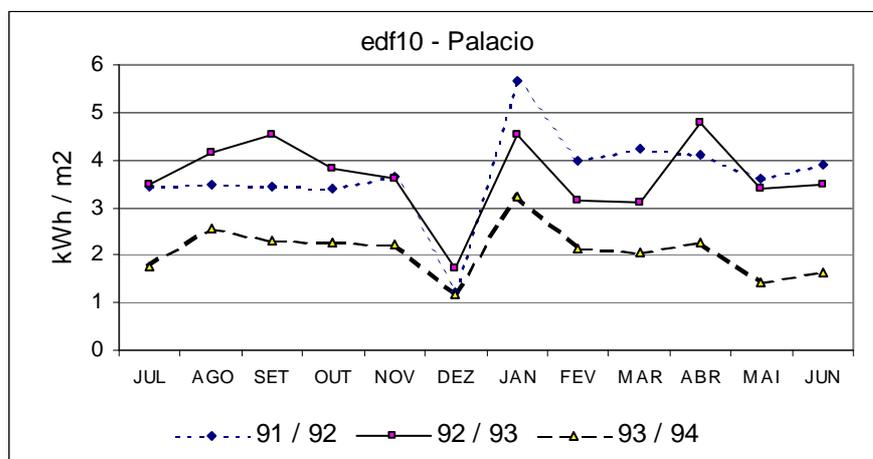
**Tabela 4.9a – Comparação entre consumo (kWh/m<sup>2</sup>) total anual medido x predito - edf 9**

edf 9	91 / 92	92 / 93	93 / 94
medido	122,20	116,18	122,77
predito	120,30	116,18	116,88
eq2.9 (%)	1,6	<i>baseline</i>	5,0
eq2.10 (%)	5,2		5,7
eq2.12 (%)	13,8		14,8
eq2.12 (%) cor.	14,3		15,3

Como o consumo do Fórum é mais baixo no ano baseline que nos outros dois anos, os percentuais obtidos através da equação 2.10 são todos positivos. Também são positivos os percentuais calculados com a equação 2.9, pois, tanto no ano 91/92 como em 93/94, os valores medidos são maiores que os preditos.

### 4.1.10 Palácio do Governo

#### 4.1.10.1 Consumo mensal de energia x médias TBs ano-a-ano



**Figura 4.10 – Consumo mensal de energia (kWh/m<sup>2</sup>) – jul/91 a jun/94 – edf 10**

Através da figura 4.10 observamos que o prédio do Palácio do Governo apresenta uma variação do consumo mensal de energia pouco influenciada pela variação das médias TBs. Procedendo-se o tratamento nos dados para compensar os saltos dezembro-janeiro de cada ano, a elevação observada do consumo nos meses de verão é bem pequena, comparada com os outros prédios estudados. Observa-se também um consumo geral bem inferior no último ano, em comparação com os anos anteriores. Além disso, o gráfico nos mostra um paralelismo entre as linhas de consumo no início dos anos 92/93 e 93/94, e entre as linhas de consumo no final dos anos 91/92 e 93/94. A tabela 4.10 mostra os valores mais baixos dos coeficientes de determinação já calculados aqui neste trabalho, comprovando a observação da falta de correlação entre consumo e temperatura.

**Tabela 4.10 – Coeficientes  $R^2$  e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 10**

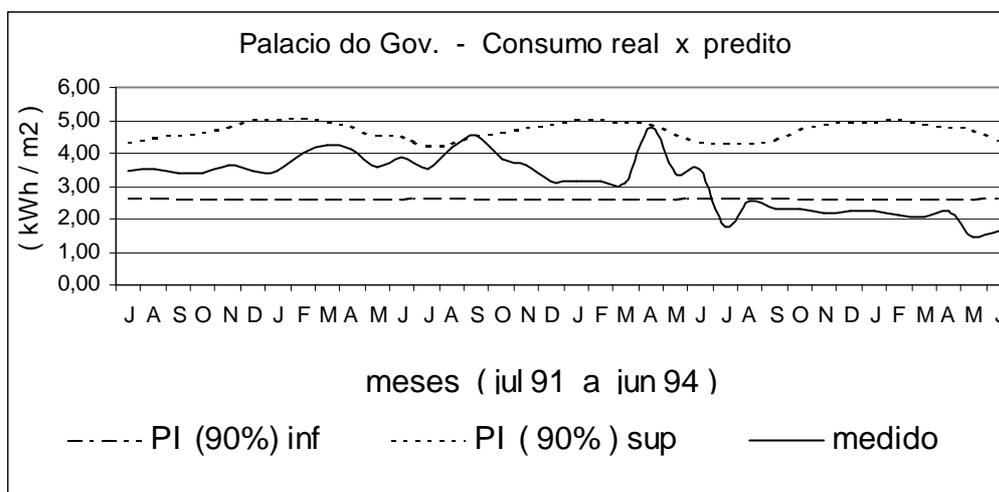
<b>edf 10</b>	<b>91 / 92</b>	<b>92 / 93</b>	<b>93 / 94</b>
<b><math>R^2</math></b>	0,14	0,13	0,02
<b>CV (%)</b>	8,0	15,4	16,1

Mesmo com os valores baixíssimos de  $R^2$ , é possível construir um intervalo de predição dos consumos mensais, tomando como referencial *baseline* o ano 91/92, por apresentar o melhor coeficiente de variação (8%). No entanto, para este prédio, o modelo que estamos testando não se aplica. Como se observa, na equação 4.10 (construída a partir do ano referencial 91/92) o coeficiente que multiplica a variável **TBs** é muito baixo, confirmando a pouca influencia da temperatura sobre o consumo.

$$E = 2,92 + 0,035 \text{ TBs} \quad (\text{eq. 4.10})$$

Um modelo MMT linear de um parâmetro,  $E = \text{Constante}$ , talvez fosse mais bem aplicado. Mesmo assim, analisando o gráfico dos consumos, nota-se a grande diferença do ano 93/94 em relação aos anteriores. Durante todo o intervalo de 12 meses o consumo se mantém inferior ao que vinha apresentando. E é justamente o ano mais recente dos três. Comportamento atípico do que geralmente acontece na realidade, pois, a tendência mais comum, é um pequeno acréscimo ano-a-ano. A não ser que se tenha implementado medidas de eficiência energética. E não foi o que aconteceu neste caso.

#### 4.1.10.2 Consumo medido x consumo predito pelo modelo



**Figura 4.10a – Consumo real X predito – jul/91 a jun/94 – edf 10**

Observa-se na figura 4.10a que as previsões do modelo adotado não são confiáveis, principalmente para o ano 93/94. Provavelmente, para se construir um modelo mais representativo será necessário se obter informações complementares de consumo. Com base nos dados apresentados, não é confiável um modelo MMT linear com dois parâmetros e nem também um modelo linear de um parâmetro ( $Y = \text{constante}$ ).

#### 4.1.10.3 Porcentagem de mudança no consumo de energia normalizado numa base anual.

**Tabela 4.10a – Comparação entre consumo (kWh/m<sup>2</sup>) total anual medido x predito - edf 10**

edf 10	91 / 92	92 / 93	93 / 94
<b>medido</b>	44,10	43,89	25,05
<b>predito</b>	44,10	43,89	43,93
eq2.9 (%)	<i>baseline</i>	0,0	-43,0
eq2.10 (%)		-0,5	-43,2
eq2.12 (%)		37,8	21,6
eq2.12 (%) cor.		38,0	21,7

O que podemos observar de mais importante na tabela 4.10 é a tradução em outra linguagem das variações do consumo ano-a-ano já comentadas para este prédio. Os baixos valores de consumo relativos aos anos anteriores observados no ano 93/94 são agora identificados nos resultados das equações 2.9 e 2.10, com percentuais negativos de 43% e 43,2% respectivamente.

#### 4.1.11 Secretaria de Educação

##### 4.1.11.1 Consumo mensal de energia x médias TBs ano-a-ano

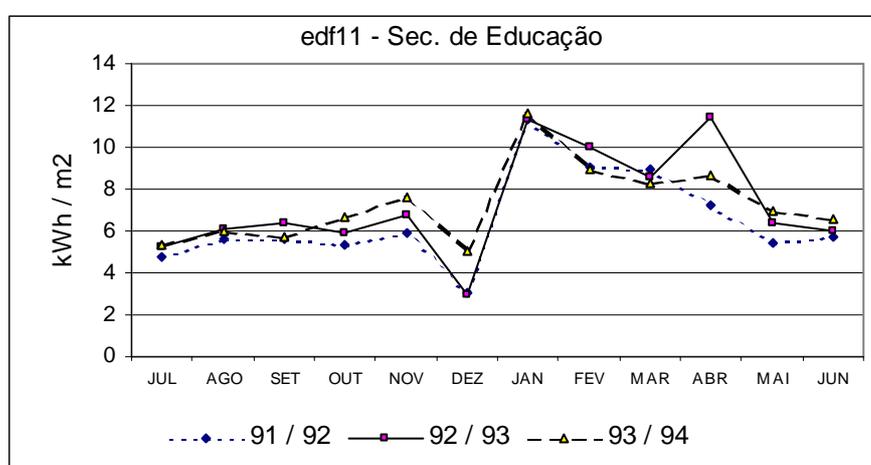


Figura 4.11 – Consumo mensal de energia (kWh/m<sup>2</sup>) – jul/91 a jun/94 – edf 11

Fazendo-se as correções nos valores dos consumos relativos aos meses dezembro-janeiro, a correlação dos mesmos com as médias mensais TBs fica razoavelmente comprovada. Um valor muito alto identificado no consumo do mês de abril do ano 92/93 é responsável pelo baixo valor do coeficiente de determinação, como podemos observar na tabela 4.11. No entanto, o ano 93/94 apresenta valores de  $R^2$  e CV representativos para se construir um modelo *baseline* de bom desempenho.

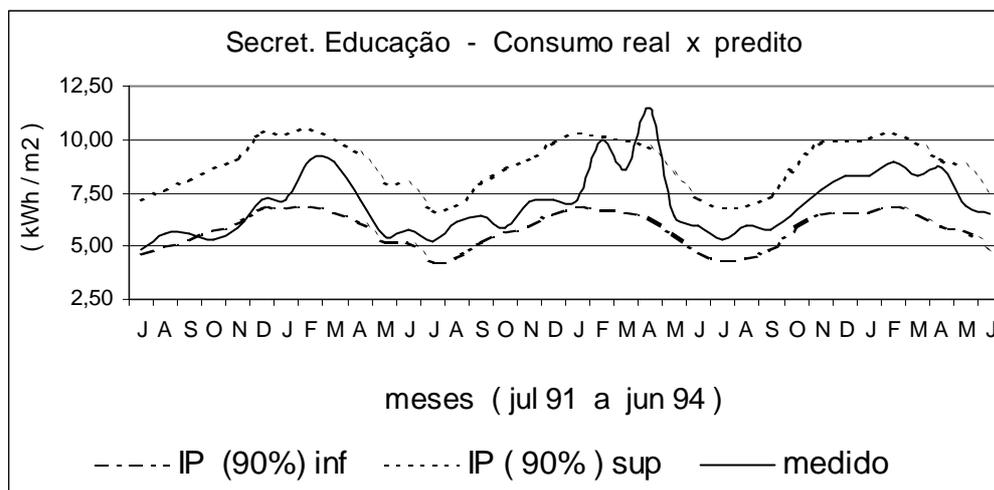
Tabela 4.11 – Coeficientes  $R^2$  e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 11

edf 11	91 / 92	92 / 93	93 / 94
$R^2$	0,74	0,46	0,83
CV (%)	11,5	19,6	7,3

A equação do modelo é a seguinte:

$$E = 0,74 + 0,31 TBs \text{ (eq. 4.11)}$$

#### 4.1.11.2 Consumo medido x consumo predito pelo modelo



**Figura 4.11a – Consumo real X predito – jul/91 a jun/94 – edf 11**

Conforme se observa na figura 4.11a, os valores medidos ficam dentro do intervalo de predição, exceto para o mês de outubro do ano 91/92 e o mês de abril do ano 92/93.

#### 4.1.11.3 Porcentagem de mudança no consumo de energia normalizado numa base anual.

**Tabela 4.11a – Comparação entre consumo (kWh/m<sup>2</sup>) total anual medido x predito - edf 11**

edf 11	91 / 92	92 / 93	93 / 94
medido	77,97	87,30	87,29
predito	88,79	86,98	87,29
eq2.9 (%)	-12,2	0,4	<i>baseline</i>
eq2.10 (%)	-10,7	0,0	
eq2.12 (%)	16,1	18,9	
eq2.12 (%) cor.	16,4	19,3	

A tabela 4.11a nos revela que não houve praticamente mudanças no consumo total de energia entre os anos 92/93 e 93/94. Já no ano 91/92, o consumo é 10,7%

abaixo do medido no ano *baseline* e 12,2% menor que o valor predito pelo modelo para este ano.

