



# Fundamentos de M&V

## & o

## Protocolo Internacional de Medição e

## Verificação de *Performance* (2014)

## para Gestores de Energia

{Cidade, data}



PROJETO 3E  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES  
[WWW.MMA.GOV.BR/CLIMA/ENERGIA/PROJETOS](http://WWW.MMA.GOV.BR/CLIMA/ENERGIA/PROJETOS)



**anima**  
CONSULTORIA E PROJETOS

---

## Sumário

---

Sumário .....	2
1 Introdução .....	5
1.1 Apresentação .....	5
1.2 Definição e contexto da M&V .....	9
1.3 Introdução à EVO e PIMVP .....	10
1.4 Objetivos da M&V .....	14
2 Conceitos chave .....	16
2.1 Medida da eficiência energética? .....	17
2.2 Equação básica da M&V .....	19
2.3 Ajustes da M&V .....	19
2.4 Opções do PIMVP .....	23
2.5 Custo da M&V .....	27
2.6 Introdução à Estatística da M&V .....	29
3 Breves Exemplos .....	33
3.1 AEE múltipla em edifício .....	34
3.2 Novo prédio .....	38
3.3 Melhoria de eficiência na iluminação .....	40
3.4 Controle de vazamentos de ar comprimido .....	44
4 Planejamento de M&V .....	51
4.1 Para que e quando elaborar um Plano de M&V .....	52
4.2 Princípios Fundamentais da M&V .....	53
4.3 Fronteira de Medição .....	54
4.4 Tipos de Economia .....	56
4.5 Dados da Linha de Base .....	61
4.5.1 Variáveis independentes .....	62
4.5.2 Fatores Estáticos .....	64
4.5.3 Obtenção dos Dados da Linha de Base .....	66
4.6 Períodos Adjacentes de Medição .....	71
4.7 Equipamentos de medição .....	74
4.8 Procedimentos de rotina .....	82
4.8.1 Controle de Qualidade de M&V .....	82

4.8.2	Relatórios .....	83
4.9	Plano de M&V .....	84
5	Questões críticas .....	86
5.1	Dados faltantes .....	87
5.2	Orçamento de M&V .....	89
5.3	Ajustes da linha de base (ALB) .....	92
5.4	Disputa em ALB .....	99
5.5	Preços da M&V.....	101
5.6	Verificação.....	107
5.7	Aderência ao PIMVP.....	112
6	Cálculos da M&V .....	113
6.1	Introdução.....	113
6.2	Amostragem .....	114
6.3	Régressão .....	122
6.4	Incerteza e arredondamento .....	133
6.4.1	Incerteza.....	133
6.4.2	Arredondamento.....	143
7	Detalhes da medição isolada.....	144
7.1	Revisão do Método .....	144
7.2	Opção B .....	145
7.2.1	Exemplo Detalhado .....	146
7.2.2	Questões da Opção B .....	153
7.3	Opção A .....	153
7.3.1	Exemplo Detalhado .....	154
7.3.2	Questões da Opção A .....	162
8	Detalhes da Opção C .....	165
8.1	Revisão do Método .....	166
8.2	Questões detalhadas.....	172
9	Detalhes da Opção D .....	175
9.1	Para quê? – por que não? .....	176
9.2	Método / Exemplos .....	177
9.3	Processos Industriais .....	189
9.4	Questões .....	189
10	Outras aplicações da M&V .....	191

10.1	Recomissionamento .....	192
10.2	<i>Monitoring and Targeting</i> .....	194
11	Resumo.....	197
11.1	Aderência ao PIMVP .....	198
11.2	Seleção de Opção .....	199
11.3	Teste .....	202
11.4	Plano de M&V .....	204

## 1 Introdução

### Fundamentos de M&V e o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance

Para Gerentes de Energia

#### Introdução

##### 1.1 Apresentação

###### Instrutor

- Agenor Gomes Pinto Garcia
  - Engenheiro eletricista (UFBA)
  - Mestre e doutor em Planejamento Energético (UFRJ)
  - Indústria (1974 – 1997), ESCOs (1997 – 2006), EPE (2006 – 2007), universidade, consultoria (GIZ/ANEEL), treinamentos M&V



Introdução 2

E você?

### Fale de suas atividades com:

- Gerenciamento de energia
- Projetos de eficiência energética
- M&V:  
Experiência  
PIMVP  
Objetivo e expectativa quanto ao curso



Introdução 3

### Participantes - 1

Nº	Nome	Empresa
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

### Agenda do curso

1. Introdução
2. Conceitos chave
3. Breves exemplos
4. Planejamento de M&V
5. Questões críticas
6. Cálculos da M&V
7. Detalhes da medição isolada
8. Detalhes da Opção C
9. Detalhes da Opção D
10. Outras aplicações da M&V
11. Resumo e análise de um Plano de M&V detalhado

Introdução 6

## Agenda - 2



Introdução 7

## Benefícios do curso

- Certificado de participação da EVO (sob requisição)
- Acesso à página da EVO na internet por um ano como subscritor
- Oportunidade de tirar dúvidas sobre o Protocolo
- Oportunidade de compartilhar experiências com colegas



Introdução 8

## Exame CMVP

- Uma prova de 4 horas será aplicada após o treinamento:
  - Com consulta à apostila e protocolo
  - 107 questões de múltipla escolha
  - Questões valem 6 pontos, algumas 18 (\*)
  - Necessário 70% para aprovação
  - Não há penalidade para questões erradas
  - Necessária somente uma calculadora simples
  - Celular, computador ou outro equipamento eletrônico não permitidos

Introdução 9

## Introdução - agenda

- Definição e contexto da M&V
- Introdução a:
  - EVO
  - PIMVP
- Objetivo da M&V

Introdução 10

## 1.2 Definição e contexto da M&V

### O que é M&V?

“Medição e Verificação (M&V) é o processo de usar medições para determinar, de forma confiável, a economia real gerada em uma instalação individual por um programa de gestão energética”

Ref: Conceitos Básicos do PIMVP, 2014 (Br), Capítulo 3, Seção 3.5

Introdução 11



### Contexto da M&V

- M&V é geralmente utilizada quando economias precisam ser verificadas, como em:
  - Projetos de eficiência energética
  - Contratos tipo EPC (engenharia, compra e construção)
  - Programas compulsórios de eficiência energética
  - Quando o proprietário quer contabilizar a economia obtida
- M&V é também parte de um bom gerenciamento energético

Introdução 12



## Curso de Fundamentos

- O curso é de **Fundamentos**, para se entender a evolução complexa das técnicas e arte da M&V
- Ele apenas apresenta tópicos de medição e estatística
- Sua função é **Fazer Perguntas**
- Perguntas complexas poderão ser discutidas em separado

Introdução 13

### 1.3 Introdução à EVO e PIMVP

#### EVO

Efficiency Valuation Organization (EVO)  
[www.evo-world.org](http://www.evo-world.org)

- Centro de desenvolvimento do PIMVP
- Organização americana sem fins lucrativos
- Conduzida por voluntários de todo o mundo

Introdução 14

## PIMVP – visão geral

- Apresenta uma **estrutura e define termos** usados na apuração de economia de energia
- Especifica os tópicos a serem abordados em um **Plano de M&V**
- **Permite flexibilidade** na elaboração de Planos de M&V, desde que mantendo os princípios de: **precisão, completude, conservadorismo, consistência, relevância e transparência.**

Introdução 15

## PIMVP - Benefícios

- Define uma abordagem padrão para “medir economias de energia”, o que aumenta a confiança dos empresários
- Legitima os projetos das ESCOs através de reconhecimento internacional da forma de cobrança da economia de energia
- Orienta sobre a solução de compromisso entre a precisão das medidas e o seu custo
- Ajuda as partes a criar termos de contratos de *performance* e do comércio de emissões transparentes, replicáveis, visando o resgate de economias de energia
- Fornece um método genérico, não específico, e uma estrutura sob a qual metodologias específicas podem ser criadas e utilizadas.

Introdução 16

## Contratos de *performance*

- A M&V desempenha um papel crítico em contratos de *performance*:
  - Maximiza e pereniza as economias durante o período do contrato (quando é usada M&V de longo prazo)
  - Registra as economias alcançadas e funciona como “caixa registradora” para os pagamentos
- Os contratos de *performance* repartem os custos e benefícios da precisão da M&V entre a ESCO e o proprietário da instalação
- Considerar cuidadosamente as motivações de todas as partes antes de projetar a M&V. Colocar o Plano de M&V como apêndice ao contrato.



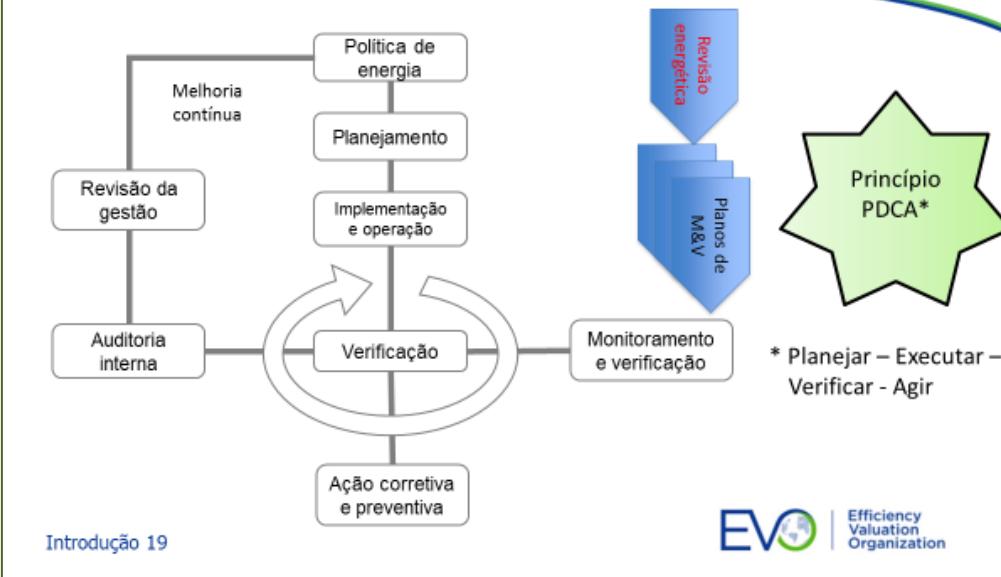
Introdução 17

## Gestão Energética - ISO 50001

- Fornece uma estrutura para a gestão energética em instalações industriais, comerciais, institucionais ou governamentais, possibilitando:
  - Desenvolver uma política para um uso mais eficiente da energia
  - Fixar objetivos e metas para cumprir a política
  - Usar dados para melhor entender e tomar decisões sobre o uso e consumo da energia
  - Medir os resultados
  - Analisar a eficácia da política
  - Melhorar continuamente a gestão energética
- Pode ser implementada individualmente ou integrada a outros sistemas normativos de gerenciamento.

Introdução 18

## Gestão Energética - ISO 50001



## O PIMVP não é tudo

- O PIMVP **NÃO** cobre em detalhes:
  - Projeto de ações de eficiência energética (AEEs)
  - Projeto de sistemas de medida e instrumentação
  - Estimativa de custo de atividades de M&V
  - Engenharia energética
  - Análise estatística
- O PIMVP **NÃO** é um livro de receitas
  - É necessária a aplicação cuidadosa a cada projeto

Introdução 20

## 1.4 Objetivos da M&V

### Objetivos da M&V

- Aumentar a economia de energia
- Documentar a transação financeira
- Estimular o financiamento para projetos de eficiência
- Melhorar o projeto, o funcionamento e manutenção da instalação
- Explicar os desvios do orçamento de energia
- Apoiar a avaliação de programas de eficiência
- Mostrar aos usuários o impacto que causam no consumo de energia
- Melhorar a pontuação em sistemas de certificação em sustentabilidade, como o LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*).

Introdução 21

### O Objetivo da M&V

Simplesmente

a M&V fornece uma



**PROVA**

da eficácia da gestão energética

Introdução 22

## Protocolos atuais de M&V (Brasil)

- A M&V é uma ciência e arte em constante evolução, porém as práticas comuns para usuários finais da energia estão documentadas em:
  - PIMVP (mais usada internacionalmente)
  - ASHRAE Guia 14 (referência técnica)
  - Módulo 8 do PROPEE (ANEEL, 2013)
  - Guia de M&V do PEE (ANEEL, 2014)

Introdução 23

## Internet

- PIMVP: [www.evo-world.org](http://www.evo-world.org)
- ASHRAE: [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org) (compra)
- ANEEL: [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br) (página de eficiência energética)

Introdução 24

## Próximo assunto



Introdução 25

## 2 Conceitos chave

**Fundamentos de M&V  
& o  
Protocolo Internacional de Medição e  
Verificação de Performance**

Para Gestores de Energia

### Conceitos chave

#### Conceitos chave - Programa

- Medida?
- Equação básica do PIMVP
- Ajustes das economias
- Quatro opções
- Custo da M&V
- Breve introdução à estatística

Conceitos chave 2

## 2.1 Medida da eficiência energética?

### O“M” na M&V

O **M** na M&V representa:

**Medição**

**Não Monitoração**

(Monitoração é uma atividade diferente da determinação de economia de energia. É o processo de observar o uso da energia para predição, controle de custo e a realização de diagnósticos)

Conceitos chave 3



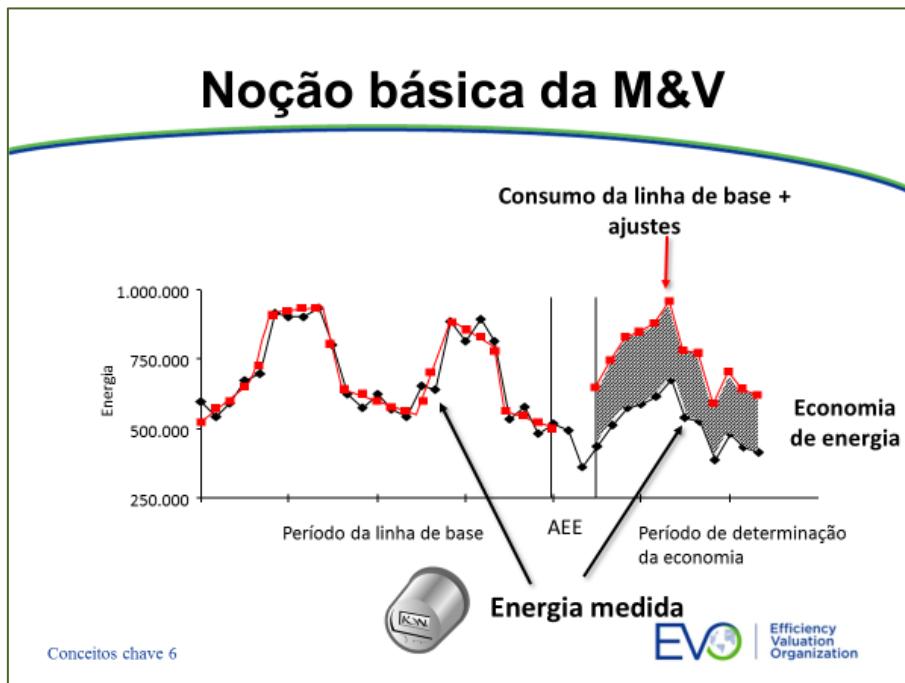
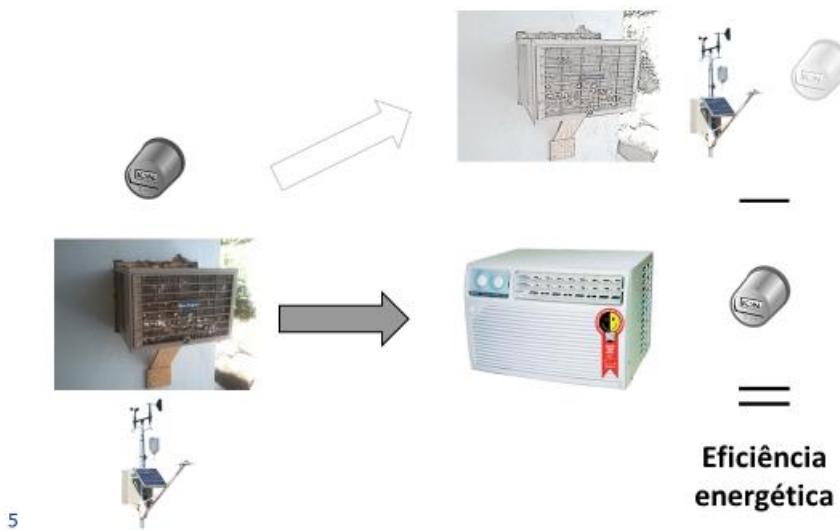
### Medir a economia de energia?

- Economia de energia é a ausência de consumo
- Não se pode *medir* o que não existe
- **Não** se “*mede*” a economia de energia!
- O que se **mede** é o consumo de energia
- *Analisa-se* a energia medida para **determinar** a sua economia

Conceitos chave 4



## A questão da M&V



## 2.2 Equação básica da M&V

### Equação básica do PIMVP

A Equação Básica do PIMVP para determinação da economia de energia:

Economia determinada para qualquer período =

- = Energia da linha de base
- Energia do período de determinação
- +/- Ajustes

Conceitos chave 7

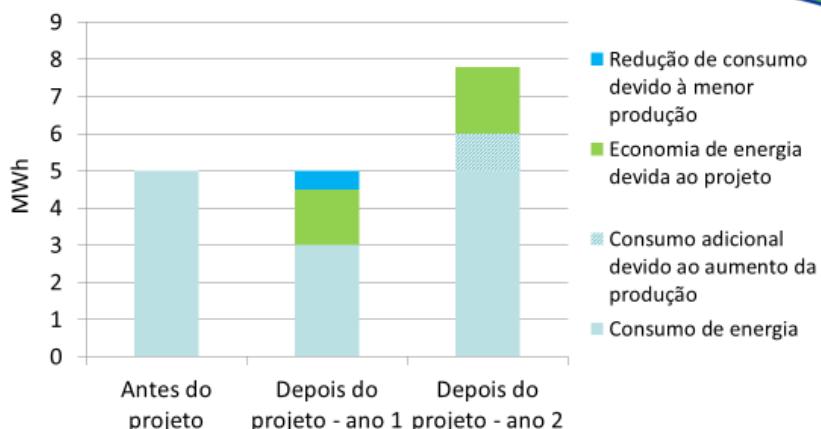
## 2.3 Ajustes da M&V

### Ajustes

- Um exemplo da necessidade de ajustes:
  - Uma AEE foi feita, porém a *produção da planta* foi também menor neste ano que no anterior.
  - Quanto da redução de custo se deve à AEE e quanto se deve à diminuição da produção?

Conceitos chave 8

## Um exemplo de ajuste



Conceitos chave 9

## Ajustes (continuação)

A determinação da performance requer uma comparação tipo “maçãs com maçãs”.



Período da linha de base



Período de determinação da economia

Ajustam-se a linha de base e o período de determinação da economia para um **mesmo** conjunto de condições para se efetuar comparações válidas.

Conceitos chave  
10

## Ajustes

- Os ajustes podem ser triviais, simples ou complexos
- Eles podem resultar de cálculos de engenharia
- A amplitude dos ajustes depende de:
  - a necessidade de precisão
  - a complexidade dos fatores que condicionam o consumo de energia
  - a quantidade de equipamentos incluídos no cálculo das economias (i.e., a fronteira de medição) e
  - o orçamento disponível

Conceitos chave  
11

## Economia?

O que se quer dizer com economia? Poupança?



Conceitos chave  
12

## 'Economizar' (poupar) ou 'Evitar'?

- Os usuários de energia *normalmente* querem saber quanto seria a sua conta de energia se não tivessem feito a ação em eficiência energética. Eles querem saber quanta energia ou custo eles **evitaram**.
- Para apurar o **custo evitado**, os engenheiros de M&V **ajustam** o consumo de energia da linha de base às condições do período de determinação da economia. Às vezes, eles simplesmente chamam o custo evitado de 'economia', correndo o risco de confundirem com a terminologia contábil.

Ref.: Conceitos Básicos do PIMPV 2014, Seção 5.3.3

Conceitos chave  
13



## Economia contábil

Contadores muitas vezes usam a palavra 'economia' para significar 'redução de custos'. Eles **não fazem ajustes**.

Então, quando se fala de 'economia' deve-se ter **bastante cuidado para explicar o seu significado**.

Deve-se enfatizar o conjunto comum de atividades (maçãs) que é utilizado para estabelecer a "economia".

Conceitos chave  
14



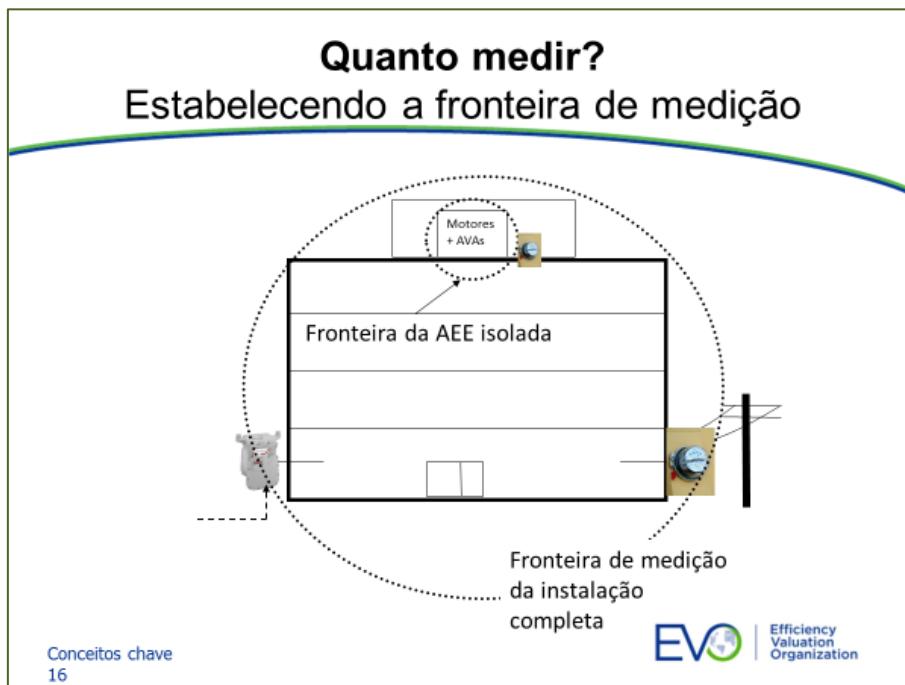
## Conceitos

- Variáveis independentes
- Fatores estáticos
- Períodos de medição
- Modelo de consumo energético
- Fronteira de medição
- Efeitos interativos
- Opções do PIMVP



15

### 2.4 Opções do PIMVP



## Dois métodos básicos

### Método de toda a instalação:

Mede **todos** os efeitos na instalação:

- Ações de eficiência energética (AEE) E outras mudanças (intencionais e **não**)
- Geralmente, usa o medidor da concessionária
- Ajustes podem ser complexos

### Método da isolação da AEE:

Mede **somente** os efeitos da AEE

- Economias não são afetadas pelas mudanças fora da fronteira de medição
- Normalmente é necessária a adição de um medidor
- Ajustes podem ser simples

Conceitos chave  
17

## Selecionar um método

### Decidir sobre o que interessa!

Se você quer gerenciar o consumo total de energia:

- Escolha o Método de Toda a Instalação

Se você quer avaliar uma **AEE** específica:

- Escolha o método de Isolação da AEE

Conceitos chave  
18

## Terminologia

- Isolação da AEE – Opções A ou B (e D)
- Toda a instalação – Opções C ou D

Duas opções para cada método – para permitir flexibilidade a situações diversas

Conceitos chave  
19

## Isolação da AEE

Escolha entre as opções A e B:

**Opção A – Isolação da AEE: Medição dos Parâmetros Chave**

**Opção B – Isolação da AEE: Medição de Todos os Parâmetros**

Conceitos chave  
20

## Isolação da AEE (cont.)

A Opção A (chamada de Isolação da AEE: Medição dos parâmetros chave) permite uma **possível redução no custo de medição**, porém introduz **alguma incerteza** na quantidade estimada.

Todas as partes devem aceitar a incerteza associada com a estimativa.

A escolha entre as Opções A e B permite flexibilidade para se adaptar a cada situação.

Conceitos chave  
21

## Toda a Instalação

Escolha entre as Opções C e D, de acordo com a disponibilidade de dados:

### C – Toda a Instalação

Necessita dados tanto do período da linha de base como do período de determinação da economia

### D – Simulação Calibrada

Quando não há dados (ou instalação) no período da linha de base, estes dados podem ser ‘fabricados’ dentro de condições controladas

Conceitos chave  
22

## 2.5 Custo da M&V



### Custo de M&V

Fatores chave que afetam o custo da M&V:

- Qualidade dos medidores
- Número de variáveis independentes a monitorar
- Frequência de medição e relatórios
- Duração do período da linha de base e dos períodos de determinação da economia
- Tamanho da amostra, se não se medem todos os equipamentos
- Outros usos da medição, para dividir os custos
- Habilidades requeridas

Conceitos chave  
24



The slide frame contains the EVO logo and the text 'Custo de M&V'. It also includes a list of factors affecting the cost of M&V and a green dollar sign icon.

## Custo x Incerteza em M&V

Não há valor de economia *absolutamente* correto.  
Há sempre alguma incerteza.

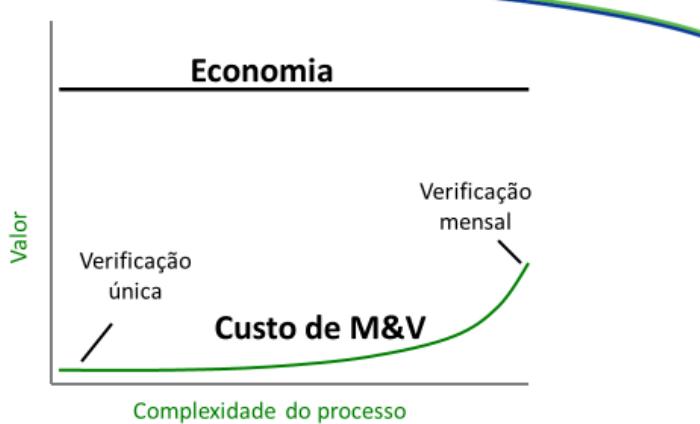
Há que se decidir quanta incerteza se pode aceitar  
– ou pagar para reduzi-la.

Cada proprietário encontra o seu próprio equilíbrio  
entre a incerteza e o custo, para cada projeto.

Ref.: Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 7.11

Conceitos chave  
25

## Limites do custo de M&V



Então, quanto é o bastante?

Conceitos chave  
26

## Quanta M&V é o bastante?

- O custo total anual para determinação da economia deve normalmente ser menor que 10% da economia anual. Este máximo pode ser excedido em situações especiais
- 3-5% é um valor mais habitual (para projetos de ESCOs)
- 0% às vezes escolhido (= “economia considerada”). Ausência de medição significa economia incerta. Este NÃO é um método aderente ao PIMVP.
- O equilíbrio entre custo e precisão é particular a cada projeto.

Conceitos chave  
27

## 2.6 Introdução à Estatística da M&V

Rápida introdução à Estatística

Estatística e Incerteza para o PIMVP 1:2014

## Por que preocupar-se?

Considere a equação básica do PIMVP:

$$\text{Economia} = (\text{Energia da linha de base} - \text{Energia do período de determinação da economia})$$

+/- Ajustes de rotina  
+/- Ajustes não de rotina

- **Energia da linha de base + ajustes de rotina** pode ser deduzida usando-se várias técnicas de modelagem.
- Os dados de **energia da linha de base** podem ser obtidos por **amostras** para reduzir custos.
- As **Economias** são calculadas com os dados medidos. Por sua natureza, estes dados não podem ser absolutamente precisos, há sempre uma incerteza de medição.

Conceitos chave  
29

*Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 5.3.3*

## Modelagem

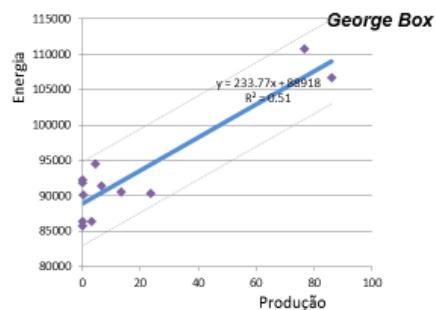
Construímos modelos para ajudar a prever a energia que teríamos usado sem a AEE implementada. Podemos não ter uma teoria definida relacionando o consumo de energia ao certo com outra variável.

Porém podemos observar uma relação entre a energia e a variação da produção, por exemplo, levando-nos a conjecturar um modelo empírico de como a energia varia com a produção.

Este tipo de questão é respondida pela técnica estatística da análise de regressão. Vamos posteriormente tratar alguns aspectos úteis desta técnica no capítulo do modulo de Estatística e descrever como esta ferramenta pode ajudar.

Conceitos chave *Estatística e Incerteza para o PIMVP 1:2014, Capítulo 2*  
30

*Todos os modelos estão errados, alguns são úteis.*



## Amostragem

### Para estabelecer o consumo da linha de base:

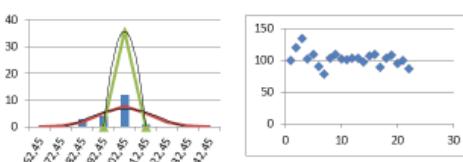
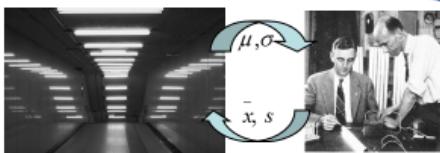
Vamos considerar a medição da potência de 1288 lâmpadas fluorescentes idênticas num prédio.

Temos que medir individualmente todas as lâmpadas?

Há um meio de limitar as medições a uma pequena amostra sem aumentar a incerteza de nossa avaliação além de certos limites?

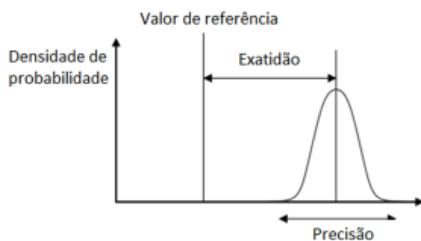
**Este tipo de questão é respondida pela técnica estatística de amostragem. Vamos posteriormente tratar alguns aspectos úteis desta técnica no capítulo do módulo de Estatística e descrever ferramentas e métodos que podem ajudar**

Conceitos chave **Estatística e Incerteza para o PIMVP 1:2014, Capítulo 3** 31



## Incerteza de medição

Não há um valor “verdadeiro” de medição. Qualquer dispositivo usado para medir está sujeito a incertezas. Resolução, precisão e exatidão (mais erros de leitura) são os fatores mais comuns de influência.