#### 4.1.12 Tribunal de Contas

##### 4.1.12.1 Consumo mensal de energia x médias TBs ano-a-ano

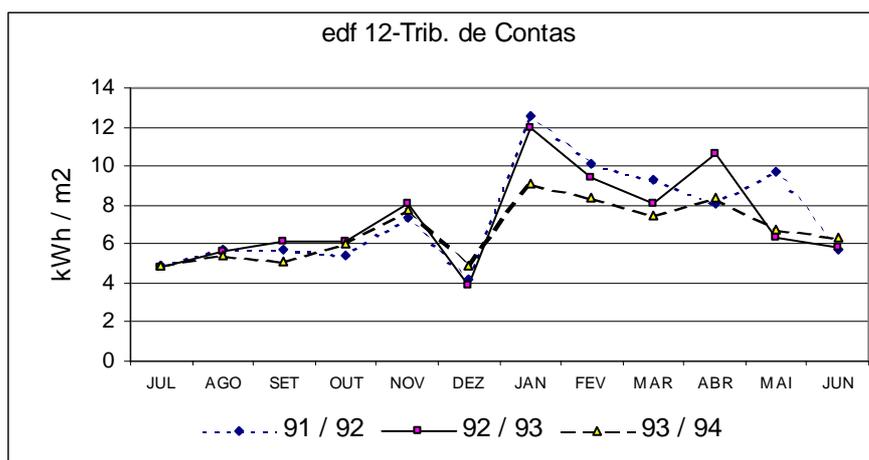


Figura 4.12 – Consumo mensal de energia (kWh/m<sup>2</sup>) – jul/91 a jun/94 – edf 12

A figura 4.12 nos mostra que o consumo de energia para este prédio teve um comportamento praticamente idêntico nos três anos entre os meses de junho e novembro. Já entre os meses de março a maio é bem irregular. Apresenta também o salto dezembro-janeiro já observado para outros prédios. Os coeficientes  $R^2$  e CV para cada ano são apresentados na tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Coeficientes  $R^2$  e CV – Modelos MMT – dois parâmetros - edf 12

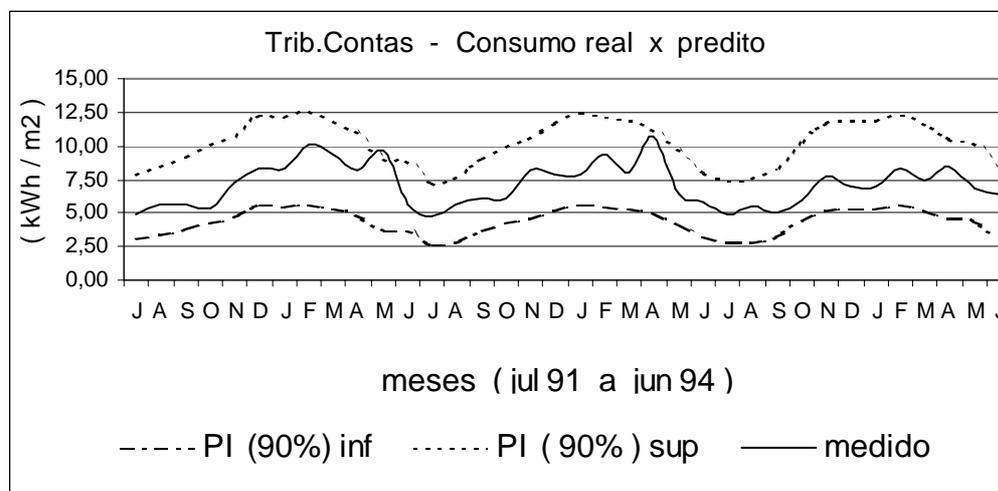
edf 12	91 / 92	92 / 93	93 / 94
$R^2$	0,53	0,69	0,67
CV (%)	17,8	13,9	10,6

O melhor valor encontrado para o  $R^2$  foi de 0,69 no ano 92/93. No entanto, seguido o mesmo procedimento já adotado anteriormente, indica-se o ano 93/94 como representativo do *baseline*, por apresentar um melhor valor do coeficiente de variação (10,6%) e um  $R^2$  ligeiramente menor (0,67).

A equação do modelo é a seguinte:

$$E = 0,99 + 0,27 \text{ TBs} \quad (\text{eq. 4.12})$$

#### 4.1.12.2 Consumo medido x consumo predito pelo modelo



**Figura 4.12a – Consumo real X predito – jul/91 a jun/94 – edf 12**

A figura 4.12a mostra que os valores medidos estão bem enquadrados no intervalo de predição, excetuando-se o mês de abril do ano 92/93 e o mês de maio do ano 91/92.

#### 4.1.12.3 Porcentagem de mudança no consumo de energia normalizado numa base anual.

**Tabela 4.12a – Comparação entre consumo (kWh/m<sup>2</sup>) total anual medido x predito - edf 12**

edf 12	91 / 92	92 / 93	93 / 94
medido	88,62	86,82	80,46
predito	89,15	86,82	87,22
eq2.9 (%)	-0,6	<i>baseline</i>	-7,7
eq2.10 (%)	2,1		-7,3
eq2.12 (%)	21,6		22,2
eq2.12 (%) cor.	22,0		22,5

A tabela 4.12a nos mostra uma variação negativa de 7,3% no consumo medido do ano *baseline* para o ano 92/94 e uma variação positiva do ano *baseline* para o ano

91/92 (2,1%). No ano 93/94 o consumo medido foi 7,7% menor que o predito e no ano 91/92, somente 0,6% menor.

#### **4.1.13 Comparação do desempenho dos modelos MMT entre os 12 prédios segundo coeficiente de variação (CV %)**

No item 2.4 do capítulo 2, abordou-se uma classificação que avalia o potencial de desempenho de cada modelo, segundo valor do coeficiente de variação. Em certos casos, o valor  $R^2$  pode ser muito baixo, indicando que o consumo de energia é pouco afetado pelas variações de temperatura. Nestas situações, modelos de regressão com  $CV \leq 12\%$  são considerados satisfatórios. Reddy et al.(1997a; 1997b; 2000) adotaram em seus trabalhos a seguinte classificação: modelos com  $CV \leq 5\%$  são considerados excelentes;  $CV \leq 10\%$ , bons;  $CV \leq 12\%$ , satisfatórios;  $CV \leq 20\%$ , regulares e,  $CV \geq 20\%$ , fracos. A tabela 4.13 apresenta em conjunto os valores destes coeficiente para os doze modelos.

**Tabela 4.13 – Coeficientes  $R^2$  e CV dos 12 modelos**

	$R^2$	CV (%)		$R^2$	CV (%)
edf 1	0,86	7,6	edf 7	0,92	7,6
edf 2	0,93	4,7	edf 8	0,45	8,6
edf 3	0,84	12,1	edf 9	0,92	8,2
edf 4	0,88	13,6	edf 10	0,14	8,0
edf 5	0,82	8,8	edf 11	0,83	7,3
edf 6	0,81	7,4	edf 12	0,67	10,6

Classificando de acordo com os critérios apresentados, encontramos um modelo excelente (edf2), seis modelos bons (edf1, edf5, edf6, edf8, edf9 e edf11), três modelos satisfatórios (edf7, edf10 e edf 12) e dois fracos (edf 3 e edf4).

#### **4.1.14 – Síntese das porcentagens de mudanças anuais**

A tabela 4.14 é uma síntese dos resultados da aplicação da equação 2.9, já apresentados para cada prédio anteriormente.

**Tabela 4.14 – Síntese das porcentagens de mudanças anuais referentes às predições**

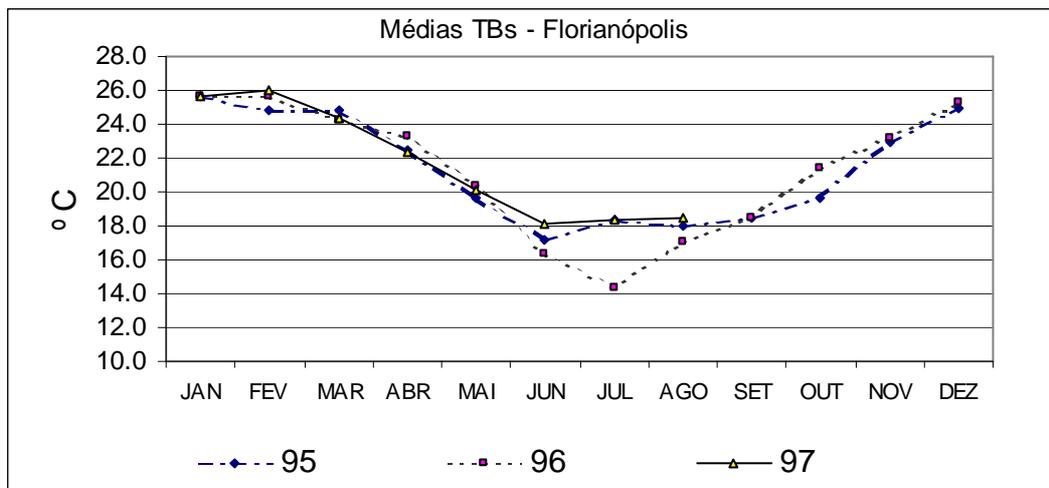
	difer.(%) - eq. 2.1			difer.(%) - eq. 2.1	
<b>edf 1</b>	-4,8	-5,0	<b>edf 7</b>	4,4	-9,3
<b>edf 2</b>	1,2	-7,3	<b>edf 8</b>	4,0	-1,3
<b>edf 3</b>	-11,3	7,4	<b>edf 9</b>	1,6	5,0
<b>edf 4</b>	-9,2	-6,4	<b>edf 10</b>	0,0	-43,0
<b>edf 5</b>	-21,0	-5,9	<b>edf 11</b>	-12,2	0,4
<b>edf 6</b>	-2,1	7,5	<b>edf 12</b>	-0,6	-7,7

Alguns dos prédios estudados apresentaram baixos coeficientes de determinação  $R^2$ . Mesmo com alguns valores baixos, podemos construir modelos lineares que conseguem prever valores de consumo numa escala anual bem próximos dos valores medidos, como se observa na tabela 4.14. Das 24 predições anuais calculadas através da equação 2.9, doze apresentaram (em módulo) uma diferença menor ou igual a 5% do valor medido, oito entre 5% e 10%, duas entre 10% e 20% e duas acima de 20%. Uma alternativa para melhorar a performance do *baseline* é o desenvolvimento de modelos com pontos de mudança. Porém, eles não são tão simples e rápidos de serem construídos como os modelos lineares MMT. Nesta pesquisa não abordaremos modelos com pontos de mudança.

## **4.2 Aplicação de modelos MMT e VBDD para os prédios do projeto 6 cidades.**

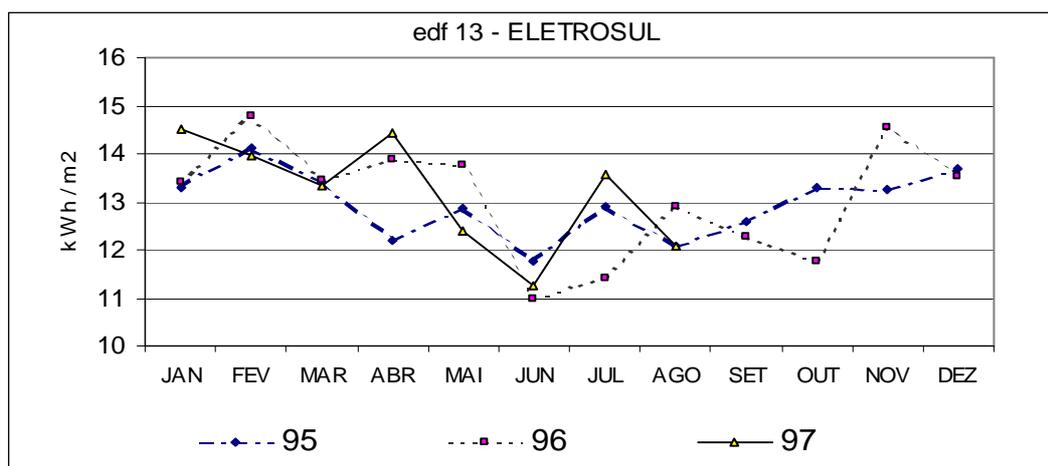
### **4.2.1 – Modelos MMT**

Como já foi citado no capítulo Metodologia, três prédios da cidade de Florianópolis participaram do projeto 6 cidades. Uma parte dos dados de consumo mensal destes prédios foi obtida de bienais fornecidas pela CELESC, começando no mês de setembro de 1995, e terminando no mês de agosto de 1997. Para complementar, foram acrescentados os dados de consumo de janeiro a agosto de 1995, obtidos dos relatórios de auditoria de cada prédio. Nestes relatórios são informadas as datas de leituras das faturas, o que nos possibilita a aplicação de modelos normalizados em função do intervalo entre leituras. Modelos VBDD também serão apresentados e comparados com os modelos MMT na próxima seção. A variação mensal das temperaturas externas de bulbo seco de jan 95 a ago 97 é apresentada na figura 4.13.