**Posteriormente vamos tratar destes erros em um capítulo no módulo de Estatística e descrever ferramentas e métodos que podem ajudar.**

Conceitos chave **Estatística e Incerteza para o PIMVP 1:2014, Capítulo 4** 32

## Incerteza na determinação da economia

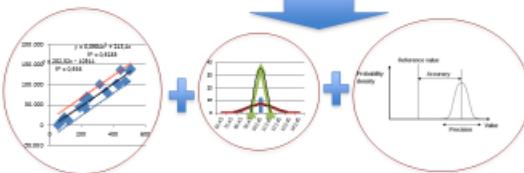
Medir a incerteza envolve, em geral, muitos fatores.

Normalmente considera-se:

- *incerteza do modelo*
- *incerteza da amostragem*
- *incerteza da medição*

Como os maiores contribuintes para a determinação da incerteza total.

$$\text{Economia} = (\text{Energia da linha de base} - \text{Energia do período de determinação da economia}) \\ +/- \text{Ajustes de rotina} \\ +/- \text{Ajustes não de rotina}$$



Este tipo de questão é respondida por uma técnica que permite combinar elementos de incerteza e propagar a distribuição de probabilidades dos elementos pela equação da economia. Vamos posteriormente tratar alguns aspectos úteis desta técnica em um capítulo do modulo de Estatística e descrever ferramentas e métodos que podem ajudar.

Conceitos chave *Estatística e Incerteza para o PIMVP 1:2014, Capítulo 5*



Efficiency Valuation Organization

33

## Próximo assunto



Conceitos chave  
34

### 3 Breves Exemplos

**Fundamentos de M&V  
& o  
Protocolo Internacional de Medição e  
Verificação de Performance**

Para Gestores de Energia

#### Breves Exemplos

##### Breves Exemplos - Programa

- AEE múltipla em edifício
- Novo prédio
- Melhora na eficiência de iluminação
- Controle de vazamentos de ar comprimido

Breves exemplos 2

### 3.1 AEE múltipla em edifício

#### Exemplo de projeto de M&V

Edifício comercial no Canadá

Ação de Eficiência Energética	Tempo de retorno simples (anos)
Illuminação	4,5
Motores de alto rendimento	5,6
Condicionamento ambiental	5,4
Sistemas de controle	3,4
Redução de perdas	2,1
Treinamento e conscientização	0,5

Breves exemplos 3



#### Opção C – Toda a Instalação

Escolher a Opção C para estimar a *performance total* da instalação

- Usar dados dos medidores da concessionária (gás e eletricidade).
- Analisar os dados do medidor de gás do período da linha de base em relação ao clima para determinar os valores corretos dos *ajustes*. Os dados climáticos serão expressos em graus-dia de aquecimento (GDA  $65^{\circ}\text{F}$ ). [ $65^{\circ}\text{F} = 18^{\circ}\text{C}$ ]

Você calculará a economia para dois meses.

Breves exemplos 4



## Exemplo Opção C

### Dados da linha de base

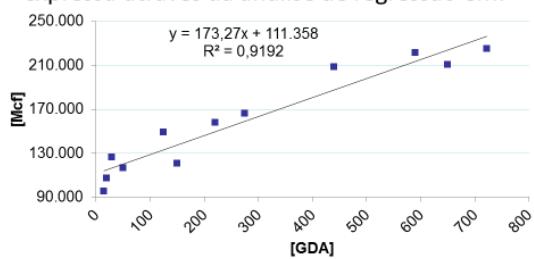
Leitura Medidor	Consumo gás Mcf	Graus-dia Aquecimento (65 F)
Data		
05/02/2008	210.692	650
05/03/2008	208.664	440
07/04/2008	157.886	220
05/06/2008	120.793	150
07/07/2008	116.508	50
07/08/2008	107.272	20
05/09/2008	95.411	14
06/10/2008	126.423	29
06/11/2008	149.253	125
04/12/2008	166.202	275
06/01/2009	221.600	590
05/02/2009	224.958	723
<b>Total</b>	<b>1.905.662</b>	<b>3.286</b>

Breves exemplos 5

## Exemplo Opção C

### Modelo da linha de base

A relação entre o consumo de gás e os GDA é expressa através da análise de regressão em:



Breves exemplos 6

## Exemplo Opção C

### Metodologia de cálculo das economias

1. Obter os dados climatológicos atuais (GDA<sub>65F</sub>)
2. Para cada mês depois da AEE, calcule qual *teria sido* o consumo (da linha de base) de gás, inserindo os GDA medidos no modelo:

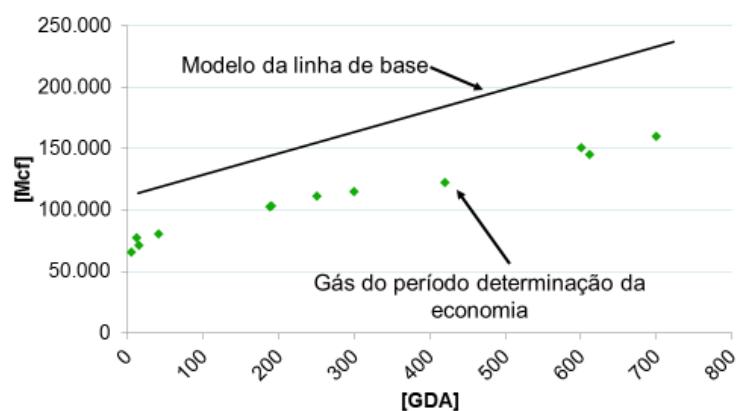
$$\text{Gás} = 173,27 * \text{GDA}_{65F} + 111.358$$

3. Comparar o consumo (da linha de base) calculado de gás com o real medido para determinar o 'gás evitado'.
4. Aplicar o preço atual do gás tanto ao consumo da linha de base quanto ao realmente consumido para calcular quanto se economizou.

Breves exemplos 7

## Exemplo Opção C

### Visão gráfica da economia



Breves exemplos 8

## Exemplo Opção C

### Cálculos

Data leitura	Dados atuais		Projeção da linha de base			Economia	
	Consumo mcf	GDA oF	Carga base Fatores	Sensibilidade térmica	Total	mcf	Valor Preço
03/02/2009			111.358	173,27		\$ 6.232	
06/03/2009	151.008	601	111.358	104.135	215.493	64.485	\$ 401.872
04/04/2009	122.111	420	111.358	72.773	184.131	62.020	\$ 386.511
06/05/2009	102.694	188	111.358	32.575	143.933	41.239	\$ 257.000
05/06/2009	111.211	250	111.358	43.318	154.676	43.465	\$ 270.871
05/07/2009	80.222	41	?	?	?	?	\$ ?
06/08/2009	71.023	15	111.358	2.599	113.957	42.934	\$ 267.565
08/09/2009	65.534	5	111.358	866	112.224	46.690	\$ 290.974
09/10/2009	77.354	12	111.358	2.079	113.437	36.083	\$ 224.871
04/11/2009	103.000	190	111.358	32.921	144.279	41.279	\$ 257.253
10/12/2009	115.112	300	111.358	51.981	163.339	48.227	\$ 300.551
07/01/2012	160.002	700	?	?	?	?	\$ ?
04/02/2012	145.111	612	111.358	106.041	217.399	72.288	\$ 450.500

Breves exemplos 9

## Opção C – Melhores aplicações

- Economia significativa (10% ou mais do consumo medido pela concessionária)
- Todos os parâmetros que afetam significativamente o consumo podem ser claramente identificados e quantificados (durante os períodos da linha de base e determinação da economia)
- Fatores de ajuste simples
- Medição das AEEs individuais não requerida
- AEEs múltiplas
- AEEs complexas
- AEEs com pouca economia (p.ex., redução das perdas no edifício, treinamento operacional, conscientização dos ocupantes)

Breves exemplos  
10

## Opção C

### Vantagens & Desvantagens

#### Vantagens:

- Avalia a performance de toda a instalação
- Inclui os efeitos interativos entre AEEs e entre AEEs e o restante da instalação

#### Desvantagens:

- Não separa os efeitos das diversas AEEs
- Usada frequentemente como um método de controle de economia, porém deve-se ter cuidado com variações normais inexplicadas da instalação, que podem obscurecer economias mensais individuais. Entretanto, o método permite uma reconciliação anual.

Breves exemplos  
11

### 3.2 Novo prédio

#### Novo prédio - exemplo

- Construção de um novo campus em universidade
- O prédio foi projetado para ser mais eficiente que o requerido pelo código municipal local
- A agência governamental local dá incentivos para prédios que consumam 30% menos energia do que os equivalentes projetados segundo o código municipal local
- Os promotores do projeto, portanto, devem comparar a *performance* energética real ao do código municipal
- Um modelo por computador foi usado para simular a linha de base

Short examples 12

#### Opção D - Exemplo

Para comparar a performance energética **real** com o código:

1. Depois da ocupação total, recolher os dados medidos (dados de calibração)
2. Preparar uma simulação computadorizada do uso da energia (*as built*)
3. Comparar a simulação com o uso real
4. Calibrar (ou ajustar) a simulação até as diferenças serem aceitáveis
5. A simulação calibrada mostra agora um consumo de 5.000.000 kWh
6. Remover as AEEs da simulação calibrada (para similar um prédio projetado de acordo com o código municipal). O consumo simulado é de 7.000.000 kWh.
7. Consumo de energia evitado é de 2.000.000 kWh

## Opção D – Melhores aplicações

- Se faltam dados do período da linha de base ou determinação da economia, devido a falta de medidores, por exemplo, em prédios conjugados com um medidor central.
- Dá a oportunidade de usar o PIMVP com novas instalações.
- Pode ajudar a determinar a *performance* de um prédio em relação a uma norma ou código ou a algum objetivo de *performance*.

Short examples 14

## Opção D

### Vantagens e desvantagens

#### Vantagens:

- Avalia performance de toda a instalação e AEEs individuais
- Avalia performance de sistemas individuais
- Inclui efeitos interativos entre AEEs, e entre AEEs e o resto da instalação.

#### Desvantagens:

- Pode ser cara e complicada
- São necessárias habilidades especiais para simulação
- A calibração da simulação é difícil para dados reais da energia.

Short Examples 15

### 3.3 Melhoria de eficiência na iluminação

#### Exemplo de Projeto de M&V

##### Medição isolada da AEE

Como exemplo, considere um projeto de M&V para uma **AEE de iluminação**, usando a Opção A – Medição Isolada da AEE: Medição de Parâmetros Chave.

Parâmetro chave: Potência da luminária

- Medição da potência em amostra antes e depois da AEE

Parâmetro não-chave: horas de funcionamento

- Estima-se o valor

Breves exemplos  
16

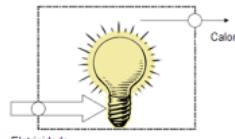
#### Exemplo Opção A

##### Iluminação – Fronteira de medição

Para definir a fronteira de medição, considere:

**O que afeta o consumo no seu *interior*?**

- melhora da eficiência da lâmpada
- horas de operação
- parcela de lâmpadas queimadas



**Qual o efeito no uso da energia *fora da fronteira*?**

- menor refrigeração
- maior aquecimento
- luminárias individuais adicionadas a circuitos não medidos

Breves exemplos  
17

## Exemplo Opção A

### Planejamento

**Medição:**

- Medir em uma amostra aleatória de interruptores
- Usar um wattímetro alicate de valor médio quadrático eficaz (*true RMS*), calibrado
- Medir por 1 segundo antes e 1 segundo depois da AEE

**Suposições:**

- 100 h/mês de operação no período de determinação da economia, baseada em medida feita no período da linha de base
- Ignorar mudanças na refrigeração/aquecimento e luminárias adicionais, consideradas insignificantes
- 5% de lâmpadas/reactores queimados em qualquer tempo

Breves exemplos  
18

## Exemplo Opção A

### Observações

	Linha de base	Determinação da economia
Nº amostras	73	30
Potência média (W) por luminária acesa	193,1	102,1
Número de luminárias	2.000	1.950

Breves exemplos  
19

## Exemplo Opção A

### Cálculos

Linha de base	Determinação da economia
---------------	--------------------------

Total kW (95% das luminárias acesas)

Redução carga iluminação

Horas de operação

Economia mensal de energia

Breves exemplos  
20

## Exemplo Opção A

### Notas

- Opção A é conhecida como “**Medição isolada da AEE: Medição dos Parâmetros Chave**”. O parâmetro chave neste exemplo é a potência das luminárias, que é portanto medida.
- Este exemplo é aderente ao PIMVP 2012 “Opção A” porque as horas de operação foram *supostas*, mesmo que tenham sido medidas durante o período da linha de base.
- Os dados do fabricante não são medidos no campo. O PIMVP os trata como dados *supostos*. Para aderir ao PIMVP Opção A o dado de fabricante não pode ser o parâmetro chave, porém pode ser outro (não-chave) parâmetro.

Breves exemplos  
21

## Opção A – Melhores aplicações

- As condições operacionais (p. ex., ocupação) estão regularmente mudando.
- O empreiteiro não é responsável por todos os parâmetros que afetam o consumo de energia.
- É possível supor para um parâmetro um nível de certeza aceitável pelas partes.
- Não se requer uma medição contínua. Porém, para se assegurar que as economias ainda estão acontecendo no futuro, deve-se verificar regularmente que os equipamentos continuam instalados e adequadamente funcionando, ou seja, executar verificação operacional (Ver os Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 5.2)

Breves exemplos  
22

## Opção A

### Medição Isolada: Medição de Parâmetros Chave

**Vantagens:**

- Rentável onde muitos fatores que influenciam o consumo de energia não podem ser rastreados (como em um hospital ou em um processo industrial complexo)
- Fácil de administrar

**Desvantagens:**

- Fatores estimados podem introduzir erros
- Não conciliada com o consumo total da instalação
- Não acompanha continuamente o desempenho da instalação

Breves exemplos  
23

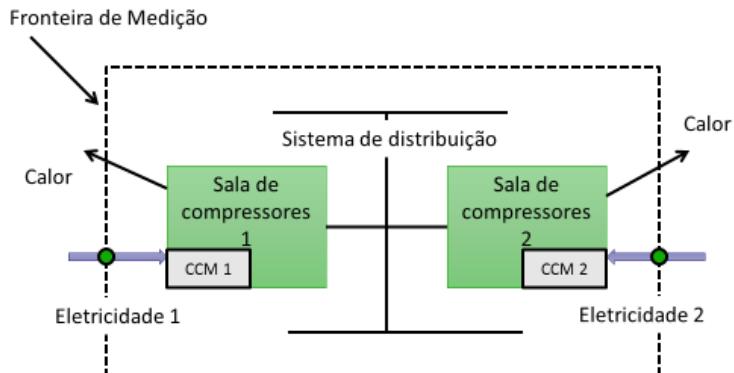
### 3.4 Controle de vazamentos de ar comprimido

#### Exemplo de projeto de M&V Medição isolada da AEE

- Neste exemplo, determinaremos a economia de uma AEE de redução de vazamentos de ar comprimido em uma fábrica têxtil.
- Usou-se a metodologia de medição isolada porque muitos aspectos da planta estavam sendo alterados e não eram relevantes para a performance da ESCO que projetou e instalou a AEE.
- Desejava-se um controle contínuo de vazamentos, através da medição do consumo do compressor. Usou-se a **Opção B, Medição isolada da AEE: Medição de todos os parâmetros** para acompanhar a economia de energia.