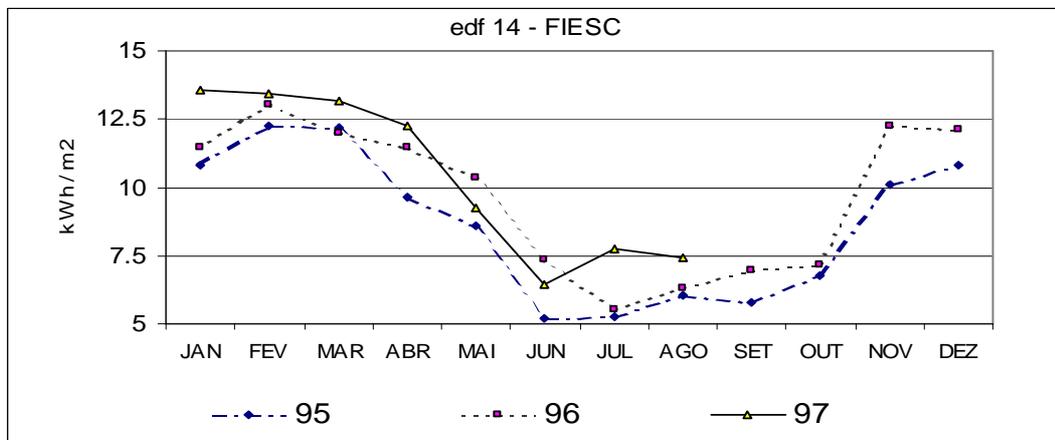


**Figura 4.13 – Médias mensais de temperaturas externas de bulbo seco – jan/95 a ago/97**

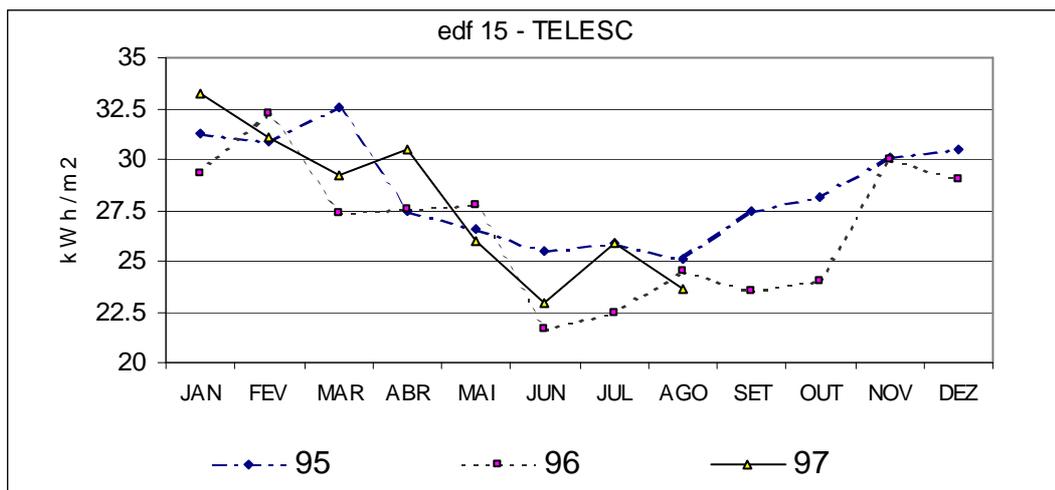
Como o período agora a ser analisado começa num mês diferente, comparando com a análise feita para os doze prédios anteriores (mês de janeiro e não em julho), o formato do gráfico de temperaturas é diferente. Os valores começam altos, diminuem, e depois voltam a se elevar até o final do ano. Os consumos mensais de energia dos três prédios tendem a acompanhar o mesmo caminho, como se observa nas figuras 4.14a, 4.14b e 4.14c.



**Figura 4.14a – Consumo mensal de energia (kWh/m<sup>2</sup>) – jan/95 a ago/97 – ELETROSUL**

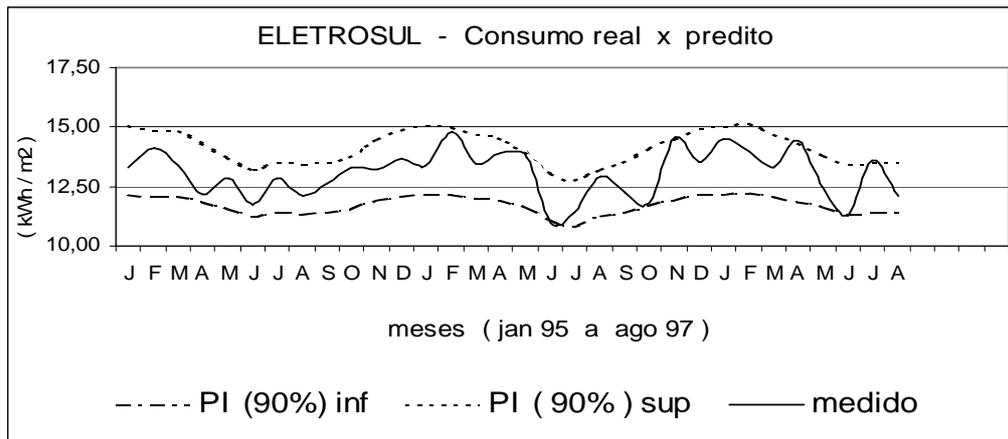


**Figura 4.14b – Consumo mensal de energia (kWh/m<sup>2</sup>) – jan/95 a ago/97 – FIESC**

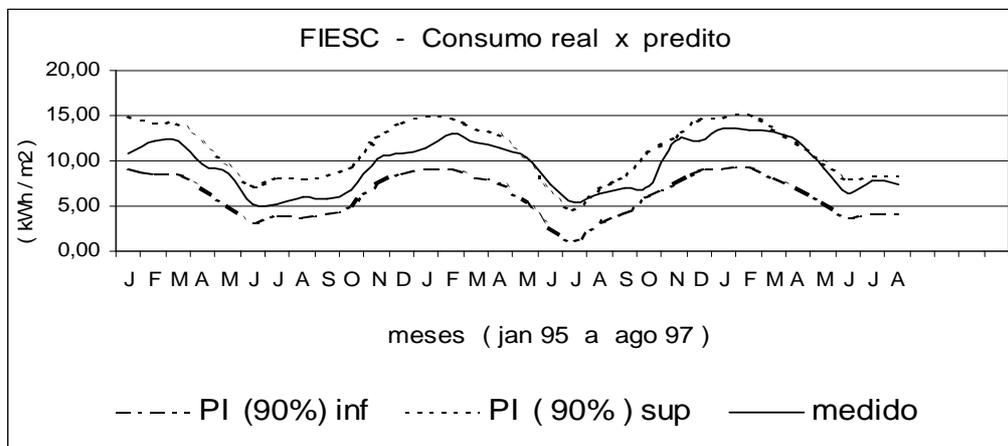


**Figura 4.14c – Consumo mensal de energia (kWh/m<sup>2</sup>) – jan/95 a ago/97 – TELESC**

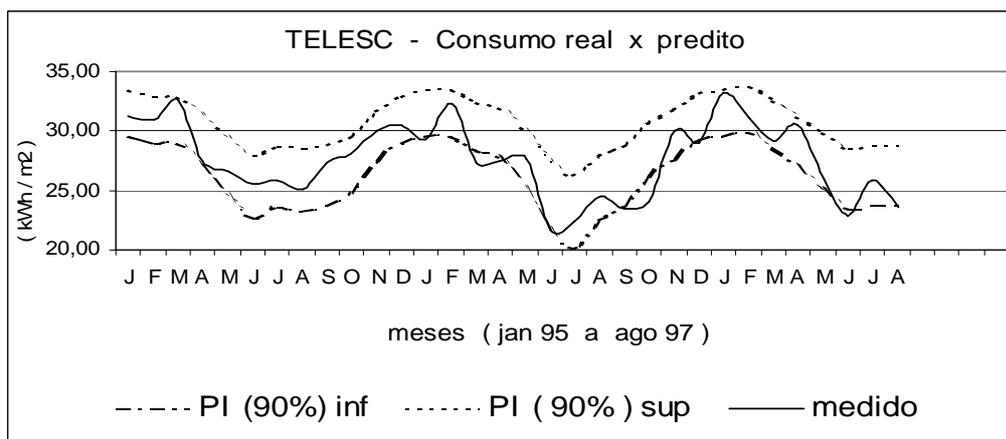
Nas três figuras anteriores, notamos que os consumos mensais de energia em algumas situações aparentam acompanhar a variação de temperatura e em outras não. Contudo, mesmo com as variações observadas, ainda podemos desenvolver modelos lineares MMT, onde predições podem ser usadas com razoável grau de eficiência. Os três seguintes gráficos de intervalos de predição (figura 4.15a, 4.15b e 4.15c) ilustram este fato.



**Figura 4.15a – Consumo real x predito (kWh/m<sup>2</sup>) – jan/95 a ago/97 - ELETROSUL**



**Figura 4.15b – Consumo real x predito (kWh/m<sup>2</sup>) – jan/95 a ago/97 - FIESC**



**Figura 4.15c – Consumo real x predito (kWh/m<sup>2</sup>) – jan/95 a ago/97 - TELESC**

Seis diferentes modelos MMT foram comparados para se verificar a influência das normalizações sobre eles. Cada um dos seis tipos tem dados de entrada diferentes, como mostra a tabela 4.15.

**Tabela 4.15 – Combinações das Variáveis para os 6 tipos de modelos MMT**

Modelos tipo	Variável Y	Variável X
MMT 1	Consumo/m <sup>2</sup>	(TBsM)
MMT 2	Consumo/m <sup>2</sup>	(TBsL.)
MMT 3	Consumo/m <sup>2</sup>	(TBsL.)/D
MMT 4	Consumo/m <sup>2</sup> /D	(TBsL.)
MMT 5	Consumo/m <sup>2</sup> /D	(TBsL.)/D
MMT 6	Consumo/m <sup>2</sup>	(TBsL.)/Du

onde :

Consumo = valor em kWh consumido em cada fatura mensal.

m<sup>2</sup> = valor da área construída em metros quadrados.

D = número de dias do intervalo da fatura.

Du = número de dias úteis do intervalo da fatura.

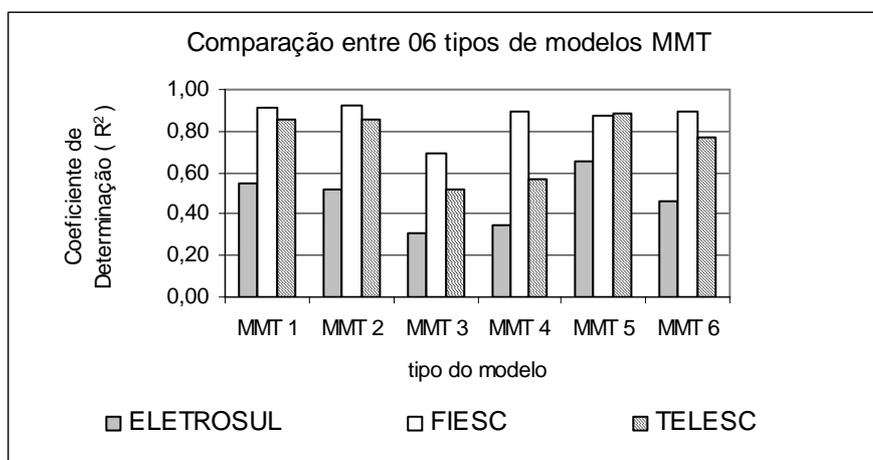
(TBsM) = média **TBs** do mês correspondente à fatura.

(TBsL) = média **TBs** referente ao período D.

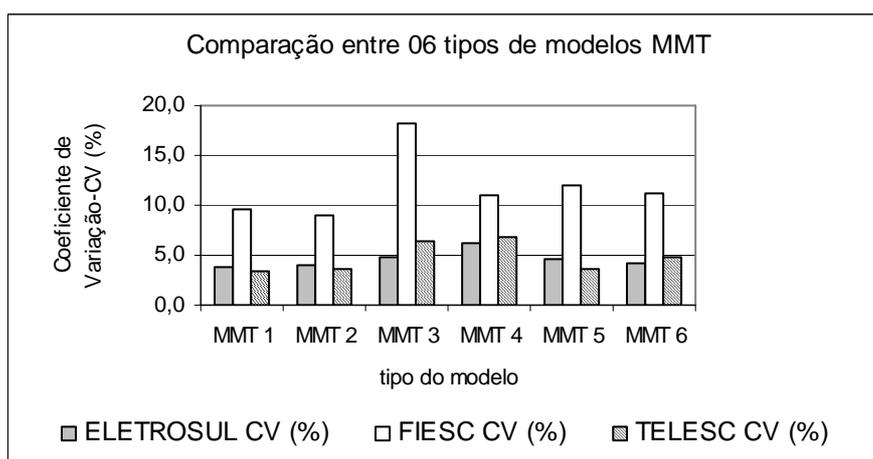
A seguir, apresentaremos em conjunto na tabela 4.16, figuras 4.16a e 4.16b, os resultados dos coeficientes de 6 modelos lineares *baseline* MMT, desenvolvidos para os três prédios. O ano de 1995 se apresentou como o mais representativo para todos.

**Tabela 4.16 – Coeficientes R<sup>2</sup> e CV para modelos MMT – baseline -**

	ELETROSUL		FIESC		TELESC	
	R <sup>2</sup>	CV (%)	R <sup>2</sup>	CV (%)	R <sup>2</sup>	CV (%)
MMT 1	0,55	3,8	0,91	9,6	0,86	3,5
MMT 2	0,52	3,9	0,92	9,0	0,85	3,5
MMT 3	0,30	4,7	0,69	18,3	0,52	6,4
MMT 4	0,35	6,3	0,89	11,0	0,57	6,8
MMT 5	0,65	4,6	0,88	11,9	0,88	3,6
MMT 6	0,46	4,2	0,89	11,2	0,77	4,8



**Figura 4.16a – Comparação de coeficientes  $R^2$  entre 06 tipos de modelos MMT**



**Figura 4.16b – Comparação de coeficientes CV entre 06 tipos de modelos MMT**

Através da tabela 4.16 e figura 4.16a, pode-se observar, que para o prédio da FIESC, apenas um dos modelos adotados tem o  $R^2 < 0,88$  (modelo MMT 3), mostrando a forte correlação que existe entre as médias TBs e o consumo mensal. No prédio da TELESC esta correlação não é tão forte, mas é bastante significativa, pois, quatro dos seis modelos possuem um  $R^2$  igual ou acima de 0,85. O pior desempenho é novamente do modelo MMT 3, o que irá ocorrer também com o prédio da ELETROSUL, mostrando que normalizar apenas a TBs em relação ao número de dias do intervalo não traz bons resultados. O prédio da ELETROSUL apresenta praticamente quase todos os coeficientes  $R^2$  baixos, comparados com os outros dois prédios. Isto nos faz concluir que a influência da TBs no consumo não é muito significativa.

Apesar do prédio da ELETROSUL não ter apresentado um bom desempenho em relação ao coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o mesmo não podemos dizer em relação ao coeficiente de variação (CV). Tanto a ELETROSUL (com apenas um exemplo maior que 5%) quanto a TELESC (com dois maiores que 5%), apresentam ótimos valores para o CV. Já o prédio da FIESC, que teve um ótimo desempenho nos valores dos coeficientes  $R^2$ , não se comportou tão bem quanto aos coeficientes CV. Mesmo assim, dois deles ainda são considerados bons (modelos MMT1 e MMT2), pois são menores que 10%. Três (modelos MMT4, MMT5 e MMT6) são satisfatórios, pois possuem valores menores que 12%.

#### 4.2.2 Modelos VBDD.

Para a construção dos modelos VBDD, valores de graus-dia para refrigeração foram calculados a partir dos dados reais de temperaturas fornecidos pela EPAGRI. O número *Graus-dia* de cada mês foi calculado em função do número de dias de cada intervalo de leitura e não do calendário mensal convencional. Seis modelos foram desenvolvidos para três temperaturas-base ( $T_b$ ) diferentes (18,3°C, 20°C e 24°C). Para cada temperatura construíram-se dois modelos, sendo um deles com a variável X normalizada e o outro não. Em todos eles a variável Y é normalizada em relação ao número de dias do período de cada fatura, como mostra a tabela 4.17.

**Tabela 4.17 – Combinações das Variáveis para os 6 tipos de modelos VBDD**

Modelos tipo	Variável Y	Variável X
VBDD 1	Consumo/m <sup>2</sup> /D	GD18,3
VBDD 2	Consumo/m <sup>2</sup> /D	GD20
VBDD 3	Consumo/m <sup>2</sup> /D	GD24
VBDD 4	Consumo/m <sup>2</sup> /D	(GD18,3)/D
VBDD 5	Consumo/m <sup>2</sup> /D	(GD20)/D
VBDD 6	Consumo/m <sup>2</sup> /D	(GD24)/D

onde:

GD18,3 = número Graus-dia mensal para a temperatura base de 18,3 ° C.

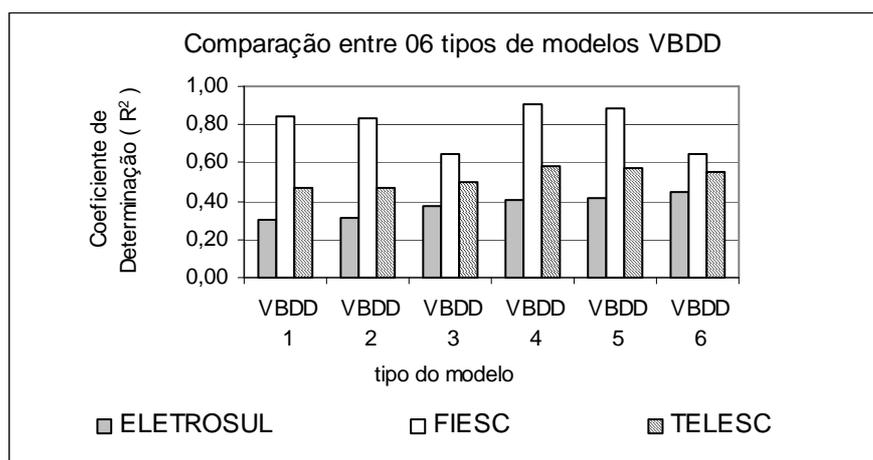
GD20 = número Graus-dia mensal para a temperatura base de 20 ° C.

GD24 = número Graus-dia mensal para a temperatura base de 24 ° C.

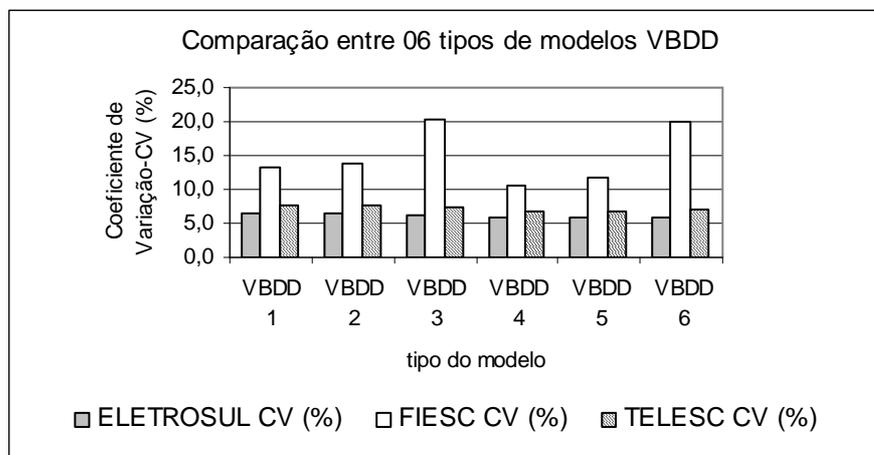
Os valores dos coeficientes  $R^2$  e CV para os seis modelos são apresentados na tabela 4.18, figura 4.17a e 4.17b, a seguir.

**Tabela 4.18 – Coeficientes  $R^2$  e CV para modelos VBDD – *baseline*. ano1995**

	ELETROSUL		FIESC		TELESC	
	$R^2$	CV (%)	$R^2$	CV (%)	$R^2$	CV (%)
VBDD 1	0,30	6,5	0,85	13,2	0,47	7,6
VBDD 2	0,32	6,4	0,84	13,7	0,47	7,6
VBDD 3	0,37	6,1	0,64	20,2	0,50	7,4
VBDD 4	0,41	5,9	0,90	10,5	0,58	6,7
VBDD 5	0,42	5,9	0,88	11,7	0,57	6,9
VBDD 6	0,45	5,8	0,65	20,1	0,56	7,0



**Figura 4.17a – Comparação de coeficientes  $R^2$  entre 06 tipos de modelos VBDD**



**Figura 4.17b – Comparação de coeficientes CV entre 06 tipos de modelos VBDD**

Como se observa na tabela 4.18 e figura 4.17a, o prédio da FIESC continua tendo um bom desempenho nos valores dos coeficientes  $R^2$  para modelos VBDD. Não é tão bom quanto o desempenho que apresentou nos modelos MMT, contudo, pode-se admitir novamente a existência de correlação significativa. Agora entre o consumo de energia e a quantidade de *Graus-dia* do mês, principalmente para as temperaturas-base de 18,3°C e 20°C. Já o prédio da TELESC apresentou uma queda maior no desempenho dos valores de  $R^2$ , comparando com os resultados obtidos para modelos MMT. Todos os valores ficaram abaixo de 0,60. O prédio da ELETROSUL continua com desempenho baixo no coeficiente  $R^2$  em modelos VBDD. E ainda pior que nos modelos MMT.

Quanto aos resultados obtidos para os coeficientes CV, nos modelos VBDD, houve uma piora para os três prédios. No prédio da ELETROSUL os valores se concentraram numa faixa estreita (de 5,8% a 6,5%), demonstrando a pouca influência da troca do tipo de modelo sobre este coeficiente. De certa forma isto pode ser concluído também para o prédio da TELESC, pois, os valores ficam entre 6,7% e 7,6%. Já para o prédio da FIESC, notamos que da mesma forma que aconteceu para os coeficientes  $R^2$ , o desempenho é melhor para os modelos com temperaturas-base mais baixas (18,3°C e 20°C).

### 4.3 Comparação entre modelos MMT e VBDD.

No item 2.7 do capítulo anterior foi citado que de uma maneira geral, os modelos MMT apresentam um desempenho melhor que os modelos VBDD. Neste capítulo, também se fizeram algumas comparações entre desempenhos das duas espécies de modelos. Confirmando o esperado, constatou-se em algumas situações a superioridade dos modelos MMT sobre os modelos VBDD. Para concluirmos esta comparação, apresentaremos três figuras contrastando o desempenho do coeficiente  $R^2$  nestas duas espécies de modelos, individualmente, para os prédios da ELETROSUL, FIESC e TELESC.

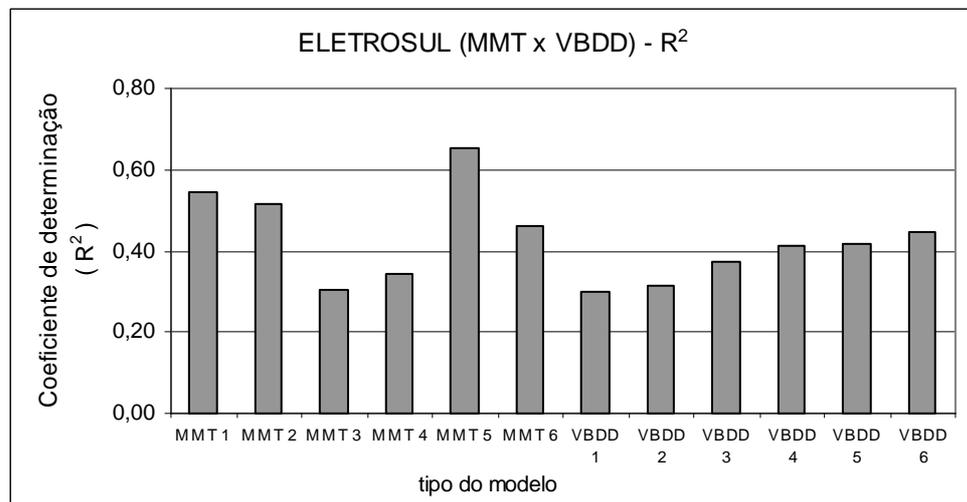


Figura 4.18a – Comparação do  $R^2$  entre modelos MMT e VBDD -ELETROSUL

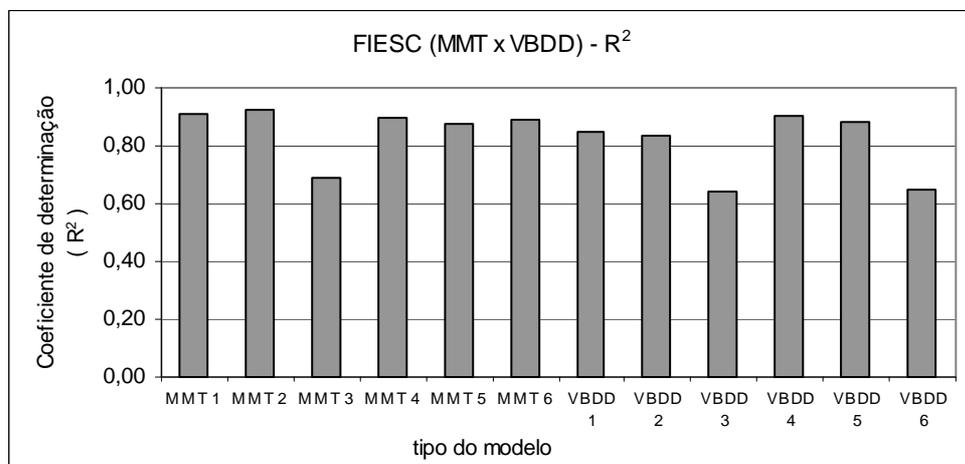
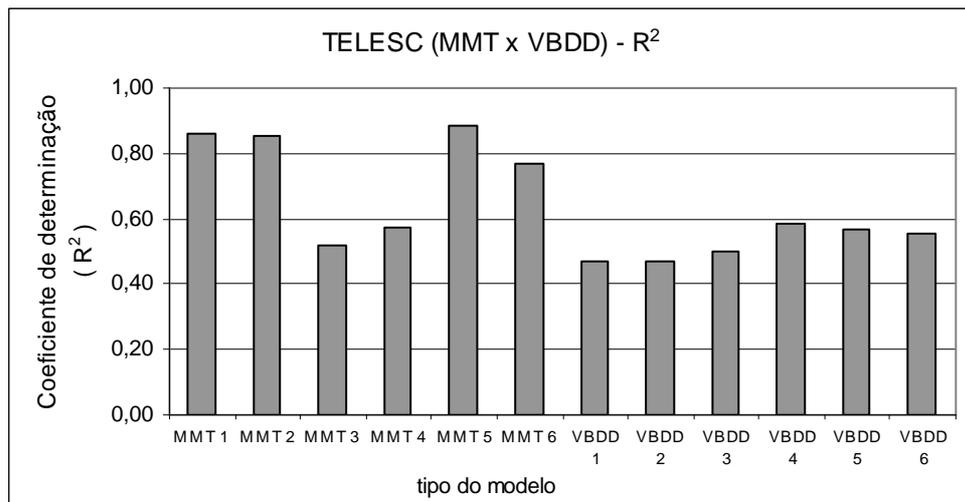