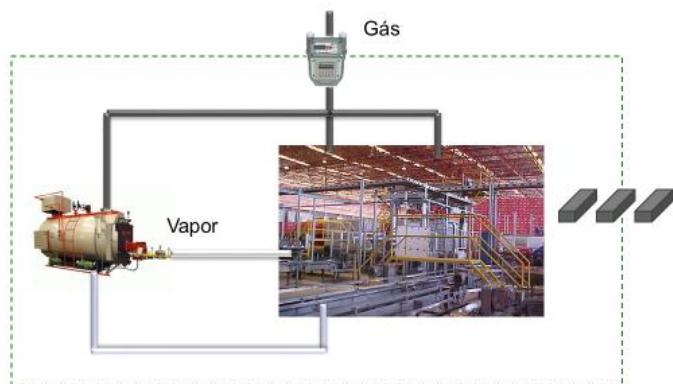
Breves exemplos  
24

#### Exemplo de Projeto de M&V Fronteira de Medição



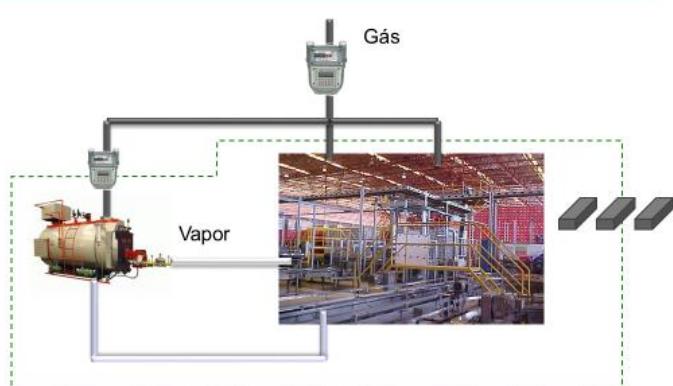
Breves exemplos  
25

## Fronteira de medição – exemplo



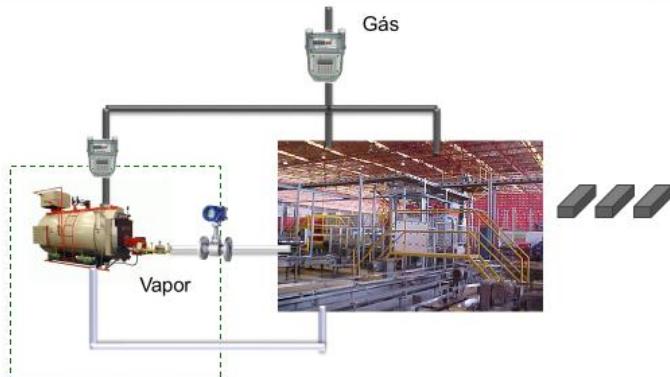
Breves exemplos  
26

## Fronteira de medição – exemplo – 2



Breves exemplos  
27

### Fronteira de medição – exemplo – 3



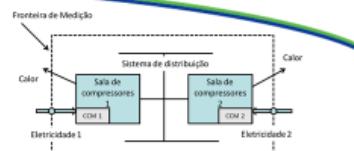
Breves exemplos 28

### Exemplo Opção B Fronteira de Medição

Para estabelecer a fronteira de medição, deve-se decidir:

**O que afeta o consumo de energia dentro da fronteira?**

- Horas operação da fábrica (operação contínua ou parada)
- Eficiência do compressor
- Vazamento no sistema de distribuição



**Quais os efeitos interativos fora da fronteira de medição?**

- menos calor rejeitado das salas - ignorado

Breves exemplos  
29

## Exemplo Opção B

### Plano de M&V

#### Durante o período da linha de base:

1. Medir o consumo de eletricidade do compressor (kWh) continuamente por um mês (2008).
2. Determinar o consumo médio de energia, por horas de operação e por horas paradas.

#### Durante o período de determinação da economia:

- a) Registrar as horas de operação e paradas da planta para cada mês.
- b) Calcular qual a energia (da linha de base) teria sido usada para as horas de operação e paradas a partir do modelo 2) acima.
- c) Medir o consumo de eletricidade mensal dos compressores.

$$\text{Energia evitada} = \text{b) menos c)}$$

Breves exemplos  
30

## Exemplo Opção B

### Teste da linha de base

Médias durante o teste de um mês do período da linha de base:

Modo	Consumo médio (kWh/h)
Fábrica em funcionamento	135,1
Fábrica parada	102,3

Nota: O consumo de energia foi constante em cada modo.

$$\text{Energia da linha de base} =$$

$$(135,1 * h \text{ funcionamento}) + (102,3 * h \text{ parada})$$

Breves exemplos  
31

## Exemplo Opção B

Dados reais do período de determinação da economia  
(2009)

	h planta	Energia	
	funcion.	parada	medida (kWh)
Janeiro	496	248	61.005
Fevereiro	448	224	52.321
Março	496	248	61.987
Abril	480	240	59.921
Maio	496	248	60.111
Junho	480	240	60.191
Julho	200	544	50.345
Agosto	496	248	62.255
Setembro	480	240	58.765
Outubro	496	248	61.178
Novembro	480	240	59.232
Dezembro	150	594	48.822

Breves exemplos  
32



## Exemplo Opção B

### Energia Evitada

Durante 2009, não houve adição de novas máquinas nem foram feitas modificações nas existentes que afetassem o consumo de ar.

**Questão:** Qual foi a energia evitada em janeiro?

Consumo da linha de base ajustado = ?

Consumo verificado = 61.005

Energia evitada = ?

Breves exemplos 33



## Exemplo Opção B

### Custo Evitado

- a) Aplicar a tarifa de energia atual da concessionária ao consumo da linha de base ajustado
- b) Aplicar a tarifa de energia atual ao consumo real medido

$$\text{Custo evitado} = \text{a)} - \text{b})$$

Notas:

- As tarifas devem incluir todos os aspectos da estrutura tarifária.
- Se a estrutura tarifária pode ser com confiança ser simplificada a um Preço Marginal, o Custo Evitado é também o produto da energia evitada por este custo marginal.
- As tarifas podem mudar durante o período de determinação da economia.

Breves exemplos  
34

## Opção B – Melhores Aplicações

- O empreiteiro é responsável por todos os aspectos do uso da energia no sistema que foi melhorado.
- Medição contínua ajuda a verificar que a AEE continua operacional.
- O custo de instalação do sistema de medição, sua operação, manutenção e análise dos dados é pequeno em relação à economia.

Breves exemplos  
35

## Opção B

Medição isolada da AEE: Medição de todos os parâmetros

### Vantagens:

- As economias apuradas estão estreitamente correlacionadas com as mudanças na produção
- Economia real determinada diretamente de medição
- Medidores proveem um *feedback* operacional extra

### Desvantagens:

- A instalação e *manutenção* dos medidores pode ser cara
- Não conciliada com o consumo total da instalação
- Dificuldade em estabelecer cargas da linha de base para processos e níveis de consumo variáveis

Breves exemplos  
36

## Próximo assunto



Breves exemplos  
37

## 4 Planejamento de M&V

### Fundamentos de M&V & o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance

Para Gestores de Energia

#### Planejamento de M&V

#### Planejamento de M&V

Antes de examinar exemplos detalhados,  
vamos revisar a teoria do planejamento de  
M&V e seus detalhes

**“Errar ao planejar  
é  
planejar para errar”**



Planejamento de  
M&V 2

## Planejamento de M&V - Programa

- Para que e quando elaborar um Plano de M&V?
- Princípios fundamentais da M&V
- Definição da fronteira de medição
- Tipos de 'economia'
- Dados do período da linha de base
  - Variáveis independentes
  - Fatores estáticos
  - Obtenção dos dados corretos
- Períodos adjacentes de medição
- Equipamentos de medição
- Procedimentos de rotina
- Um modelo padrão para planos de M&V

Planejamento de  
M&V 3



### 4.1 Para que e quando elaborar um Plano de M&V

#### Para que um Plano de M&V?

A preparação de um Plano de M&V é recomendada no processo de determinação das economias. Ela também permite:

- Direcionar ações
- Assegurar que a informação adequada será arquivada para uso posterior
- Resolver as principais questões com calma, antes do "dinheiro estar em jogo"

Planejamento de  
M&V 4



## Quando elaborar um Plano de M&V?

- O Plano de M&V deve ser desenvolvido durante a especificação das AEEs a fim de:
  - incluir os custos de M&V no cálculo da rentabilidade do projeto
  - arquivar os dados da linha de base e definir a metodologia de cálculo da economia enquanto as condições da linha de base ainda são mensuráveis, as memórias estão frescas e antes de acontecer as economias.
- Deve-se completar o planejamento de novas medições enquanto a AEE estiver sendo especificada.

Planejamento de  
M&V 5

## 4.2 Princípios Fundamentais da M&V

### Princípios da M&V

Em ordem alfabética:

- **Completo** – considerar todos os aspectos, medir os mais significativos
- **Conservativo** – errar para menos (menor economia de energia)
- **Consistente** – entre relatórios e tipos de energia
- **Preciso** – na medida do orçamento
- **Relevante** – focado em medir os parâmetros chave selecionados
- **Transparente** – toda a informação necessária, conforme o PIMVP Vol. 1, 2012, Capítulos 5 e 6

Planejamento de  
M&V 6

Conceitos Básicos do PIMVP 2014, cap. 7 e 8

#### 4.3 Fronteira de Medição

### Fronteira de Medição

- Está-se avaliando o uso da energia em:
  - toda a instalação?
  - um sistema, ou um grupo de sistemas (iluminação, climatização, ar comprimido, forno de reaquecimento em siderúrgica...)?
  - um equipamento ou conjunto de equipamentos (caldeira, resfriador (*chiller*), motor, luminária, bomba, ventilador, ...)?
- Para estabelecer a fronteira, deve-se considerar:
  - as responsabilidades das partes no uso da energia e na ação de eficiência energética
  - a capacidade para detectar mudanças na instalação e no consumo de energia – *dentro da fronteira escolhida*
  - a importância dos efeitos além da fronteira estabelecida, conhecidos como “**efeitos Interativos**”

Planejamento de  
M&V 7

### Efeitos Interativos - Exemplo

- Considere a troca de um sistema de iluminação antigo por outro eficiente usando-se menos 10 kW de potência
- Possíveis “efeitos interativos” (além da fronteira de medição) são:
  - menores requisitos de resfriamento ambiental
  - maiores requisitos de aquecimento no inverno
  - aumento de reaquecimento de ar de ventilação
  - aumento de carga nos circuitos de tomadas por luminárias individuais ou menos lâmpadas desligadas se ocupantes se sentirem mal iluminados.



Planejamento de  
M&V 8

## Efeitos Interativos - Exemplo Iluminação e ar condicionado

- A AEE de iluminação reduz a carga térmica em 10 kW.
- A redução da carga térmica pode reduzir a energia requerida para o ar condicionado. Também pode aumentar a energia requerida no inverno.
- Um sistema de refrigeração típico pode ter uma economia de cerca de 3 kW (cálculo que não faz parte deste curso nem do PIMVP).
- Então, o **Efeito Interativo** é estimado em agregar mais 30% à economia do sistema de iluminação (nos lugares e momentos em que o resfriamento ambiental é utilizado).

Planejamento de  
M&V 9

## Efeitos Interativos - Conclusão

- Decidir que efeitos interativos são **significativos** em relação à economia de energia.  
Nota: pode-se decidir ajustar a fronteira de medição para incluir medição de um efeito importante (então, não será mais um efeito interativo, porém um efeito medido).
- Definir o modo de **estimar** qualquer efeito interativo significativo (p. ex., 30% a mais de economia durante o período de resfriamento).

Planejamento de  
M&V 10

#### 4.4 Tipos de Economia

##### Tipos de “Economia”

Quando se diz “Economia”, o que se quer dizer:

- **Consumo (custo) de energia evitado?**

OU

- **Economias normalizadas?**

É importante entender a diferença!

Planejamento de  
M&V 11

##### “Consumo (Custo) de Energia Evitado”

Quando se relatam “economias”, normalmente se quer dizer:

“Nossas contas foram menores do que ***teriam sido*** sem a AEE”

Para declarar este ‘custo evitado’, necessita-se *determinar que custo teria ocorrido no período de determinação da economia se não tivesse havido qualquer AEE.*

Para relatar a energia ou custo “evitados”, deve-se ajustar:

- o consumo/demanda de energia da linha de base às condições do período de determinação da economia.

Planejamento de  
M&V 12

## “Consumo (Custo) de Energia Evitado” (2)

A Equação básica como nos Conceitos Básicos do PIMVP 2014 Seção 5.3.3 torna-se:

*Energia (custo) relatada em qualquer período =  
 Energia (custo) da linha de base ajustada  
 – Energia (custo) do período de  
 determinação da economia  
 ( $\pm$  Ajustes não de rotina da linha de base para o  
 período de determinação da economia)*

Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 5.3.4

Nota: O valor do ajuste muda de período a período, para a situação usual de condições variáveis do período de determinação da economia.

Planejamento de  
M&V 13

## “Economia Normalizada”

Uma forma mais estável de relatar a economia é:  
 “Sob condições *normais* a economia seria de .....”

Condições normais podem ser qualquer conjunto *fixado* de condições (p.ex., média de longo prazo, valores de 2006, ou ...).

Para relatar a “economia normalizada”, tanto a energia (custo) da linha de base quanto a do período de determinação da economia devem estar referidas ao mesmo conjunto de condições *normais*.

Tem-se que ajustar:

- o uso na linha de base às condições normais fixadas, e
- o uso no período de determinação da economia às condições normais fixadas.

Planejamento de  
M&V 14

## “Economia Normalizada” (2)

Economia = (Energia (custo) da linha de base – Energia (custo) do período de determinação da economia) ± Ajustes

torna-se:

Economia em qualquer período =  
 Energia (custo) da linha de base ajustada  
 – Energia (custo) do período de determinação da economia ajustado

Ajustes não de rotina devem também serem considerados.

Ver Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 5.3.5

$$E = (B \pm A_{BN}) - (D \pm A_{DN})$$

Planejamento de  
M&V 15

## Economia Normalizada - Exemplo Usando o exemplo da Opção C – Módulo 3

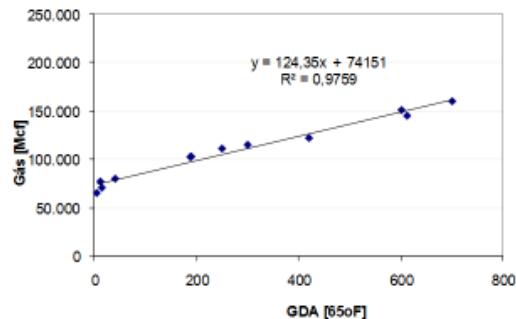
Passo 1 – Calcular o consumo de gás da linha de base nas condições normais

Linha de base	Normal GDA oF	Consumo da linha de base normalizado			
		Data leitura	Carga base	Sensibilidade Térmica	Total
			Fatores		
			111.358	173,27	
Março	551	111.358	95.472	206.830	
Abril	482	?	?	?	
Maio	301	111.358	52.154	163.512	
Junho	200	111.358	34.654	146.012	
Julho	55	111.358	9.530	120.888	
Agosto	12	111.358	2.079	113.437	
Setembro	30	111.358	5.198	116.556	
Outubro	66	?	?	?	
Novembro	201	111.358	34.827	146.185	
Dezembro	311	111.358	53.887	165.245	
Planejamen to de M&V 16	Janeiro	677	111.358	117.304	228.662
	Fevereiro	603	111.358	104.482	215.840

## Economia Normalizada – Exemplo (2)

Passo 2 – Elaborar modelo para o período de determinação da economia

Data leitura	Dados atuais	
	Consumo mcf	GDA oF
03/02/2009		
06/03/2009	151.008	601
04/04/2009	122.111	420
06/05/2009	102.694	188
05/06/2009	111.211	250
05/07/2009	80.222	41
06/08/2009	71.023	15
08/09/2009	65.534	5
09/10/2009	77.354	12
04/11/2009	103.000	190
10/12/2009	115.112	300
07/01/2012	160.002	700
04/02/2012	145.111	612
<b>Total</b>	<b>1.302.382</b>	



Planejamento de  
M&V 17

## Economia Normalizada – Exemplo (3)

Passo 3 – Calcular o consumo de gás do período de determinação da economia nas condições normais

Data leitura	Normal GDA oF	Consumo período de determinação da economia normalizado			Linha de base normalizad a (Passo 1)	Economi a Norma lizada mcf		
		Carga base	Sensibilidade Térmica	Total				
		74.151	124,35					
Março	551	74.151	68.514	142.666	206.830	64.164		
Abri	482	?	?	?	?	?		
Maio	301	74.151	37.428	111.579	163.512	51.933		
Junho	200	74.151	24.869	99.020	146.012	46.992		
Julho	55	74.151	6.839	80.990	120.888	39.898		
Agosto	12	74.151	1.492	75.643	113.437	37.794		
Setembro	30	74.151	3.730	77.882	116.556	38.675		
Outubro	66	?	?	?	?	?		
Novemb	201	74.151	24.993	99.145	146.185	47.041		
Dezem	311	74.151	38.671	112.823	165.245	52.422		
Janeiro	677	74.151	84.182	158.333	228.662	70.329		
Fevereiro	603	74.151	74.980	149.132	215.840	66.708		

Planejam  
ento de  
M&V 18

## Economia Normalizada – Exemplo (4)

### Comparação com o consumo de gás “evitado” (módulo 3)

Data leitura	Economia Evitada mcf	Economia Normalizada mcf	Diferença mcf	Atual GDA oF	Normal GDA oF	Diferença GDA oF
03/02/2009						
06/03/2009	64.485	64.164	321	601	551	50
04/04/2009	?	?	?	?	?	?
06/05/2009	41.239	51.933	-10.694	188	301	-113
05/06/2009	43.465	46.992	-3.527	250	200	50
05/07/2009	38.240	39.898	-1.658	41	55	-14
06/08/2009	42.934	37.794	5.140	15	12	3
08/09/2009	46.690	38.675	8.016	5	30	-25
09/10/2009	?	?	?	?	?	?
04/11/2009	41.279	47.041	-5.761	190	201	-11
10/12/2009	48.227	52.422	-4.195	300	311	-11
07/01/2012	72.645	70.329	2.316	700	677	23
04/02/2012	72.288	66.708	5.580	612	603	9
Total	609.596	617.179	-7.583	3.334	3.489	-155
			-1,2%			-4,6%

Planejamento de M&V 19

## Que tipo de economia?

### Custo evitado:

- Considera o impacto nos custos atuais
- Condições variáveis significam mudança na economia apesar da AEE permanecer inalterada

### Economia normalizada:

- Para explicar como a economia se compara a previsões feitas sob condições “normais”
- Para estabilizar relatórios de economia, de modo que não variem com as condições atuais/da linha de base

Planejamento de  
M&V 20

#### 4.5 Dados da Linha de Base

**EVO** | Efficiency Valuation Organization

Dados da linha de base

Que dados?  
Em qual período?

### Que dados da linha de base?

Os dados da linha de base devem obrigatoriamente incluir para o período da linha de base:

- todos os dados de consumo (e demanda)
- todos os dados das variáveis independentes (para os ajustes de rotina)
- todos os outros fatores que afetam significativamente o uso da energia, de forma a se reconhecer quando uma mudança nas condições da linha de base aconteceu (precisando de um ajuste não de rotina). Estes fatores são chamados **Fatores Estáticos**, para os distinguir das variáveis independentes, que variam rotineiramente.



Planejamento de M&V 22

**EVO** | Efficiency Valuation Organization

#### 4.5.1 Variáveis independentes

### Variáveis Independentes

Variáveis Independentes são fatores determinantes que **rotineiramente** variam e afetam significativamente o uso da energia.

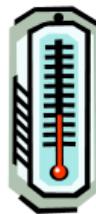
- Que variáveis rotineiramente afetam o uso da energia na instalação?
- Quão significativo é cada efeito?
- Quanto custa obter dados para cada um?

Escolha com sensatez!

Planejamento de  
M&V 23

### Escolha das Variáveis Independentes

- Operação:
  - taxa de produção
  - tipo de produto, tipo de matéria-prima
  - ocupação
  - vendas
- Clima:
  - temperatura (graus dia – total mensal ou máxima mensal)
  - umidade
- Medição:
  - duração do período de medição
  - número de dias operacionais no período de determinação da economia



Planejamento de  
M&V 24

## Escolha das Variáveis Independentes (2)

É tentador escolher muitas variáveis para justificar o máximo de variações possível no consumo da linha de base.

**Recomendação:** escolher apenas as variáveis necessárias para justificar *razoavelmente* as variações dos dados do consumo da linha de base.

P. O que é razoável?

R. Estatística e Incerteza para o PIMVP 1:2014 apresenta termos estatísticos para ajudar a definir “razoável” e técnicas para escolher variáveis independentes (breve discussão mais tarde).

Planejamento de  
M&V 25

## Uso das variáveis independentes

Para fazer **Ajustes** à equação básica do PIMVP, encontramos a relação entre o consumo e cada variável independente **significativa** escolhida. Chamamos a isto a “relação do consumo da linha de base” ou o “modelo da linha de base”.

Uma relação de consumo da linha de base pode assumir várias formas, por exemplo, em uma siderúrgica:

$$\text{Gás da fornalha (unidades de gás/h)} = 3,4078 + (0,4574 \times \text{toneladas de produção por hora})$$

Todas as outras variáveis possíveis são ‘ruídos’.

Planejamento de  
M&V 26

#### 4.5.2 Fatores Estáticos

##### Definição de Fatores Estáticos

Características da instalação que afetam o consumo de energia dentro da fronteira de medição, porém que não foram usadas como base para os *ajustes de rotina*. Incluem características fixas, ambientais, operacionais e de manutenção. Podem ser constantes ou variáveis.

M&V Planning 27

##### Exemplos de Fatores Estáticos

- mix de produtos
- número de turnos de produção
- tamanho da instalação e características do envelope predial
- número de ocupantes e períodos de ocupação
- práticas operacionais: produção, iluminação, ventilação, controle de temperatura
- cargas administrativas e de laboratório e períodos de operação
- dados de placa de equipamentos e práticas operacionais
- paradas de produção

**Nota – só se consideram os Fatores Estáticos que afetam o uso da energia dentro da fronteira de medição**

Planejamento de  
M&V 28

## Obtenção dos fatores 'estáticos' da linha de base

Informações sobre os fatores estáticos são normalmente obtidas durante um diagnóstico energético, sem trabalho adicional.

Não o perca!  
Arquive-o no Plano de M&V  
(como um apêndice)

M&V Planning 29

## Monitoração dos fatores 'estáticos'

Para fazer os ajustes para comparações apropriadas 'maçãs com maçãs' na equação básica, as mudanças nos fatores estáticos precisam ser notadas e registradas. O Plano de M&V deve mostrar:

- Os fatores estáticos a monitorar
- Os fatores estáticos que já são rotineiramente registrados pelo pessoal de operação
- Os fatores estáticos que necessitam acompanhamento e registro especial e **quem vai fazê-lo**.

(As cláusulas do contrato da ESCO que requerem que o proprietário registre mudanças na instalação devem citar os fatores estáticos registrados no Plano de M&V e identificar aqueles em que se aplica esta obrigação).

M&V Planning 30

#### 4.5.3 Obtenção dos Dados da Linha de Base

##### Onde obter os dados?

Existem muitas fontes possíveis de dados.

**Os dados de energia** provêm dos medidores ou contas de energia, ou dos medidores instalados para isolar a AEE.

**Os dados das variáveis independentes** provêm das estações meteorológicas do governo, registros da instalação, sistemas de controle, .....

Para cada possível fonte de dados considerar os seus P-D-C-C:

- Precisão de dados
- Disponibilidade de dados quando se deles necessitam
- Credibilidade dos dados perante outros
- Custo da obtenção dos dados

Planejamento de  
M&V 31

##### Fontes de dados das companhias de energia

- Eletricidade (kW, kWh, kVA)
- Volume e demanda de gás
- Vapor e água quente
- Água gelada
- Derivados de petróleo, carvão, biomassa a granel
  - Inventários



Considerar:

**Precisão Disponibilidade Credibilidade Custo**

Planejamento de  
M&V 32

## Fonte de dados dos medidores de isolamento da AEE

Para isolar o uso da energia em uma AEE do resto da instalação, devem-se medir: corrente, potência, fator de potência, energia da água gelada, energia da água quente, vazão ou energia do vapor, condensado, volume de gás, horas de operação, número de ciclos.....

Considerar:

**Precisão Disponibilidade Credibilidade**

**Custo**

Planejamento de  
M&V 33



## Fontes de dados das variáveis independentes

Para variáveis climáticas, pode-se usar:

- estações meteorológicas oficiais
- medidores locais

Considerar:

**Precisão Disponibilidade Credibilidade**

**Custo**

Planejamento de  
M&V 34



## Fontes de dados de outras variáveis independentes ou fatores estáticos

Para outras variáveis independentes ou fatores estáticos como: volume de produção, mix de produção, horas de operação, ocupação, vendas, horas de armazenamento, taxa de desocupação,..... devem-se achar métodos formais ou informais apropriados de obter estes tipos de dados.

Considerar:

Precisão Disponibilidade Credibilidade Custo

Planejamento de  
M&V 35



Qual a duração do período da linha de base?

- Um segundo?
- Uma hora?
- Uma semana?
- Um mês?
- Um ano?
- Dois anos?
- Três anos?
- Dez anos?



Planejamento de  
M&V 36

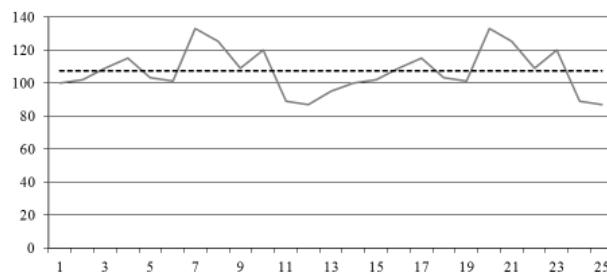


## Duração do Período da Linha de Base

- A principal restrição é a *qualidade* e a *relevância* dos dados. Usar um período **suficientemente longo** para:
  - obter bons dados, sem introduzir mais lacunas de dados escondidos ou falhas, e
  - abranger um ciclo completo de consumo de energia – horário, diário, semanal, anual – ou suficientemente longo para provar que a carga é constante.
- Usar um período **suficientemente curto** para evitar custos e incerteza desnecessários  
Claramente, é preciso achar o ponto ótimo!

Planejamento de  
M&V 37

## Busca de padrões repetitivos



Um diagnóstico energético normalmente examina mais de um ciclo para confirmar o período de seleção da linha de base

Planejamento de  
M&V 38

## Memória do período da linha de base

### Atenção:

- Quanto mais para trás o período da linha de base for esticado, menor a probabilidade de lembranças ou registros dos eventos rotineiros ou excepcionais (variáveis independentes e fatores estáticos).
- Normalmente o período da linha de base não deve ser *mais longo do que o ciclo completo mais recente* (ex. o ano mais recente, para cargas com ciclo anual)

Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 5.3.2

Planejamento de  
M&V 39

## Exemplo

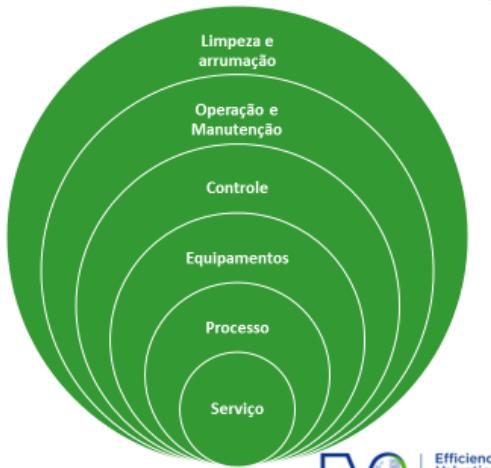
Você está elaborando um Plano de M & V para um centro de lazer. A melhoria a ser instalada é uma nova caldeira de condensação de alta eficiência, controles eficientes, etc. A antiga caldeira era uma caldeira padrão. A caldeira fornece calor para o centro de lazer e piscina. Cerca de 65% do calor é usado para a piscina e 35% para o aquecimento ambiente.

**Quais as variáveis independentes e fatores estáticos?**

Planejamento de  
M&V 40

## Descascar as camadas – diagrama Onion

Um método para considerar todas as potenciais variáveis independentes e fatores estáticos dentro do funcionamento da instalação



Planejamento de  
M&V 41

## 4.6 Períodos Adjacentes de Medição

Períodos adjacentes de medição

## Liga - Desliga

- Algumas AEEs podem ser ligadas e desligadas facilmente, como uma mudança de controle ou um dispositivo de recuperação de calor.
- Com a AEE desligada, a instalação pode funcionar como se não houvesse a AEE, e a energia da linha de base pode ser medida.
- Com a AEE ligada, o período de determinação da economia pode ser medido.
- A economia atribuível à AEE é a diferença entre as duas leituras, *desde que todos os outros fatores que afetam o uso da energia não mudem.*

Períodos  
adjacentes 43



## Períodos adjacentes de medição

- Todos os outros fatores que afetam o uso da energia *podem* permanecer inalterados se forem usados períodos um após o outro (“adjacentes”) para as medições com a AEE ligada e desligada.
- Quando a AEE puder facilmente ser ligada e desligada, os períodos da linha de base e período de determinação da economia podem ser adjacentes para minimizar a chance de mudarem as condições de operação.

Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 5.3.2.3

Períodos  
adjacentes 44



## Períodos adjacentes de medição

- A economia pode ser calculada usando-se os Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 6.3.2  

$$\text{Economia} = \text{Energia do período da linha de base} - \text{Energia do período de determinação da economia}$$
- Este método pode ser usado para medidas isoladas ou para toda a instalação. É um método de implementação da Opção A, ou Opções B ou C com curtos períodos período de determinação da economia.
- O processo de teste com períodos adjacentes de medição é também chamado de método de teste liga-desliga (On/Off).

Períodos adjacentes 45

## Exemplo liga-desliga – Toda a Instalação

Um novo programa de controle muda alguns ajustes em um processo industrial contínuo.