Figura 4.18b – Comparação do  $R^2$  entre modelos MMT e VBDD - FIESC

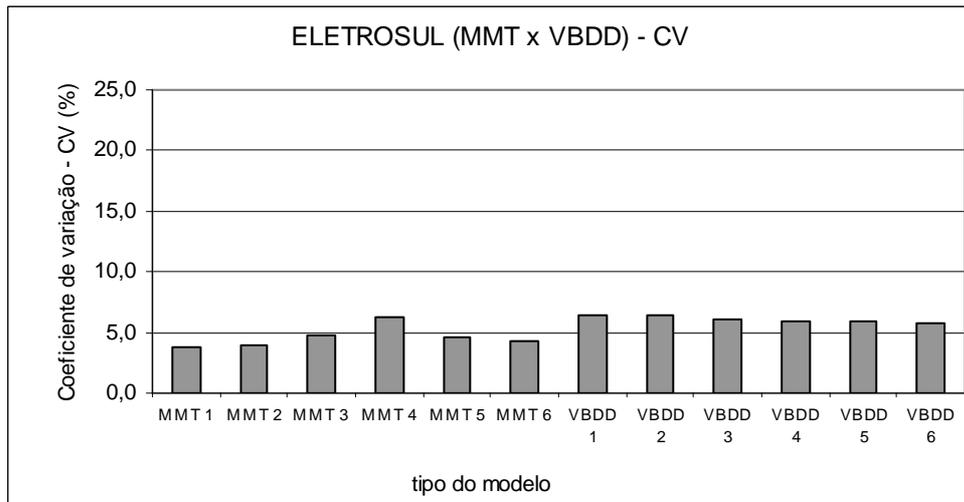


**Figura 4.18c – Comparação do R<sup>2</sup> entre modelos MMT e VBDD - TELESC**

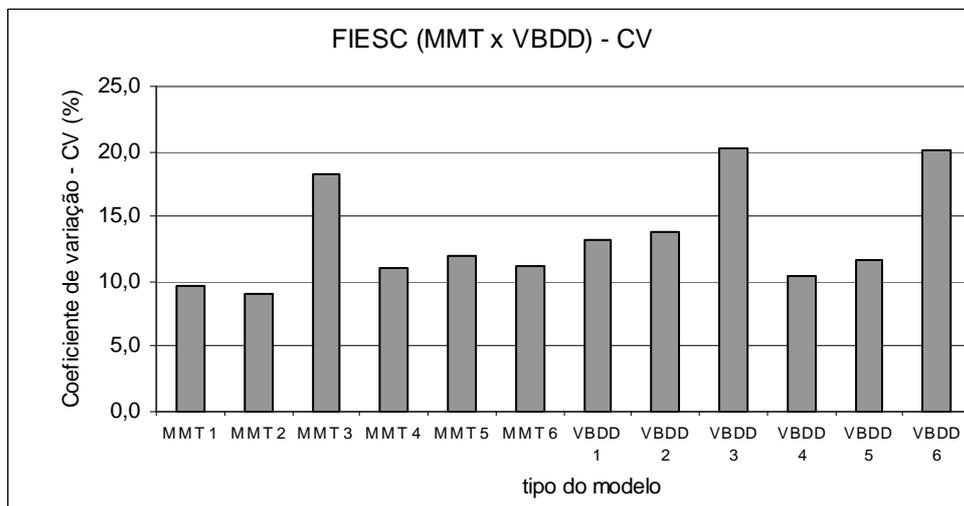
Analisando as três figuras 4.18a, 4.18b e 4.18c, em conjunto, é possível constatar as seguintes observações:

- ✓ No geral, os modelos MMT apresentaram melhores coeficientes R<sup>2</sup>.
- ✓ Os modelos MMT tipo 1, 2 e 5 mostraram-se superiores aos demais.
- ✓ O modelo MMT tipo 3 teve o pior desempenho nesta espécie em todos os três prédios, chegando a ser superado por vários modelos VBDD.
- ✓ O modelo MMT 5 foi destacadamente superior aos demais na ELETROSUL e ligeiramente superior aos outros dois melhores, no prédio da TELESC.
- ✓ A diferença no desempenho entre as duas espécies de modelos foi menos acentuada no prédio da FIESC.
- ✓ O modelo MMT 6 apresentou desempenho próximo dos melhores em todos os três prédios.

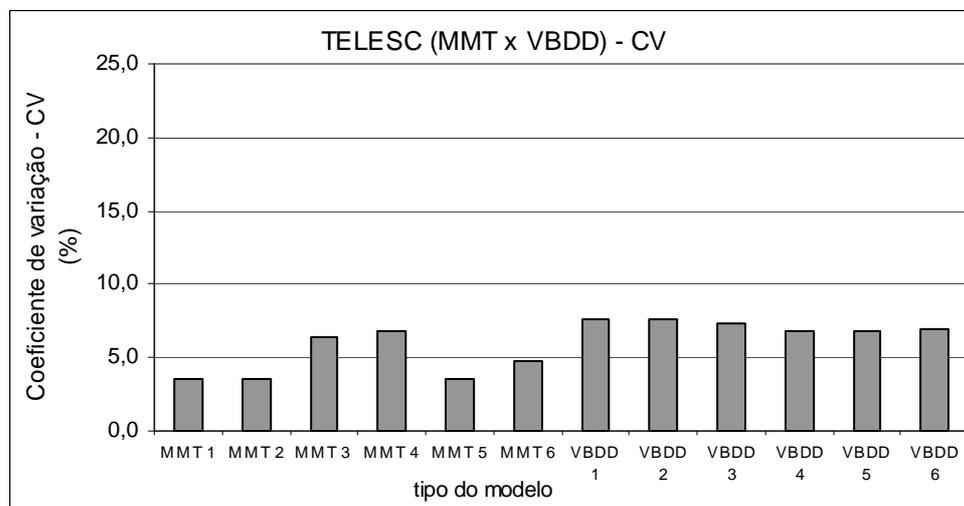
As figuras 4.19a, 4.19b e 4.19c, apresentam os resultados do desempenho para os coeficientes de variação (CV) nas duas espécies de modelos para os mesmos três prédios.



**Figura 4.19a – Comparação do CV entre modelos MMT e VBDD - ELETROSUL**



**Figura 4.19b – Comparação do CV entre modelos MMT e VBDD - FIESC**



**Figura 4.19c – Comparação do CV entre modelos MMT e VBDD - TELESC**

Quanto ao comportamento do coeficiente de variação (CV), tem-se as seguintes observações:

- ✓ De maneira inversa ao que aconteceu para o  $R^2$ , a diferença no desempenho das duas espécies de modelos foi mais acentuada no prédio da FIESC.
- ✓ Independente da espécie ou tipo de modelo, o prédio da FIESC apresentou piores os valores para o CV, comparado-se com os outros dois prédios.
- ✓ Nos 6 tipos de modelos VBDD, a variação dos valores do CV foi bem pequena entre eles, nos prédios da ELETROSUL e da TELESC.
- ✓ Levando-se em consideração os três prédios, os modelos MMT1 e MMT2 apresentaram melhores valores para o coeficiente de variação.
- ✓ O modelo MMT6 supera o modelo MMT5 nos prédios da ELETROSUL e da FIESC.

#### **4.4 Considerações finais.**

Apresentou-se neste capítulo uma série de aplicações usando análise de regressão simples, com a finalidade de testar modelos para a avaliação do uso de energia em prédios comerciais. Testou-se continuamente a influência da variação temperatura externa de bulbo seco (TBS) sobre a variação do consumo de energia. Inicialmente, num conjunto de doze prédios, se avaliou o desempenho de modelos MMT lineares, para se aplicar em predições mensais e anuais de uso de energia. Nesta etapa definiu-se o ano que melhor representa o consumo básico de energia do edifício, o qual denominamos ano *baseline*. A partir da definição do modelo *baseline*, podem ser feitas as predições e comparações dos consumos de energia mês-a-mês e ano-a-ano. Isto foi demonstrado para o referido conjunto de doze prédios.

Foi necessário se fazer ajustes para alguns valores do consumo. Ora calculando-se a média entre dois meses subseqüentes, ou substituindo determinados valores atípicos, pela média correspondente aos meses de mesmo nome em anos anteriores. Este procedimento nos leva a questionar o que teria ocorrido em cada prédio, provocando valores fora da escala normal de consumo. Numa situação real de definição do *baseline*, antes de se firmar o contrato, uma auditoria deverá primeiro tentar identificar as causas

destas anormalidades, para depois se fazer os ajustes para os dados atípicos que não foram esclarecidos.

Analisando-se os coeficientes  $R^2$  dos doze modelos escolhidos, constatamos uma forte correlação entre o consumo e temperatura externa de bulbo seco. Estes coeficientes já foram apresentados em conjunto na tabela 4.13, ao lado de cada coeficiente de variação correspondente. Nove dos coeficientes  $R^2$  são maiores que 0,80, um tem o valor 0,67 (quase igual a 0,70, um valor considerado satisfatório) e apenas dois, com valores abaixo de 0,50. Ou seja: de uma forma geral, dez dos doze modelos escolhidos apresentaram um bom desempenho em relação ao  $R^2$ .

No entanto, outro questionamento poderá surgir: “o que aconteceria, se não tivéssemos três anos de dados para analisar? Se dispuséssemos apenas de um ano, e este fosse justamente o pior dos três?”. Para tentar responder a esta questão, analisa-se a tabela 4.19, que reúne os coeficientes dos três anos para os doze prédios.

**Tabela 4.19 – Coeficientes  $R^2$  e CV dos doze prédios para os três anos analisados.**

	ano 91 / 92		ano 92 / 93		ano 93 / 94	
	$R^2$	CV (%)	$R^2$	CV (%)	$R^2$	CV (%)
edf 1	0,72	12,0	0,56	13,6	0,86	7,6
edf 2	0,93	4,7	0,86	6,5	0,81	8,1
edf 3	0,80	13,5	0,84	12,1	0,80	13,5
edf 4	0,88	13,6	0,83	14,5	0,73	17,7
edf 5	0,82	10,6	0,82	8,8	0,84	9,8
edf 6	0,85	11,9	0,52	17,5	0,81	7,4
edf 7	0,92	7,6	0,77	9,7	0,79	12,3
edf 8	0,42	9,1	0,38	10,6	0,45	8,6
edf 9	0,83	10,9	0,92	8,2	0,67	14,4
edf 10	0,14	8,0	0,13	15,4	0,02	16,1
edf 11	0,74	11,5	0,46	19,6	0,83	7,3
edf 12	0,53	17,8	0,69	13,9	0,67	10,6

Na tabela 4.19 constata-se: Os prédios edf 8 e edf 10 apresentam valores de  $R^2$  muito baixo para todos os três anos do período estudado, o que significa que qualquer escolha não conseguirá satisfazer a um bom modelo. Dos dez prédios restantes, seis apresentam valores de  $R^2$  igual ou acima de 0,7 em todos os três anos. Neste caso, não

se corre o risco de analisar um ano em que os dados não serviriam para se desenvolver um modelo com bom desempenho. Nos outros quatro prédios, em pelo menos dois anos os valores de  $R^2$  são iguais ou maiores que 0,7, o que significa uma probabilidade de 67% para construir um bom modelo. Computando para os dez prédios, o número de exemplos apresentando valores de  $R^2$  iguais ou maiores a 0,8, chega-se a um total de dezoito (60%), dos trinta calculados. Estas constatações nos cálculos do coeficiente de determinação comprovam que a influência da temperatura externa sobre o consumo global de energia para a maioria dos prédios analisados está longe de ser uma ocorrência aleatória, e sim, uma regra.