- LIGA – operar a planta com o novo programa de controle ligado o tempo suficiente para assegurar uma operação estável. Medir a energia em cada hora e os parâmetros de produção (volume e tipo de produto, temperatura, pressão, etc...)
- DESLIGA – voltar com o antigo programa e repetir o teste. Verificar se os parâmetros de produção são os mesmos.
- A diferença de energia usada em cada hora é a economia horária para o conjunto de condições de operação da planta.
- Repetir sob outras condições da planta para construir um perfil de melhora de rendimentos pela faixa de condições de operação possíveis.

Períodos adjacentes 46

Cuidado!

- Uma AEE que pode ser facilmente ligada-desligada pode estar desligada quando se acredita estar ligada (os operadores podem preferir o sistema antigo, ou acidentalmente desligá-la).
- Depois do teste, passos devem ser dados para *verificar* que a AEE continua ligada.
  - Esta verificação pode acabar requerendo medição contínua para comprovar a operação. Neste caso, a economia é relatada para períodos mais longos, não somente um curto período de teste.

Períodos  
adjacentes 47

#### 4.7 Equipamentos de medição

Equipamentos de Medição



## Precisão dos Medidores

- **Dimensionar** o medidor para a faixa de medição apropriada.
- Selecionar o medidor para os valores que ocorrem a maior parte do tempo.
- Se a precisão além da faixa disponível do medidor for importante, usar um medidor (vazão) de 2 estágios: alto e baixo.
- Atenção para a perda de precisão por dados “truncados” por software ou dispositivo de comunicação (dados de 32 x 64 bits)
- Usar o mesmo medidor para as leituras de antes e depois da AEE.

Planejamento de  
M&V 49



## Precisão dos Medidores

- Especificar a precisão como definido pelas normas relevantes da indústria (p. ex., ABNT NBR 54519 para medidores eletrônicos).
- Assegurar-se de conhecer a precisão mencionada pelo fabricante, se “x% da leitura” ou “x% de fundo de escala” (nº de dígitos).
- A precisão é mais corretamente expressa com o nível de confiança associado, usualmente 95%. No entanto, poucos fabricantes informam o nível considerado.

Planejamento de  
M&V 50



## Outras funções para medidores aplicados a M&V

O custo dos medidores preocupa? Pode-se compartilhar este custo com outros propósitos tais como:

- análise de carga para planejamento de AEEs
- controle de processo, otimizando-o ou enviando alarme de condições indesejáveis no sistema ou equipamentos
- sub-faturamento (onde permitido)
- alocação de custos a diferentes departamentos
- confirmação da conta da concessionária
- previsão
- perfil de carga para negociação com fornecedor de energia

**Nem todos os custos de medição precisam ser alocados à M&V.**

Planejamento de  
M&V 51

## Medição

Aplicação	Instrumento
Eletricidade	Watímetro valor eficaz verdadeiro (true RMS), analisador de grandezas elétricas (registro)
Iluminação	Luxímetro, registrador (logger) de horas de funcionamento
Ocupação	Registrador de horas de ocupação
Rotação	Tacômetro (contato, estroboscópico, ótico)
Vazão de ar	Anemômetro
Pressão	Manômetro digital
Temperatura	Termômetro digital ou registrador
Umidade	Higrômetro digital
Qualidade do ar	Analizador de gás CO <sub>2</sub>
Combustão	Analizador de combustão
Processo	Registrador de dados de processo
Vazão líquida	Medidor de fluxo – ver próximo slide

## Medição Elétrica

### **Watts = Amperes x Volts x Fator de potência**

- Conhece-se o fator de potência? Uma vez que o fator de potência é 1 para cargas resistivas (ex. iluminação incandescente), amperes e volts é tudo o que deve ser medido para circuitos contendo apenas tais cargas.
- Conhece-se o efeito da distorção harmônica da potência a ser medida? A distorção pode vir de diferentes equipamentos, não apenas do que está sendo medido.

A melhor prática é medir sempre **watts eficazes verdadeiros (true RMS)**, não apenas amperes e volts, para se ter a certeza de incluir todas as possíveis (inesperadas) influências harmônicas e fatores de potência.

Planejamento de  
M&V 53

## Tipos de Medidores de Vazão

- Intrusivos:
  - Placa de orifício
  - Turbina (possível inserção a quente)
  - Vortex
  - Deslocamento positivo
  - Magnético (sem restrição)
- Não-intrusivos:
  - Ultrassônico
  - “Balde e cronômetro” é um sistema barato para medições instantâneas em sistemas abertos



Planejamento de  
M&V 54

## Instalação e comissionamento dos medidores

- Sempre seguir as instruções do fabricante (se possível!)
- Se for necessário instalar dutos ou similar para condutores, os custos aumentam muito. Considerar a instalação *wireless*.
- Usar etiquetas e proteções para medidores e painéis contra negligência de terceiros.
- Programar registradores nos canais corretos.
- Verificar instrumentos manuais.
- Calibração inicial local – desde o valor medido até a leitura no computador.

Planejamento de  
M&V 55



## Medidores de M&V e Sistemas de Controle

Sistemas de controle computadorizados podem fornecer muitas informações necessárias à M&V.

No entanto, o sistema deve ser capaz de combinar as funções de monitoramento e controle sem comprometer seu tempo de resposta para controle e capacidade de armazenamento.

Planejamento de  
M&V 56



## Manutenção dos medidores

- O custo de manutenção é usualmente negligenciado no orçamento da M&V.
- Recalibrar inicialmente como recomendado pelo fabricante. Alterar a frequência de calibração conforme a experiência em cada ambiente e para cada tipo de medidor.
- Medidores elétricos digitais não preocupam quanto à manutenção, desde que corretamente instalados.

Planejamento de  
M&V 57

## Operação dos medidores - 1

**Lei de Murphy:** alguns dados estarão errados ou serão perdidos.

### Então, precaver-se:

1. Decidir como avaliar cada conjunto de dados.  
Por exemplo:

- Verificar a faixa
- Verificar as relações
- Verificar a hora (e fuso) nos registradores de tempo
- *Checksums* (nº de bits) para transmissão de dados

Planejamento de  
M&V 58

## Operação de medidores - 2

2. Decidir como lidar com:
  - dados faltantes (quando/como “repor”)
  - dados impossíveis de se obter
  - dados de um medidor encontrado fora de calibração
3. Estabelecer uma taxa de erros ou perda de dados que indique que são necessários reparos no sistema do medidor.

Planejamento de  
M&V 59

## Gerenciamento de dados de medidores

- Registrar todos os ajustes feitos nos dados primários
- Registrar todas as atividades de manutenção feitas no sistema de medição
- Transformar montes de dados em informação útil através de dois gráficos:
  - Um em função do tempo para verificar a faixa de valores
  - Outro em função das variáveis significativas, p. ex., combustível x produção ou temperatura externa
- Desenvolver um procedimento de arquivamento

Planejamento de  
M&V 60

## Por quanto tempo medir?

A duração do período de determinação da economia depende do objetivo:

- Se se quer controlar a performance  
→ medir sempre
- Se se quer apurar a economia conseguida  
→ medir até se ficar satisfeito

Gasta-se dinheiro para gerir e manter equipamentos de medição.

**Escolher com sensatez!**

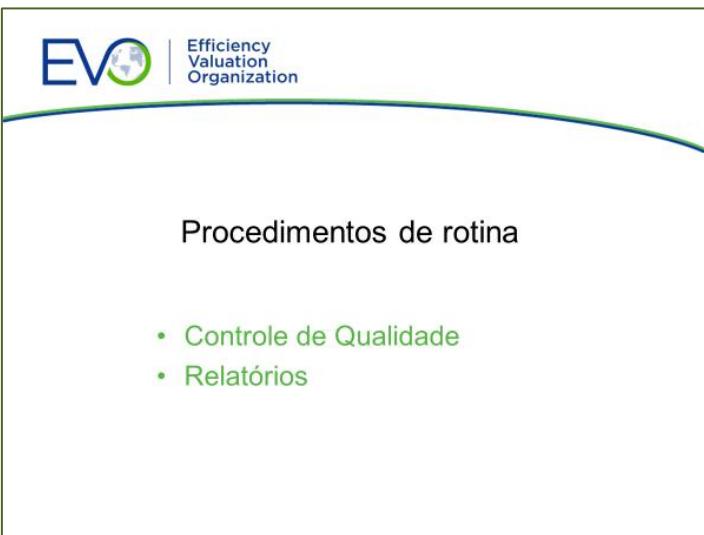
Planejamento de  
M&V 61

## Custos de medição

- Os custos têm caído – agora geralmente representam apenas algumas centenas de \$ por ponto.
- Custos de *processamento* usualmente superam os de *equipamento*. Planejar o tempo (= custo) de pessoal para cuidar do sistema de sensores / registros / gestão de dados.
- Prever despesas com telefone e viagens.
- Custos com internet.

Planejamento de  
M&V 62

## 4.8 Procedimentos de rotina

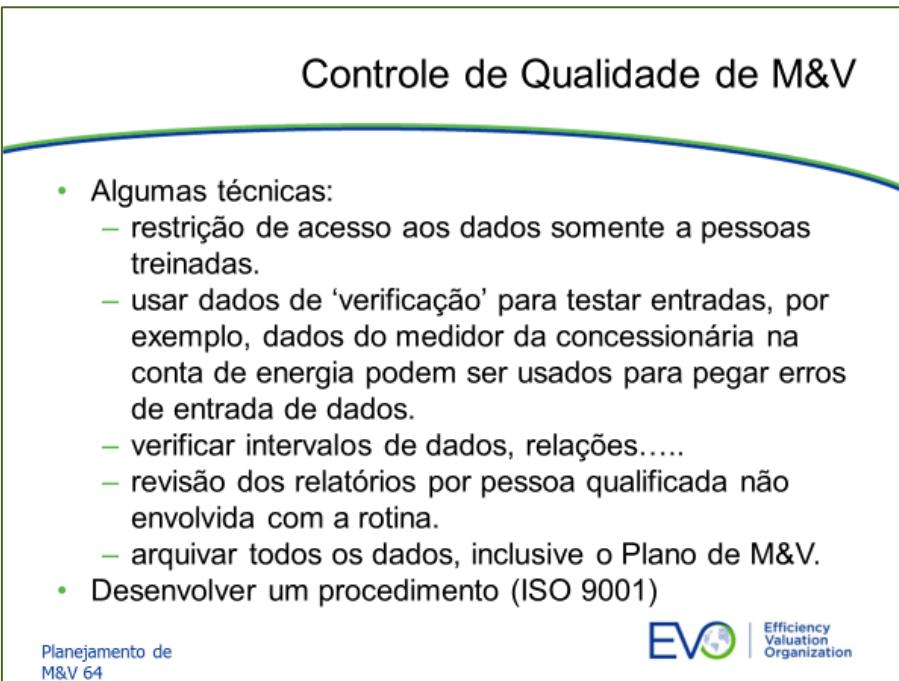


EVO | Efficiency Valuation Organization

### Procedimentos de rotina

- Controle de Qualidade
- Relatórios

#### 4.8.1 Controle de Qualidade de M&V



### Controle de Qualidade de M&V

- Algumas técnicas:
  - restrição de acesso aos dados somente a pessoas treinadas.
  - usar dados de 'verificação' para testar entradas, por exemplo, dados do medidor da concessionária na conta de energia podem ser usados para pegar erros de entrada de dados.
  - verificar intervalos de dados, relações.....
  - revisão dos relatórios por pessoa qualificada não envolvida com a rotina.
  - arquivar todos os dados, inclusive o Plano de M&V.
- Desenvolver um procedimento (ISO 9001)

Planejamento de  
M&V 64

 Efficiency Valuation Organization

## Controle de Qualidade – Estudo de Caso

- Muitos erros encontrados por uma verificação
- A ESCO confessou que deixava seus clientes serem o controle de qualidade!
- A ESCO disse que não havia mais dinheiro suficiente para a M&V para manter o controle de qualidade que costumava fazer!

A consideração adequada da incerteza pode ajudar a aumentar o orçamento de M&V.

Planejamento de  
M&V 65

### 4.8.2 Relatórios

#### Relatórios

Entender o público-alvo. Usar a *sua* linguagem.

- Pessoal de operação:
  - A frequência e ocasião dos relatórios devem coincidir com os ciclos operacionais (p. ex., entregar um relatório de economia no inverno durante esta estação)
  - Revisar os relatórios com o pessoal de operação e registrar os conhecimentos adquiridos sobre os padrões de uso da energia na instalação.
- Gerência
- Ocupantes ou outros

Planejamento de  
M&V 66

## Conteúdo dos relatórios

- Dados de campo do período de determinação da economia
- Correções feitas nos dados de campo
- Valores estimados (para Opção A)
- Preços de energia usados
- Explicação para qualquer ajuste não de rotina executado
- Economia em unidades de energia e monetárias

Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Capítulo 8

Planejamento de  
M&V 67

## 4.9 Plano de M&V

### Plano de M&V

Resumo do Conteúdo  
Conceitos Básicos do  
PIMVP 2014, Capítulo 8

### Análise de um modelo de Plano de M&V

Vamos analisar um modelo de Plano de M&V, feito com a Opção C

## Conteúdo do Plano de M&V – casos especiais

### Para a Opção A:

- Justificativa da(s) estimativa(s) usada(s)
- Inspeção periódica dos equipamentos que serão feitas depois da AEE

### Para a Opção D:

- Nome e versão do software usado na simulação
- Dados de entrada e método de medição de qualquer parâmetro usado para justificar os valores de entrada
- Saídas do software
- Dados de calibração e precisão encontrada na simulação

Planejamento de  
M&V 70



Efficiency  
Valuation  
Organization

## Referências do Plano de M&V

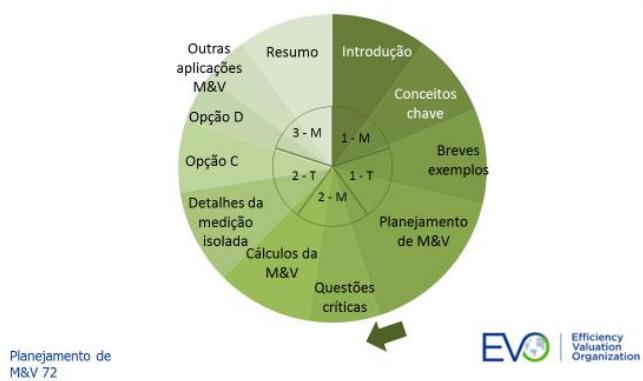
- Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Capítulo 8
- Planos e relatórios de M&V completamente elaborados encontram-se no sítio da EVO [www.evo-world.org](http://www.evo-world.org)
- Planos modelos para as ações padrão do PEE estão no Guia de M&V do PEE, na página de eficiência energética da ANEEL <http://www.aneel.gov.br/pt/programa-eficiencia-energetica/>