No trabalho de Toledo (1995), além dos dados de consumo, encontram-se também outras informações, originadas a partir de auditorias realizadas pelo autor. A tabela 4.20 apresenta as porcentagens estimadas para o consumo de energia em Ar Condicionado, nos períodos seco e úmido.

**Tabela 4.20 - Porcentagem do consumo do Ar. Cond. – Período Seco e Período Úmido**

ArCond.	(%) Seco	(%) Úmido	$\Delta$ % Ar		(%) Seco	(%) Úmido	$\Delta$ % Ar
edf 1	20	37	17	edf 7	42	66	24
edf 2	19	39	20	edf 8	52	58	6
edf 3	32	57	25	edf 9	53	70	17
edf 4	36	64	28	edf 10	38	40	2
edf 5	32	51	19	edf 11	7	34	27
edf 6	22	50	28	edf 12	42	58	16

Observa-se que no edf 8 (52% e 58%) e no edf 10 (38% e 40%), as porcentagens de consumo para os dois períodos são bem próximas, o que significa que o Ar Condicionado, nestes dois prédios, tem o funcionamento pouquíssimo influenciado pelo clima. Desta forma, explicam-se os baixos valores obtidos para os coeficientes  $R^2$ . Outra informação importante encontrada no trabalho de Toledo é a porcentagem de área condicionada da cada prédio, apresentada na tabela 4.21.

**Tabela 4.21 – porcentagem de área condicionada dos 12 prédios.**

% Área Condicionada			
edf 1	37	edf 7	74
edf 2	60	edf 8	10
edf 3	77	edf 9	95
edf 4	66	edf 10	38
edf 5	88	edf 11	74
edf 6	83	edf 12	97

Os prédios edf 8 e edf 10 estão entre os três que apresentam uma porcentagem de área condicionada abaixo de 60%. Este fato é mais um fator que favorece uma explicação para os baixos valores de  $R^2$ .

Na segunda parte do trabalho, um conjunto menor, de três prédios, foi usado como exemplo de aplicação para comparações de duas espécies de modelos. Seis tipos de modelos da espécie MMT e seis tipos da espécie VBDD foram criados com algumas normalizações nos dados de entrada (variável dependente  $Y$  = consumo mensal de energia; e variável  $X$  = média mensal TBs, para modelos MMT, ou valor *Graus-dia* mensal, para modelos VBDD). O resultado mais significativo do estudo foi a comprovação da superioridade no desempenho dos modelos MMT sobre os modelos VBDD. Verificou-se também que os modelos MMT 1 e MMT 2 apresentam um melhor desempenho para os três prédios analisados em conjunto, comparando com os outros tipos de modelo. No entanto, o modelo MMT 5, onde se normaliza, tanto o consumo, quanto a média TBs, em relação ao número de dias do período da fatura ( $D$ ), apresentou melhores coeficientes  $R^2$  para o prédio da ELETROSUL e o prédio da TELESC.

Nos relatórios de auditoria do Projeto 6 Cidades, obtém-se o valor da porcentagem de área condicionada para cada prédio, apresentada na tabela 4.22.

**Tabela 4.22 – porcentagem de área condicionada – Eletrosul, Fiesc e Telesc.**

% Área Condicionada	
ELETROSUL	64
FIESC	68
TELESC	80

Nos modelos analisados, constatou-se que no prédio da ELETROSUL a correlação entre o consumo e a temperatura não é tão forte quanto nos prédios da FIESC e TELESC (tabela 4.16). No entanto, as porcentagens de área condicionada apresentadas na tabela 4.22 revelam que não existe uma diferença significativa entre os três valores. Em outras palavras, de forma diferente de que se constatou para o conjunto dos 12 prédios, agora, um valor baixo do  $R^2$  não está relacionado com um valor baixo de porcentagem de área condicionada. Quanto à diferença entre porcentagens estimadas para consumo de ar condicionado nos períodos seco e úmido, não foi encontrada no relatório de auditoria (Lamberts et al. 1998a) nenhuma informação que indicasse alguma variação significativa. Consultando o trabalho de Pedrini (1997) também não se encontrou nenhuma evidência para variações significativas do consumo de ar condicionado entre os períodos seco e úmido. Já no relatório do prédio da TELESC (Lamberts et al. 1998c) está explícito um aumento na carga de ar condicionado nos meses de maiores temperaturas. No relatório do prédio da FIESC (Lamberts et al. 1998b), esta informação não é evidente. Porém, em Westphal (1999), encontram-se informações suficientes, comprovando a diferença significativa de consumo de ar condicionado entre o período seco e o período úmido. Portanto, os resultados obtidos para os coeficientes  $R^2$  nestes três prédios, estão coerentes com as informações obtidas das auditorias.

Nos relatórios de auditoria do Projeto 6 Cidades, comparam-se os consumos mensais, real e simulado, do ano 1995. Nas tabelas 4.23, 4.24 e 4.25 e figuras 4.20a, 4.20b e 4.20c, as comparações são rerepresentadas, acrescentando-se agora os valores preditos calculados pelo modelo MMT 1.

**Tabela 4.23 – Consumo Real x Simulado x Predito (kWh/m<sup>2</sup>) – Eletrosul**

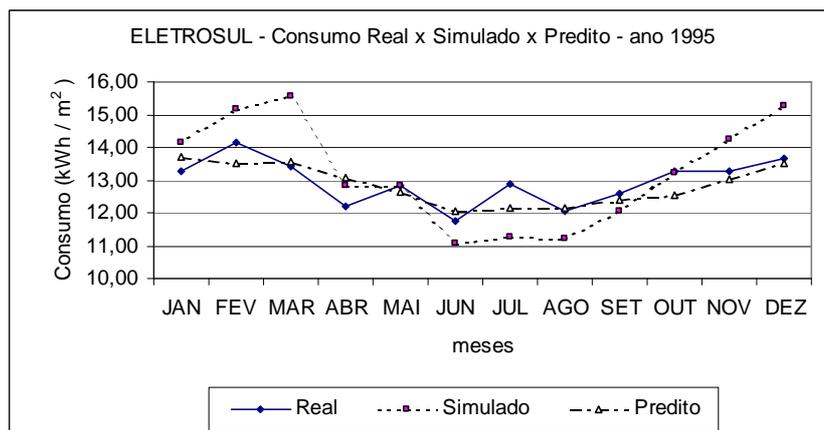
<b>ELETROSUL : Consumo ( kWh/m<sup>2</sup>) - Real x Simulado x Predito -1995</b>					
	Real	Simulado	Var.(%)	Predito	Var.(%)
JAN	13,28	14,14	6	13,70	3
FEV	14,13	15,16	7	13,50	-4
MAR	13,40	15,55	16	13,57	1
ABR	12,19	12,81	5	13,08	7
MAI	12,85	12,81	0	12,63	-2
JUN	11,75	11,09	-6	12,06	3
JUL	12,89	11,28	-12	12,13	-6
AGO	12,07	11,22	-7	12,13	0
SET	12,60	12,06	-4	12,37	-2
OUT	13,29	13,21	-1	12,51	-6
NOV	13,25	14,22	7	13,02	-2
DEZ	13,67	15,28	12	13,53	-1

**Tabela 4.24 – Consumo Real x Simulado x Predito (kWh/m<sup>2</sup>) – Fiesc**

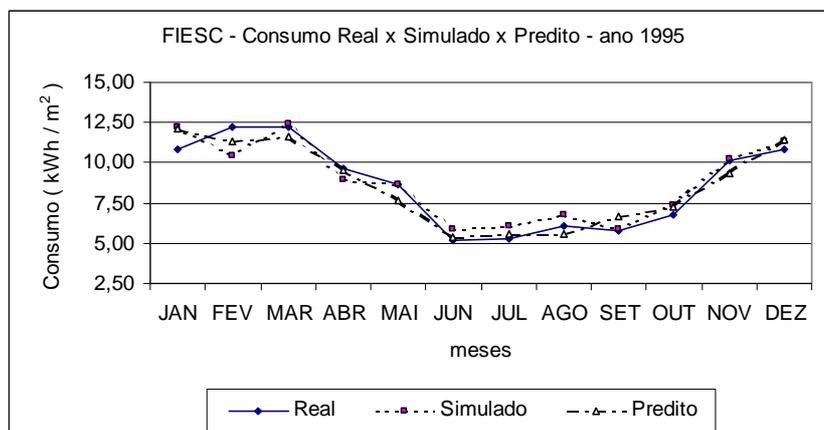
<b>FIESC : Consumo ( kWh/m<sup>2</sup>) - Real x Simulado x Predito -1995</b>					
	Real	Simulado	Var.(%)	Predito	Var.(%)
JAN	10,83	12,23	13	12,16	12
FEV	12,23	10,46	-14	11,31	-8
MAR	12,21	12,44	2	11,61	-5
ABR	9,62	9,00	-7	9,58	0
MAI	8,61	8,68	1	7,70	-11
JUN	5,19	5,87	13	5,34	3
JUL	5,29	6,09	15	5,61	6
AGO	6,06	6,77	12	5,62	-7
SET	5,77	5,90	2	6,62	15
OUT	6,78	7,32	8	7,22	6
NOV	10,10	10,26	2	9,31	-8
DEZ	10,83	11,33	5	11,45	6

**Tabela 4.25 – Consumo Real x Simulado x Predito (kWh/m<sup>2</sup>) – Telesc**

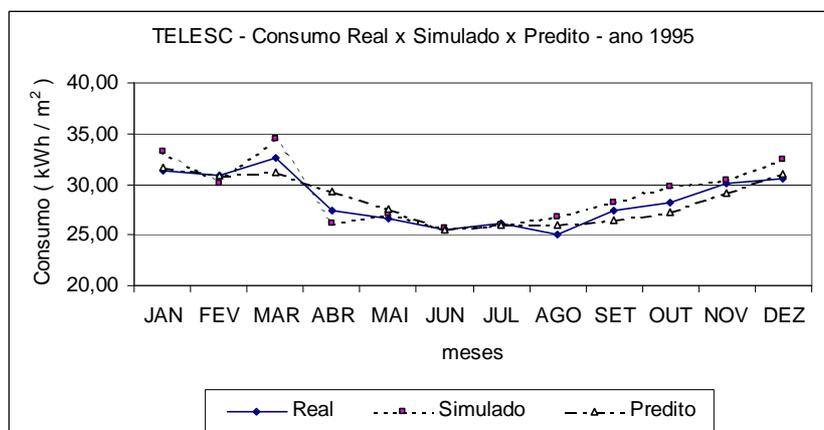
<b>TELESC : Consumo ( kWh/m<sup>2</sup>) - Real x Simulado x Predito -1995</b>					
	Real	Simulado	Var.(%)	Predito	Var.(%)
JAN	31,28	33,24	6	31,67	1
FEV	30,88	30,06	-3	30,89	0
MAR	32,53	34,56	6	31,15	-4
ABR	27,43	26,20	-4	29,25	7
MAI	26,59	27,04	2	27,54	4
JUN	25,50	25,63	1	25,52	0
JUL	26,14	26,01	0	25,94	-1
AGO	25,09	26,76	7	25,91	3
SET	27,42	28,14	3	26,52	-3
OUT	28,15	29,82	6	27,20	-3
NOV	30,10	30,35	1	29,06	-3
DEZ	30,51	32,41	6	30,99	2



**Figura 4.20a – Consumo Real x Simulado x Predito (kWh/m<sup>2</sup>) – Eletrosul**



**Figura 4.20b – Consumo Real x Simulado x Predito (kWh/m<sup>2</sup>) – Fiesc**



**Figura 4.20c – Consumo Real x Simulado x Predito (kWh/m<sup>2</sup>) – Telesc**

Comparando os valores mensais simulados e preditos do prédio da ELETROSUL (tabela 4.23), verifica-se que as variações percentuais dos valores preditos em relação ao consumo real não chegam a ultrapassar 6%. Enquanto que para as variações dos valores simulados atingem valores de até 16%. No prédio da FIESC, aparecem três valores acima de 10% para as variações do consumo predito, e cinco valores acima de 10% para as variações do consumo simulado. No prédio da TELESC, aparece apenas um valor predito acima de 5% (mês de abril) do real. Já os valores simulados, cinco deles são acima de 5%. No geral, para os três prédios constata-se que os valores mensais preditos se aproximaram mais do real que os valores simulados.

De acordo com os resultados obtidos e análises realizadas, procede-se no capítulo seguinte uma conclusão do trabalho, apresentando-se recomendações quanto ao uso dos modelos testados. Apresenta-se também um comentário sobre algumas limitações da pesquisa aqui desenvolvida e fazem-se sugestões para aperfeiçoamentos em trabalhos futuros.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Conclusões

A avaliação do consumo de energia é uma tarefa fundamental em programas de eficiência energética. Muitos caminhos podem ser seguidos na realização desta atividade. A escolha do procedimento ou metodologia depende de muitos fatores. Primeiro, deverá existir uma credibilidade nas opções a serem escolhidas. A partir daí, é preciso levar em consideração o tempo requerido para o serviço, o custo disponível e o grau de precisão esperado. As questões citadas devem ser respondidas antes de se tomar uma decisão.

Esta dissertação teve como propósito desenvolver uma metodologia que possa ser usada na avaliação inicial do consumo básico de energia em uma edificação, antes e depois de passar pelas medidas de eficiência energética. O termo *Baseline*, que caracteriza na edificação as condições anteriores a estas medidas, opcionalmente não foi traduzido, por se reconhecer a força e abrangência do seu significado. Com a ferramenta aqui desenvolvida, é possível se determinar um *Baseline*, fazer predições e futuras verificações da variação do consumo de energia, auxiliando no cálculo de possíveis economias, geradas a partir das medidas de eficiência.

O procedimento adotado está de acordo com a Opção C dos Protocolos de Medição e Verificação (M&V), também denominada Abordagem do Medidor Geral. Uma das vantagens desta opção é o baixo custo de execução. Usando informações das faturas de consumo mensal de energia e médias mensais de temperaturas externas de bulbo seco, pôde-se construir modelos estatísticos através de análises de regressão para avaliar o uso de energia. Diferentes modelos foram testados e comparados. Os dados de consumo foram obtidos de um conjunto de prédios (comerciais e públicos) da cidade de

Florianópolis e os dados de temperaturas de uma estação climática local. A partir dos resultados obtidos, pode-se tirar algumas conclusões.

É possível se utilizar modelos estatísticos para fazer previsões e verificações do consumo mensal e anual de energia, apresentando, em algumas situações, dispersões pequenas em relação ao valor medido. Alguns dos prédios estudados apresentaram baixos coeficientes de determinação  $R^2$ . Mesmo assim, pôde-se construir modelos lineares que conseguem prever valores de consumo numa escala anual bem próximos dos valores medidos. Das 24 previsões anuais calculadas através da equação 2.9, doze apresentaram uma diferença menor ou igual a 5% do valor medido, oito entre 5% e 10%, duas entre 10% e 20% e duas acima de 20%.

Verificou-se que a influência da temperatura externa de bulbo seco (TBs) sobre o consumo de energia é forte para alguns prédios e fraca para outros. Mesmo quando a influência não é forte ( $R^2 < 0,7$ ), mas o coeficiente de variação (CV) apresenta valores abaixo de 12%, o modelo pode ser adotado satisfatoriamente para realizações de previsões de consumo. Analisando-se os coeficientes  $R^2$  dos doze modelos escolhidos, foi constatada uma forte correlação entre o consumo de energia e a temperatura externa de bulbo seco. Nove dos coeficientes  $R^2$  apresentaram valores maiores que 0,80, um com valor 0,67 (quase igual a 0,70, um valor considerado satisfatório) e apenas dois, com valores abaixo de 0,50. Ou seja: de uma forma geral, dez dos doze modelos escolhidos apresentaram um bom desempenho em relação ao  $R^2$ . Identificou-se que os dois prédios que apresentaram baixos coeficientes  $R^2$ , tinham um percentual de área condicionada bem inferior ao dos demais, e pouca diferença no percentual estimado para consumo de ar condicionado entre os períodos seco e úmido.

Comparando os valores mensais simulados e preditos pelos modelos MMT, dos prédios da ELETROSUL, FIESC e TELESC, verificou-se que as variações percentuais dos valores preditos do consumo, se aproximaram mais do real que os valores simulados. Na ELETROSUL, os valores preditos não chegam a ultrapassar 5% do real. Enquanto que valores simulados atingem até 16%. No prédio da FIESC, aparecem três valores acima de 10% para as variações do consumo predito e cinco valores acima de 10% para as variações do consumo simulado. Porém, a maior diferença acontece para o

consumo predito (17,04%). No prédio da TELESC, aparece apenas um valor predito acima de 5% do real. Já os valores simulados, cinco deles são acima de 5%.

Os modelos tipo MMT apresentaram desempenho superior aos modelos VBDD, confirmando o que já havia acontecido em pesquisas anteriores. O modelo MMT 1, que foi construído com as faturas mensais de consumo e as médias TBs do calendário mensal (e não do período correspondente ao número de dias do intervalo da fatura), apresentou resultados nos coeficientes  $R^2$  e CV tão bons quanto o modelo MMT 2 (onde a TBs é a média do período da fatura.). A constatação anterior não deve tirar a importância da informação correta do período da fatura. É bom lembrar, que as datas das leituras de cada fatura, para todos os três prédios onde os modelos MMT 1 e MMT 2 foram testados, estão bem próximas do último dia de cada mês, o que faz com que a média TBs mensal e a média TBs do período faturado se aproximem bastante. O modelo MMT 5, onde as variáveis consumo e temperatura foram normalizadas em relação ao número de dias do intervalo de cada fatura, apresentou o terceiro melhor desempenho no geral, vindo em seguida, em quarto, o modelo MMT 6, onde apenas a temperatura foi normalizada, não em relação ao número de dias totais do período entre faturas, mas ao número de dias úteis. Com os resultados obtidos, verificou-se que as normalizações não proporcionam melhoras nos valores dos coeficientes dos modelos MMT, o que poderia justificar a eliminação desta etapa, aparentemente desnecessária. Porém, a prática da normalização é simples e direta, fácil de ser realizada, já demonstrando bons resultados em trabalhos citados no capítulo 2, o que reforça a prudência de não eliminá-la.

## **5.2 Recomendações e sugestões para futuros trabalhos.**

A pesquisa aqui desenvolvida, cujos resultados foram apresentados no capítulo 4, não chegou a abranger todas as situações abordadas na revisão relatada no capítulo 2. Uma diversidade de modelos, diferentes dos que foram testados aqui, ainda precisam ser estudados. Seguem algumas recomendações e sugestões para futuros trabalhos.

- ✓ Aplicação de modelos usando análise de regressão múltipla, acrescentando outras variáveis regressoras, além da temperatura externa de bulbo seco.

- ✓ Aplicação de modelos de regressão usando dados horários.
- ✓ Substituição de alguns dos modelos testados (lineares) por modelos com ponto de mudança (modelos não lineares), verificando as diferenças ocorridas no desempenho.
- ✓ Testar novamente estes modelos (nos mesmos prédios ou em outros) para uma faixa maior de intervalos anuais de consumo (maior que três anos), verificando as previsões para períodos maiores.
- ✓ Ampliar a pesquisa sobre modelos VBDD
- ✓ Comparar resultados dos modelos MMT e VBDD com modelos de simulação calibrada.
- ✓ Desenvolvimento de um software específico para esse tipo de pesquisa, simplificando o gerenciamento dos dados de entrada e de saída dos modelos.

## **ANEXO A**

**Consumo mensal ( kWh / m2 ) dos 12 prédios do primeiro grupo**

	Consumo mensal ( k W h / m <sup>2</sup> ) - julho 1991 a junho 1994								
	CASAN			CELESC			Edf, das Diretorias		
	91 / 92	92 / 93	93 / 94	91 / 92	92 / 93	93 / 94	91 / 92	92 / 93	93 / 94
JUL	6,24	6,15	6,45	7,84	9,90	8,67	2,86	3,58	3,46
AGO	3,12	5,87	6,15	7,06	9,07	7,85	3,03	4,01	3,88
SET	6,12	5,84	6,45	7,07	10,06	8,08	3,20	4,52	3,50
OUT	8,75	6,73	6,62	7,81	11,52	9,93	3,37	3,88	4,22
NOV	8,14	9,60	8,98	9,69	10,90	13,67	4,44	4,74	4,69
DEZ	13,27	9,99	13,30	12,64	13,52	15,01	1,79	2,09	3,03
JAN	9,39	14,31	12,17	13,60	14,86	13,71	9,09	7,77	7,17
FEV	15,67	12,57	10,86	12,78	13,88	13,65	6,70	6,66	5,63
MAR	11,64	11,71	13,07	12,21	16,60	15,38	0,26	5,50	4,91
ABR	10,96	12,34	9,97	10,29	14,44	10,87	11,26	7,25	5,29
MAI	7,08	8,47	8,49	8,30	12,27	12,43	3,75	3,97	4,18
JUN	5,43	5,75	5,09	9,64	9,35	9,53	3,88	3,80	3,97

	Consumo mensal ( k W h / m <sup>2</sup> ) - julho 1991 a junho 1994								
	Assembléia Legislat.			Banco do Brasil			Caixa Econ.Federal		
	91 / 92	92 / 93	93 / 94	91 / 92	92 / 93	93 / 94	91 / 92	92 / 93	93 / 94
JUL	3,96	4,09	4,51	12,06	12,41	10,61	3,05	3,51	3,80
AGO	4,93	4,64	4,77	12,66	11,71	10,38	3,29	3,39	3,70
SET	5,27	4,89	4,64	11,97	12,67	10,84	2,90	3,61	3,76
OUT	4,43	4,77	5,74	14,67	14,33	12,69	3,89	4,04	4,24
NOV	6,03	6,16	6,28	14,78	13,47	16,23	3,98	4,64	6,29
DEZ	7,55	2,70	4,01	18,52	16,81	17,63	6,86	5,68	7,62
JAN	6,49	8,22	10,63	18,57	18,49	14,89	5,07	7,31	6,83
FEV	6,03	8,10	7,84	17,99	16,26	14,67	8,63	6,72	6,92
MAR	7,89	6,79	6,71	16,54	17,94	15,81	6,32	6,98	7,91
ABR	6,45	8,98	5,82	15,31	16,02	12,64	4,88	6,43	4,99
MAI	4,85	5,31	1,18	12,96	14,53	13,63	3,91	5,07	5,91
JUN	4,64	4,98	0,67	12,42	11,48	11,97	3,63	4,00	4,35

	Consumo mensal ( k W h / m <sup>2</sup> ) - julho 1991 a junho 1994								
	Palácio do Governo			Secret. de Educação			Tribunal de Contas		
	91 / 92	92 / 93	93 / 94	91 / 92	92 / 93	93 / 94	91 / 92	92 / 93	93 / 94
JUL	3,43	3,52	1,75	4,80	5,20	5,33	4,92	4,80	4,86
AGO	3,50	4,17	2,57	5,60	6,13	6,00	5,70	5,58	5,46
SET	3,42	4,55	2,32	5,60	6,40	5,73	5,70	6,12	5,10
OUT	3,39	3,81	2,28	5,33	5,86	6,66	5,40	6,12	6,00
NOV	3,64	3,64	2,21	5,86	7,06	7,60	7,32	8,22	7,74
DEZ	1,22	1,71	1,19	3,07	2,93	5,06	4,14	3,84	4,86
JAN	5,66	4,55	3,24	11,33	11,33	11,60	12,60	11,94	9,06
FEV	4,00	3,13	2,13	9,06	10,00	8,93	10,08	9,36	8,34
MAR	4,23	3,11	2,05	8,93	8,53	8,26	9,30	8,04	7,50
ABR	4,11	4,80	2,25	7,20	11,46	8,66	8,10	10,62	8,40
MAI	3,60	3,41	1,44	5,46	6,40	6,93	9,66	6,36	6,78
JUN	3,90	3,49	1,62	5,73	6,00	6,53	5,70	5,82	6,36

	Consumo mensal ( k W h / m <sup>2</sup> ) - julho 1991 a junho 1994								
	Edf, das Secretarias			EMBRATEL			Forum		
	91 / 92	92 / 93	93 / 94	91 / 92	92 / 93	93 / 94	91 / 92	92 / 93	93 / 94
JUL	4,97	4,92	2,54	26,71	22,47	23,45	7,25	5,71	6,69
AGO	5,82	5,37	5,52	25,05	24,43	25,08	6,90	5,30	7,13
SET	5,72	6,16	4,92	25,08	24,75	23,45	9,05	8,27	7,11
OUT	5,87	5,62	5,92	28,33	30,61	26,71	7,65	8,94	1,73
NOV	7,26	7,16	6,96	25,73	25,40	30,29	10,21	11,09	11,20
DEZ	3,73	3,23	4,72	28,99	26,05	29,64	5,28	5,18	6,63
JAN	14,22	11,73	10,99	26,38	31,92	30,61	18,88	18,51	18,62
FEV	9,79	9,30	7,95	35,50	26,05	23,77	14,60	12,20	12,26
MAR	9,50	7,66	6,96	31,92	24,34	27,68	13,11	12,04	10,58
ABR	7,26	10,54	7,06	29,64	30,94	29,96	12,36	12,79	13,87
MAI	5,22	5,82	5,62	26,71	26,38	25,40	9,24	8,35	10,41
JUN	5,37	8,00	5,32	24,75	21,17	23,12	7,67	7,80	9,97