Planejamento de  
M&V 71



Efficiency  
Valuation  
Organization

## Próximo assunto



Planejamento de  
M&V 72



Efficiency  
Valuation  
Organization

## 5 Questões críticas

**Fundamentos de M&V  
& o  
Protocolo Internacional de Medição e  
Verificação de Performance**

Para Gestores de Energia

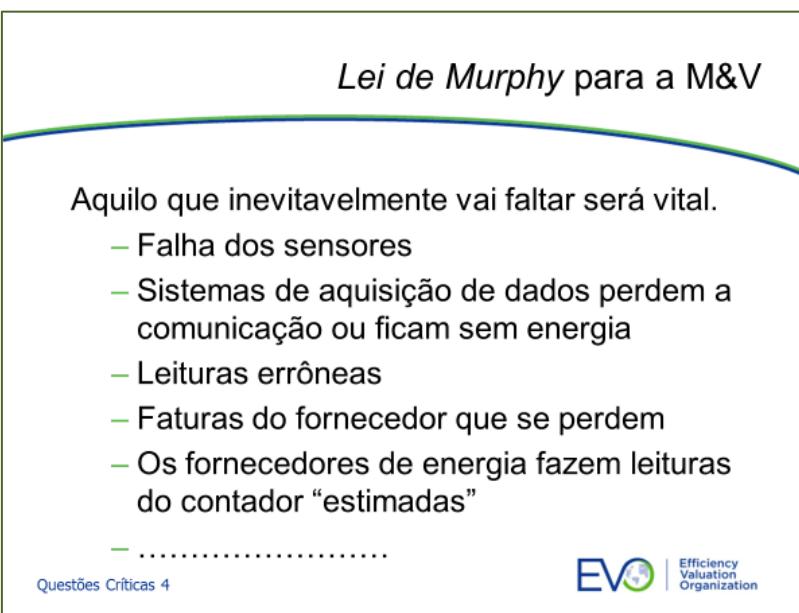
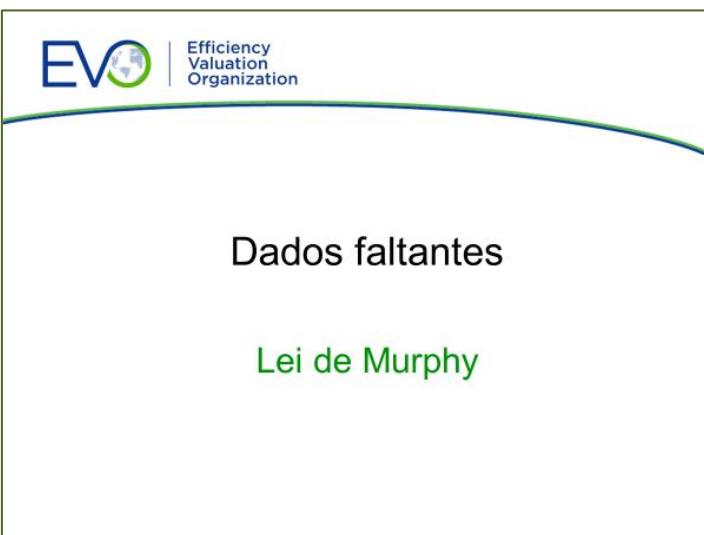
### Questões Críticas

#### Questões Críticas - Programa

- Dados faltantes
- Orçamento de M&V
- Ajustes da linha de base (ALB)
- Disputa em ALB
- Preços da M&V
- Verificação
- Aderência ao PIMVP

Questões Críticas 2

## 5.1 Dados faltantes



The diagram consists of two stacked rectangular boxes. The top box is light blue and contains the text "*Lei de Murphy para a M&V*" in black. The bottom box is white and contains the text "Aquilo que inevitavelmente vai faltar será vital." in black, followed by a bulleted list of items:

- Falha dos sensores
- Sistemas de aquisição de dados perdem a comunicação ou ficam sem energia
- Leituras errôneas
- Faturas do fornecedor que se perdem
- Os fornecedores de energia fazem leituras do contador “estimadas”

At the bottom left of the white box is the text "Questões Críticas 4" in blue. At the bottom right is the EVO logo and text: Efficiency Valuation Organization.

## Lei de Murphy na linha de base

Se há dados faltantes do **período da linha de base**:

- sobreviver com menos dados se a incerteza estiver boa
- usar dados de um período comparável fora do período
- considerar usar um período diferente (ou mais longo) para todos os medidores (mas também necessita-se de mais informação acerca dos fatores estáticos)
- registrar a natureza da mudança feita para lidar com os dados em falta

**Não invente dados da linha de base,**

i.e. não “preencha” a linha de base a partir de uma linha de tendência.

Questões Críticas 5

## Lei de Murphy no Período de Determinação da Economia

Se há dados faltantes no **período de determinação da economia**:

- O valor correto provavelmente não é zero.
- No caso de uma falha, é inadequado assumir um valor como se a AEE continuasse a funcionar se não houver evidências de que a AEE o fez.

Questões Críticas 6

## *Lei de Murphy* no Período de Determinação da Economia -

2

Assim:

- fazer as melhores estimativas (“preencher”) a partir de dados adjacentes ou a partir da linha de tendência de um ciclo de operações completo
- relatar as suposições “preenchidas”
- corrigir as falhas do sistema para que o problema não continue

Questões Críticas 7

## 5.2 Orçamento de M&V

### Orçamento de M&V

Equilibrar Custo e  
Incerteza

## Custo de M&V

O custo de M&V depende:

- da quantidade de dados necessária e da dificuldade na obtenção de bons dados
- da instalação/manutenção dos novos medidores
- da quantidade de análise de dados necessária
- do formato e frequência do relatório
- duração do período de determinação da economia
- Complexidade dos sistemas e AEEs
- Incerteza requerida
- Opção do PIMVP escolhida

Questões Críticas 9

## Orçamento de M&V

O orçamento de M&V deve depender:

- De quanta economia há
- Da duração do *pay-back*
- Quão de perto este projeto vai ser examinado
- De quanta **incerteza** se pode aceitar

Questões Críticas 10

### Lembrar

Não existe um valor de economia de energia absolutamente correto.

Todos os valores são estimativas, alguns são melhores do que outros.

Questões Críticas 11

### Quanta M&V é suficiente? - 1

#### Concepção X de M&V      Concepção Y de M&V

Economia anual	\$100.000	\$100.000
----------------	-----------	-----------

Incerteza	+/- \$25.000	+/- \$5.000
-----------	--------------	-------------

Custo anual de M&V	\$6.000	Quanto pagaria? Por que?
--------------------	---------	-----------------------------

Hot Topics 12

### Quanta M&V é suficiente?

O custo total para determinar a economia de energia deve ser normalmente menor que \_\_\_\_% da economia.

Tipicamente \_\_\_\_ a \_\_\_\_%.

Questões Críticas 13

### Quanta M&V é suficiente? - 3

Um compromisso entre:

- Uma incerteza mais baixa (= custo de M&V mais elevado). Dá ao pessoal de operação um melhor retorno e um controle mais rígido = **mais economia**.
- Uma incerteza mais alta (= custo de M&V mais baixo). Deixa mais dinheiro para outras AEEs = **mais economia**.

Claramente, cada concepção de projeto M&V deve considerar questões mais abrangentes do que apenas M&V.

Considerar se a incerteza reduzida de M&V afetará os pagamentos do contrato à ESCO.

Questões Críticas 14

### 5.3 Ajustes da linha de base (ALB)

### Ajustes da linha de base (ALB) (não de rotina)

- Por que?
- Quando?
- Quem?
- Como? - Exemplo

## Ajustes da linha de base

Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 5.3.3:

Economia = Consumo da linha de base – consumo do período de determinação da economia

+/- Ajustes de rotina

+/- Ajustes não de rotina

- **Ajustes de rotina** envolvem: variáveis independentes, modelos da linha de base e cálculos de rotina estabelecidos no Plano de M&V
- **Ajustes não de rotina** também são necessários porque os Fatores 'Estáticos' não são 'estáticos'. Os ajustes não periódicos são normalmente chamados simplesmente "Ajustes da Linha de Base" (ALB)

Questões Críticas 16

## Por que fazer ALBs? - 1

Mudanças **inesperadas** nos Fatores Estáticos  
*(dentro da fronteira de medição):*

- Nova linha de produto industrial
- Mudança de 2 para 3 turnos por dia
- Novas normas (iluminação, temperatura, ventilação .....)
- Adição à instalação
- Mudança de utilização de parte da instalação
- Perda/ganho de inquilinos
- Mais equipamentos dos inquilinos
- Substituição do telhado com mais isolamento

.....  
Questões Críticas 17

## Por que fazer ALBs? - 2

### Exemplo de um edifício:

- No período da linha de base, com 100% de ocupação, o consumo de energia foi 10.000 kWh/dia
- Após a AEE, a ocupação desceu para 75%, baixando o consumo em 1.000 kWh/dia
- 1.000 kWh/dia da economia aparente não são devidos à AEE e devem ser removidos
- Ajustar o consumo da linha de base para 9.000 kWh/dia

Questões Críticas 18

## Quando fazer um ALB?

- A mudança nos Fatores Estáticos pode ser:
  - gradual (crescimento lento da carga) ou súbita
  - permanente ou temporária
- Monitorar os Fatores Estáticos em relação aos registrados no Plano de M&V para o período da linha de base
- Fazer um ALB quando uma mudança nos Fatores Estáticos é **reconhecida ou pelo menos anualmente** – enquanto as memórias estão frescas e outros dados necessários possíveis estão ainda disponíveis
- Evitar mudanças em períodos contábeis passados há muito.

Questões Críticas 19

## Quem faz ALBs?

### Interesses divididos:

- Os consumos da linha de base muitas vezes aumentam
  - escondendo a economia. A pessoa que alega economia está motivada a observar tais ALBs.
- A possibilidade dos consumos da linha de base *caírem* requer igual vigilância para garantir que as reduções do consumo da linha de base são notadas.

O Plano de M&V deve mostrar quem acompanhará cada Fator Estático, para que os ALBs possam ser calculados.

Questões Críticas 20

## Quem faz ALBs? – 2

- Alguns Fatores Estáticos são naturalmente registrados em:
  - registros do sistema de controle da instalação
  - registros de operador
  - registros operacionais da instalação
  - registros de manutenção
  - registros do departamento de compras
- Criar uma via para que esta informação naturalmente registrada seja incorporada à M&V
- Decidir quem observará e registrará todos os outros fatores
- Pode ser necessária uma auditoria anual de equipamentos diversos

Questões Críticas 21

Como?

Cada ALB é um cálculo **adaptado a cada caso**

Quando são acordados múltiplos ALBs em qualquer período, é humano não reparar em alguns. Não esquecer de registrar todos os ALBs em arquivos do projeto e softwares de cálculo relevante.

Questões Críticas 22

Exemplo de um ALB

- 300 novos computadores pessoais substituem 200 antigos
- 100 novas impressoras substituem 75 antigas

Segue-se um conjunto típico de suposições e cálculos

Questões Críticas 23

## Exemplo de um ALB - Parte 1

Número	Potência (W)		Horas/semana		Energia	Fator	Demanda
	Func.	Standby	Func.	Standby	kWh/semana	Diversidade	kW
<b>Antigos</b>							
CPU	200	200	175	80	88	6.280	0,80
Monitor	200	110	110	130	38	3.696	1,00
Impressora	75	550	90	130	38	5.619	0,90
Total					15.595		91
<b>Novos</b>							
CPU	300	300	50	80	88	8.520	0,80
Monitor	300	125	15	130	38	5.046	1,00
Impressora	100	600	25	130	38	7.895	0,90
Total					21.461		164
Acréscimo					kWh/sem.	5.866	
					kWh/mês	25.500	

Os fatos bem conhecidos estão em **negrito**. O resto são suposições

Questões Críticas 24

## Exemplo de um ALB - Parte 2

- Aumento estimado da carga devido à mudança nos computadores:
  - 25.500 kWh/mês
  - 72 kW
- Acrescentar uma estimativa de aumento na refrigeração relacionada com a alteração nos computadores:

	kWh/mês	kW
Acréscimo no inverno (computadores)	25.500	72
Impacto no ar condicionado	8.506	29
Acréscimo no verão	34.023	101

Questões Críticas 25

## Exemplo de um ALB – Parte 3

	Consumo eletricidade (kWh)			Demanda elétrica (kW)		
	Última Linha de base	ALB	Nova Linha de base	Última Linha de base	ALB	Nova Linha de base
Jan	1.350.000	25.400	1.375.400	3.375	72	3.447
Fev	1.250.000	25.400	1.275.400	3.125	72	3.197
Mar	1.150.000	25.400	1.175.400	2.875	72	2.947
Abr	1.250.000	25.400	1.275.400	3.125	72	3.197
Mai	1.300.000	33.867	1.333.867	3.250	101	3.351
Jun	1.400.000	33.867	1.433.867	3.500	101	3.601
Jul	1.770.000	33.867	1.803.867	4.425	101	4.526
Ago	1.820.000	33.867	1.853.867	4.550	101	4.651
Set	1.700.000	33.867	1.733.867	4.250	101	4.351
Out	1.500.000	25.400	1.525.400	3.750	72	3.822
Nov	1.250.000	25.400	1.275.400	3.125	72	3.197
Dez	1.200.000	25.400	1.225.400	3.000	72	3.072
<b>Total</b>		<b>347.133</b>			<b>1.013</b>	

Questões Críticas 26

## Não tem dados para um ALB?

Às vezes os fatos que descrevem um ALB perderam-se (novamente a lei de Murphy!)

- **Não** usar o consumo de energia medido após a AEE para determinar o valor da mudança que possa ter ocorrido.
- **Concordar** com uma conjectura sobre o valor da mudança que possa ter ocorrido. Calcular **o seu** impacto energético.

Questões Críticas 27

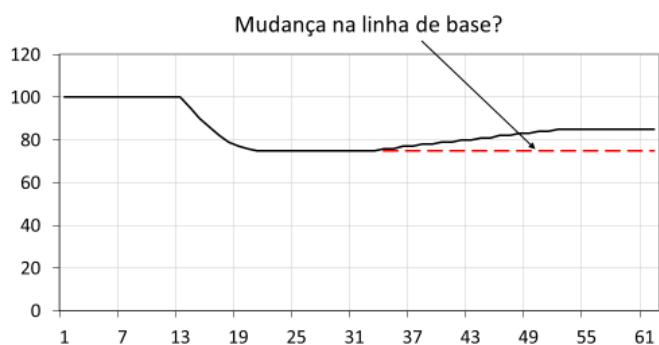
## 5.4 Disputa em ALB

### Uma clássica disputa sobre ALB - 1

- Um grande projeto escolar de ESCO com várias medidas.
- Estava sendo utilizada a Opção C – Toda a Instalação. Isto significa que a ESCO estava acompanhando o desempenho energético de todo o edifício.
- A economia foi inicialmente alcançada como planejado, mas depois foi notada uma aparente redução.
- A ESCO alegou que o proprietário tinha mudado alguma coisa sem avisar da “mudança material” como exigido no contrato.

Questões Críticas 28

### Uma clássica disputa do ALB - 2



Questões Críticas 29

### Uma clássica disputa do ALB - 3

- A ESCO alegou que as AEEs estavam funcionando adequadamente.
- A ESCO deduziu um ALB a partir das tendências dos dados atuais do medidor da instalação (i.e., o ALB foi estabelecido como igual a toda a poupança 'em falta')
- O contrato estabelecia que o proprietário deveria reportar qualquer "mudança material" na instalação.
- A ESCO reconheceu que não tinha os Fatores Estáticos do consumo da linha de base para comparação
- Há uma clara falta de dados disponíveis sobre os fatores estáticos tanto pela ESCO como pelo proprietário

Questões Críticas 30

### Uma clássica disputa do ALB - 4

- O tribunal de arbitragem(!) aprovou apenas ALBs respaldados por fatos acordados acerca das mudanças na instalação (tal como acordado, porém aceitou fatos como o número líquido de novos computadores e salas de aula em *containers*).