## **ANEXO B**

**Informações de faturas de energia para os 3 prédios do segundo grupo**

**ELETROSUL - FIESC - TELESC****INFORMAÇÕES ORIGINADAS DE FATURAS DE ENERGIA  
ANO 1995**

ELETROSUL		Data/leit.	Dias	Dias
MÊS	kWh	28/12/94	Totais	uteis
JAN	397825	25/01/95	27	21
FEV	423389	24/02/95	29	21
MAR	401599	28/03/95	34	22
ABR	365132	26/04/95	28	21
MAI	385075	26/05/95	30	22
JUN	352003	26/06/95	30	21
JUL	386096	26/07/95	30	22
AGO	361664	24/08/95	28	20
SET	377428	25/09/95	31	22
OUT	398194	27/10/95	32	24
NOV	396921	28/11/95	31	22
DEZ	409640	28/12/95	30	23

FIESC		Data/leit.	Dias	Dias
MÊS	kWh	28/12/94	Totais	uteis
JAN	108305	25/01/95	27	21
FEV	122284	23/02/95	28	21
MAR	122131	28/03/95	35	22
ABR	96245	26/04/95	28	21
MAI	86100	26/05/95	30	22
JUN	51855	26/06/95	30	21
JUL	52924	26/07/95	30	22
AGO	60574	24/08/95	28	20
SET	57727	25/09/95	31	22
OUT	67764	27/10/95	32	24
NOV	101001	28/11/95	31	22
DEZ	108326	28/12/95	30	23

TELESC		Data/leit.	Dias	Dias
MÊS	kWh	28/12/94	Totais	uteis
JAN	320662	26/01/95	28	21
FEV	316513	24/02/95	28	21
MAR	333461	29/03/95	35	22
ABR	281162	27/04/95	28	21
MAI	272524	27/05/95	30	22
JUN	261350	27/06/95	30	21
JUL	267974	28/07/95	31	23
AGO	257161	28/08/95	30	20
SET	281098	25/09/95	27	22
OUT	288569	26/10/95	31	24
NOV	308512	28/11/95	32	22
DEZ	312729	29/12/95	31	23

## **ANEXO C**

**Áreas construídas totais e condicionadas de todos os prédios analisados.**

EDIFÍCIOS		Área	ÁreaCond.	% Área
		(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	Cond.
edf 1	Assembléia Legislativa	11382	4225	37
edf 2	Banco do Brasil	6690	4000	60
edf 3	Caixa Econômica Federal	7567	5857	77
edf 4	CASAN	2681	1777	66
edf 5	CELESC	21404	18857	88
edf 6	Edifício das Diretorias	8437	7009	83
edf 7	Edifício das Secretarias	7241	5328	74
edf 8	EMBRATEL	5895	603	10
edf 9	Forum	7562	7208	95
edf 10	Palácio do Governo	6127	2345	38
edf 11	Secretaria de Educação	7203	5295	74
edf 12	Tribunal de Contas	6000	5794	97
edf 13	ELETROSUL	29963	19257	64
edf 14	FIESC	10000	6815	68
edf 15	TELESC	10250	8189	80

## **ANEXO D**

**-Médias mensais de temperaturas externas de bulbo seco – TBs (Florianópolis) -  
1991 a 1997**

**-Graus dia para refrigeração – ano 1995 - Florianópolis**

Médias mensais de temperaturas externas de bulbo seco Florianópolis - EPAGRI							
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
JAN	24,6	25,5	25,8	24,9	25,7	25,7	25,6
FEV	25,2	26,1	25,3	25,8	24,8	25,6	26,0
MAR	24,7	24,9	24,7	24,5	24,8	24,2	24,3
ABR	23,2	23,0	23,7	22,3	22,5	23,3	22,4
MAI	21,6	19,2	20,5	21,5	19,6	20,3	20,1
JUN	18,5	19,1	17,3	17,6	17,2	16,3	18,1
JUL	16,9	15,6	15,8	17,2	18,4	14,4	18,4
AGO	18,2	16,2	16,1	17,2	18,0	17,1	18,5
SET	19,5	19,1	17,6	19,1	18,5	18,5	19,4
OUT	21,3	21,1	21,6	21,0	19,7	21,4	20,4
NOV	22,4	22,2	24,4	23,0	23,0	23,2	22,8
DEZ	25,7	24,4	24,7	25,4	24,9	25,3	25,6

Graus-dia para refrigeração relativos ao número de dias dos intervalos das faturas-1995											
FIESC				ELETROSUL				TELESC			
Data da leitura	Tb	Tb	Tb	Data	Tb	Tb	Tb	Data	Tb	Tb	Tb
28 Dez/94	18,3	20	24	28	18,3	20	24	28	18,3	20	24
25 Jan/95	208,1	160,5	58,3	25	208,1	160,5	58,3	26	216,0	166,7	60,6
23 Fev/95	177,3	129,7	27,6	24	185,2	135,9	29,8	24	185,2	135,9	29,8
28 Mar/95	223,0	166,9	41,7	28	215,1	160,7	39,5	29	222,4	166,3	41,1
26 Abr/95	126,5	83,9	13,7	26	126,5	83,9	13,7	27	122,8	80,2	12,1
26 Mai/95	71,6	37,9	2,8	26	71,6	37,9	2,8	27	68,0	36,0	2,8
26 Jun/95	12,2	1,5	0	26	12,2	1,5	0	27	12,2	1,5	0
26 Jul/95	16,1	3,5	0	26	16,1	3,5	0	28	20,7	6,1	0
24 Ago/95	32,9	12,7	0	24	32,9	12,7	0	28	37,0	14,6	0
25 Set/95	42,9	15,5	0	25	42,9	15,5	0	25	34,1	10,9	0
27 Out/95	51,3	16,2	0	27	51,3	16,2	0	26	49,2	15,8	0
28 Nov/95	131,1	83,5	6,4	28	131,1	83,5	6,4	28	133,2	83,9	6,4
28 Dez/95	196,9	145,9	36,4	28	196,9	145,9	36,4	29	202,3	149,6	36,4
ANUAL =	1308	878	211		1308	878	211		1321	887	213

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE 1993. Handbook: Fundamentals, Chapter 28 - "Energy Estimating Methods", Atlanta, Georgia.

ASHRAE 1997. Handbook: Fundamentals, Chapter 30 - "Energy Estimating and Modeling Methods", Atlanta, Georgia.

Bjornskov, D. , N. Benner, D. Dodds e T. Haasl. 1994. – Building Commissioning: The Path to Nirvana or the Woods of Ichabod Crane? Proceedings of the 1994 ACEEE Summer Study, pp. 5.26-5.36, August.

Brady, R., e C. Dasher. 1998. Building Commissioning as an Insurance Loss Prevention Strategy - Proceedings of the 1998 ACEEE Summer Study, pp. 4.30-4.36.

Chow, W., W. Ho e W. Leung. 1996. Energy Study in na Educational Institute. ASHRAE Transactions 102(2): 228-235.

Claridge, D., M. Krarti, e M. Bida. 1987. A validation study of variable-base degree-day cooling calculations. ASHRAE Transactions 93(2): 90-104.

Claridge, D., J. Haberl, M. Liu, J. Houcek e A. Aather. 1994. Can you achieve 150% of predicted retrofit savings? Is it time for recommissioning? Proceedings of the 1994 ACEEE Summer Study, pp. 5.73-5.88, August.

Cowan, J. e Schiller, S. 1997. Measuring Energy Savings for Modernization Projects. ASHRAE Journal 61(8): 60-62

Edmunds, D e T. Haasl. 1998. The Role of Existing Buildin Commissioning in the State of Tennessee'e Energy Management Program - Proceedings of the 1998 ACEEE Summer Study, pp. 4.146-4.155.

Erbs, D.G., S.A. Klein, e W.A. Beckman. 1983. Estimation of degree-days and ambient temperature bin data from monthly average temperatures. ASHRAE Journal 25(6): 60-65

FEMP 1999. "FEMP Handbook: Measurement and Verification Guideline (M&V) for Federal Energy Projects", DOE publication # DOE/GO-10096-248, February.

Geller, H. 1995. O Uso Eficiente da Eletricidade. Uma Estratégia de Desenvolvimento para o Brasil. Rio de Janeiro, INEE, 1995.

Goulart, S. 1993 Dados Climáticos Para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis. (111p). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Goulart, S., R. Lamberts, e S. Firmino. 1998. Dados Climáticos de 14 Cidades Brasileiras. ABRAVA, São Paulo, junho de 1998.

Haberl, J., S. Thamilsaran, T. Reddy, D. Claridge, D. O'Neal e W. Tuner. 1998. Baseline Calculations for Measurement and Verification of Energy na Demand Savings in a Revolving Loan Program in Texas. ASHRAE Transactions 104(2): 841-858.

Heffington, W., N. Saman, A.. Britton e A. Reddy. 1996. Energy Audit Process Simplifications from the Texas LoanSTAR Program. ASHRAE Transactions 102(1): 68-75.

Heinemeier, K., H. Akbari e J. (Steve) Kromer. 1996. Monitoring Savings in Energy Savings Performance Contracts Using Energy Management and Control Systems. ASHRAE Transactions 102(2): 562-575.

IPMVP. 1997. International Performance Monitoring and Verification Protocol. United States Department of Energy (October). Disponível em: <<http://www.ipmvp.org>>

Lamberts, R., et al. 1998a. Projeto 6 Cidades – Relatório de Estudo de Retrofit – Edifício Sede da ELETROSUL - Florianópolis.

Lamberts, R., et al. 1998b. Projeto 6 Cidades – Relatório de Estudo de Retrofit – Edifício Sede da FIESC - Florianópolis.

Lamberts, R., et al. 1998c. Projeto 6 Cidades – Relatório de Estudo de Retrofit – Edifício Sede da TELESC - Florianópolis.

Lamberts, R. , L. Gomez e R. Signor. 1994. Comparação de Resultados de Simulação com o Consumo Energético Medido num Edifício de Escritórios. Florianópolis, 1994

Lamberts, R. e Signor, R. 1996. Estudo do Consumo de Energia do Edifício do Fórum de Florianópolis. Florianópolis, 1996

NEMVP. 1996. Measurement and Verification Guideline for Federal Energy Projects, U.S. Department of Energy, Office of Federal Energy Management Programs, DOE/GO-100096-248. February, 1996.

O'Neill, P. e K. Radke. 1994 – Automating the Commissioning Process-Information Management in Building Design Through Occupancy. Proceedings of the 1994 ACEEE Summer Study, pp. 5.194-5.199, August.

Pedrini, A. 1997. Desenvolvimento de Metodologia de Calibração de Modelos para Simulações Térmica e Energética de Edifícios. (186p). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Poole, A e H. Geller. 1997. O Novo Mercado de Serviços de Eficiência Energética no Brasil. Rio de Janeiro, INEE, 1997.

Reddy, T. A., N. F. Saman, D. E. Claridge, J. S. Haberl, W. D. Tuner e A. Chalifoux. 1997a. Baseline Methodology for Facility-Level Monthly Energy Use-Part 1: Theoretical Aspects. ASHRAE Transactions 103(2): 336-347.

- Reddy, T. A., N. F. Saman, D. E. Claridge, J. S. Haberl, W. D. Tuner e A. Chalifoux. 1997b. Baseline Methodology for Facility-Level Monthly Energy Use-Part 2: Application to Eight Army Instalations. ASHRAE Transactions 103(2): 348-359.
- Reddy T. A. e D. Claridge. 2000. Uncertainty of “Measured” Energy Savings from Statistical Baseline Models. HVAC&R Research, Vol 6, number 1, January 2000.
- Rosenfeld, A. 1996. Energy Efficient US Comercial Buildings: Successful and Emerging Strategies. Energy Efficient Buildings Workshop. CEPEL Rio de Janeiro, 3 de Dezembro, 1996.
- Schiller, S. e J. S. Kromer. 1998. Measurement and Verification Protocols – Facts and Fiction, News from the Field. Proceedings of the 1998 ACEEE Summer Study, pp. 4.342-4.350.
- Sonderregger, Robert C..1998. A Baseline Model for Utility Bill Analysis Using Both Weather and Non-Weather-Related Variables. ASHRAE Transactions 104(2): 859-870.
- Toledo, L. M. 1995. O Uso de Energia Elétrica em Edifícios Comerciais e Públicos de Florianópolis (SC). (121p). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Westphal, F. 1999. Estudo de Melhoria na Eficiência Energética de Um Edifício Comercial. (67p). Trabalho d Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção de grau de Engenheiro Civil, no Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Wilson, James K..1998. The Significant Role of Energy Calculations in The Success of Long-Term Energy Guarantees. ASHRAE Transactions 104(2): 880-894.
- Yoder, R., e M. Kaplan. 1994. Cost-Effective Commissioning: Getting the Job Done Within Utility Guidelines. Proceedings of the 1994 ACEEE Summer Study, pp. 5.276-5.282, August.