#### Lições:

- O medidor usado para determinar a economia não pode medir também a mudança no consumo da linha de base.

Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 7.10

Questões Críticas 31

## 5.5 Preços da M&V

 Efficiency Valuation Organization

Aplicação de preços das concessionárias para valorar a economia de energia

Tarifas usadas para M&V

### Questões básicas sobre preços

- Preços de energia são complexos e variam frequentemente.
- Usar os **modelos tarifários apropriados completos da concessionária**, ou cuidadosamente escolher preços marginais apropriados.
- Um contrato com ESCO define **os** preços mínimos e talvez as taxas de inflação a serem consideradas.
- O Plano de M&V deve especificar os preços de energia que serão usados para valorar as economias e se e como serão reajustados no futuro.

Planejamento de M&V  
33

 Efficiency Valuation Organization

## Economias monetárias

- A energia economizada deve ser valorada através de:
  - preços, no momento da concepção do projeto (ou da assinatura do contrato), ou
  - preço à época do projeto mais um fator inflacionário acordado, ou
  - preço real, de acordo com mudanças futuras.
- O método de valoração tem que:
  - ser definido com antecedência
  - ter uma relação lógica com a estrutura tarifária atual
  - considerar a energia, demanda, períodos de uso e variações sazonais nas tarifas.

Planejamento de M&V  
34

## Método de atribuição de preços

- Aplicar o preço da energia consumida (e demanda) para:
  - a linha de base ajustada, e
  - o consumo real da energia no período de determinação da economia (ajustado, se necessário, no caso de 'economias normalizadas')

Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 7.8
- Se a estrutura tarifária da concessionária envolver diferentes preços para diferentes níveis de consumo em algum mês:
  - Usar a **estrutura de preços completa** para métodos de Toda a Instalação (Opções C e D).
  - Usar o **preço marginal real** para AEEs com medição isolada (Opções A e B).

Planejamento de M&V  
35

## Exemplo de atribuição de preços

Considere um exemplo com economia de energia de:

- Consumo da linha de base ajustado kWh, = 270.000
- Consumo do período de determinação da economia kWh = 200.000
- A economia de energia é = 70.000 kWh.

Vamos encontrar o valor monetário da economia de energia.

Planejamento de M&V  
36

## Exemplo de Estrutura de Preços de Energia

Um tipo de estrutura tarifária energética tem diferentes preços para diferentes “blocos” de consumo mensal (preços em cascata):

Primeiros 250 kWh/mês	\$0,2900/kWh
Próximos 9.750 kWh/mês	\$0,1510/kWh
Próximos 240.000 kWh/mês	\$0,0723/kWh
Equilíbrio (consumo >250.000 kWh/mês)	\$0,0611/kWh

Planejamento de M&V  
37

## Exemplo de cálculo

Blocos de preço		Linha de base ajustada	Período de determinação da economia	
kWh	Preço	270.000	200.000	
250	\$ 0,2900	\$ 73	\$ 73	
9.750	\$ 0,1510	\$ 1.472	\$ 1.472	
240.000	\$ 0,0723	\$ 17.352	\$ 13.737	
Equilíbrio	\$ 0,0611	\$ 1.222	\$ -	
Total		\$ 20.119	\$ 15.282	
<b>Economia no mês</b>		<b>\$</b>	<b>4.837</b>	

Neste exemplo, se a economia fosse determinada por um medidor isolado (não da concessionária), há um *único preço marginal* por kWh que possa ser usado para valorar a economia para todos os meses?

Planejamento de M&V  
38

## Preço único por kWh?

Blocos de preço		Linha de base ajustada	Período de determinação da economia	Economia
kWh	Preço	270.000	200.000	70.000
250	\$ 0,2900	\$ 73	\$ 73	\$ -
9.750	\$ 0,1510	\$ 1.472	\$ 1.472	\$ -
240.000	\$ 0,0723	\$ 17.352	\$ 13.737	\$ 3.615
Equilíbrio	\$ 0,0611	\$ 1.222	\$ -	\$ 1.222
Total		\$ 20.119	\$ 15.282	\$ 4.837
Médio	\$ / kWh	\$ 0,0745	\$ 0,0764	\$ 0,0691
Marginal	\$ / kWh	\$ 0,0611	\$ 0,0723	?

\$0,0691 é o único preço que se pode aplicar aos 70.000 kWh de economia para chegar aos \$4.837.

Entretanto, não se pode obter este preço único de uma média ou bloco de preços. Ele tem que ser calculado todo mês.

Planejamento de M&V  
39

## Simplificação para preço único?

### CUIDADO!

- Opção C ou D – para usar um preço único simplificado, o consumo de cada mês deve estar na mesma faixa, e todos os extras devem ser incluídos. **É mais seguro usar a estrutura completa de preços.**
- Opção A ou B – Considerar o preço marginal com cuidado, **possivelmente assumindo algumas premissas.**

Exemplos a seguir irão utilizar as simplificações adequadas.

## Preços Extras

Também assegurar-se que o preço acordado inclui todos os encargos, como:

- demanda (elétrica ou gás)
- tarifas de ponta / fora de ponta / sazonais
- demanda mínima
- fator de potência
- perdas no transformador
- excessos e faltas
- ajustes de combustível
- impostos

## Preço para AEEs isoladas

Para os métodos de medição isolada (Opções A e B) o preço deve ser estabelecido para a energia no ponto de medição, possivelmente diferente do preço da concessionária.

Estabelecer um preço *marginal* acordado, considerando taxas extras e **perdas no sistema de distribuição** entre o medidor da concessionária e o da AEE.

Planejamento de M&V  
42

## Valor das “economias”

O estabelecimento do *Custo Evitado* (semelhante à Energia Evitada) deve normalmente usar o sistema de tarifas atual.

O estabelecimento da Economia Normalizada pode usar um sistema de tarifas fixo ou o atual.

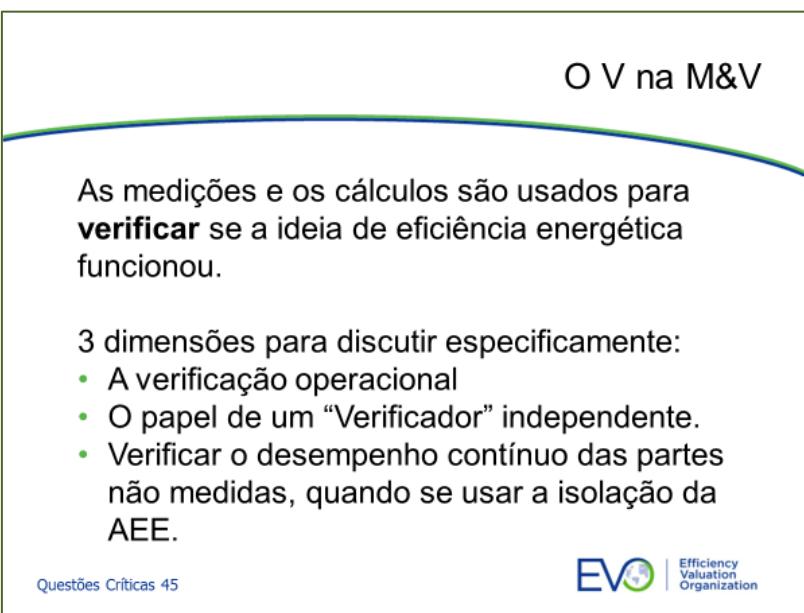
Planejamento de M&V  
43

## 5.6 Verificação

 Efficiency Valuation Organization

### O V na M&V

- Verificação operacional
- Verificação independente:  
Por que, quem, o que, quando?
- Verificação da AEE isolada



### O V na M&V

As medições e os cálculos são usados para **verificar** se a ideia de eficiência energética funcionou.

3 dimensões para discutir especificamente:

- A verificação operacional
- O papel de um “Verificador” independente.
- Verificar o desempenho contínuo das partes não medidas, quando se usar a isolação da AEE.

Questões Críticas 45



## Verificação operacional

- Atividades de verificação operacional (VO) são realizadas por meio de um abrangente comissionamento dos sistemas modificados, complementadas por atividades de aquisição de dados. Para assegurar a perenidade das economias, as VO devem ser completadas antes das atividades de verificação das economias.
- As abordagens para a verificação operacional incluem:
  - Inspeção visual
  - Medições pontuais em amostras
  - Teste de *performance* de curto prazo
  - Tendência dos dados e análise lógica do controle

Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 5.2

Critical Issues 46

## Por que uma Verificação Independente?

- Se existe uma perda de credibilidade proveniente da diferença entre os conhecimentos de energia entre as partes de um contrato de *performance*.
- Os termos de um contrato de desempenho energético com uma ESCO podem parecer (ou serem compreendidos como) interesses divergentes para as duas partes.
- Requisitos de um programa de mercado de emissões.

Questões Críticas 47

## Quem verifica?

- Um engenheiro com experiência na concepção e implementação de AEEs
- Uma pessoa confiável com experiência em M&V
- A verdadeira independência é na realidade impossível, a menos que o verificador não seja pago por nenhuma parte diretamente interessada na economia (i.e., pago pelo governo, empresa do setor energético ou programa do mercado de emissões)

Questões Críticas 48

## Verificação em um CPE

Iniciar a verificação com um estudo do Contrato de *performance* de energia (CPE).

Ele define os termos chave.

Questões Críticas 49

## Verificar o quê? – a) O Plano de M&V

Antes de se dedicar às AEEs, verificar (se):

- o registro dos dados do consumo da linha de base está completo:
  - energia
  - variáveis independentes
  - fatores estáticos
- não há viés no modelo
- a incerteza esperada dos resultados é razoável
- a concepção dos planos de medição e coleta de dados é robusta
- o plano de manutenção dos medidores

Questões Críticas 50

## Verificar o quê? – b) Relatórios de economia de energia

Verificar os relatórios de economia de energia:

- Periodicamente, após receber vários relatórios de economia de energia
- Pelo menos anualmente, para que quaisquer correções necessárias estejam dentro ou perto do período afetado.

Questões Críticas 51

## Verificar o quê? - c) ALBs

Verificar os ajustes do consumo da linha de base:

- Cada ALB deve ser revisto
- ALB envolve registros do proprietário das mudanças acordadas quanto ao uso da energia
- O proprietário necessita verificar se os dados brutos sobre as mudanças operacionais estão corretos, enquanto o verificador revê a engenharia de energia do ALB.

Questões Críticas 52

## Verificação da medida isolada

- As técnicas de medida isolada (Opções A & B) centram-se na AEE.
- O custo total da fatura de energia pode não mostrar a economia de energia, devido aos padrões do consumo além da fronteira de medição.
- Se há uma preocupação sobre a conta de energia:
  - Planejar usar a Opção C,
  - Ou
  - Estabelecer um meio de **verificação** de que todas as outras operações estão sob controle.

Questões Críticas 53

## 5.7 Aderência ao PIMVP

### Verificação da medida isolada

- As técnicas de medida isolada (Opções A & B) centram-se na AEE.
- O custo total da fatura de energia pode não mostrar a economia de energia, devido aos padrões do consumo além da fronteira de medição.
- Se há uma preocupação sobre a conta de energia:
  - Planejar usar a Opção C,
  - Ou
  - Estabelecer um meio de **verificação** de que todas as outras operações estão sob controle.

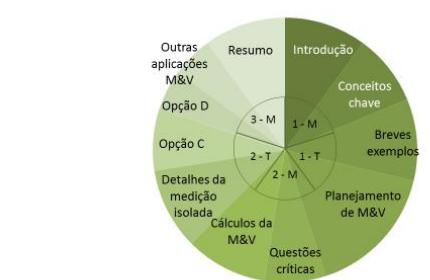
Questões Críticas 53

### Aderência – 2

- Em um Relatório de M&V, as economias devem ser apresentadas como segue:
  - Economias medidas durante o período de teste aderem ao PIMVP
  - Economias consideradas sem medição são estimativas baseadas nos dados medidos durante o período de teste
- Esta diretiva se aplica em particular às economias apuradas sob a Opção A.

Questões Críticas 55

### Próximo assunto



Questões Críticas 56

## 6 Cálculos da M&V



**Fundamentos de M&V**  
& o  
Protocolo Internacional de Medição e  
Verificação de *Performance*

Para Gestores de Energia

### Cálculos da M&V

#### Agenda

1. Introdução
2. Amostragem
3. Regressão
4. Incerteza e arredondamento

Cálculos M&V 2



### 6.1 Introdução



Efficiency  
Valuation  
Organization

1. Introdução

## Introdução

- Estatística = ferramentas para análise de dados
- Para que usar estatística?
  - Para melhor entender dados de medição
  - Para descrevê-los numa forma uniforme e consistente
  - Para tomar decisões boas e objetivas
- Estatística trabalha com **coleta, análise, interpretação e apresentação** de dados numéricos

Cálculos M&V 4

## Agenda

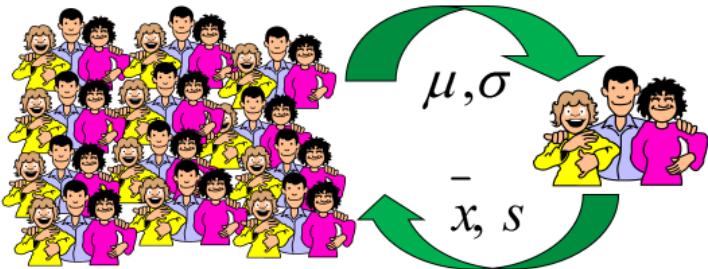
1. Introdução
2. Amostragem
3. Regressão
4. Incerteza e arredondamento

Cálculos M&V 2

## 6.2 Amostragem

### 2. Amostragem

## População e Amostra



É mais importante considerar uma amostra **representativa** do que uma amostra grande!

Cálculos M&V 7

## Amostragem

- Amostragem aleatória
  - Cada item é escolhido inteiramente ao azar e cada membro da população tem uma conhecida, porém provavelmente desigual, chance de ser incluído na amostra.
- Amostra estratificada
  - A população é segmentada (estratificada) em grupos (em latim *strata*) para reduzir a variação.

Cálculos M&V 8

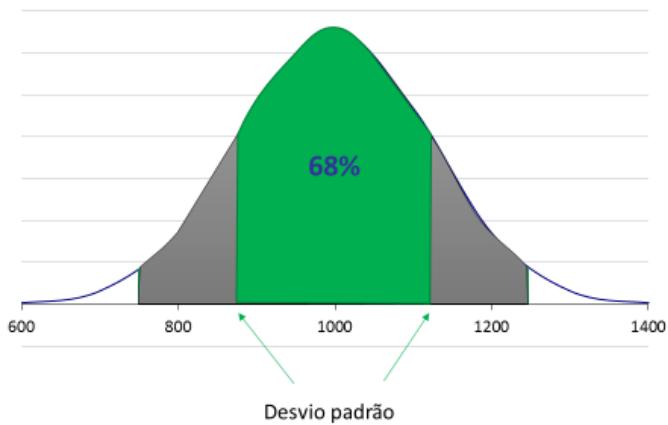
### Amostra estratificada

- Membros do grupo tão similares quanto possível
- Amostra aleatória em cada grupo
- Tamanho da amostra definido para cada grupo
- Exemplo:

Local	Fração da carga de iluminação
Escritórios	12 %
Corredores	9 %
Salas de aula	65 %
Vestiários	5 %
Auditório	9 %

Cálculos M&V 9

### Distribuição normal



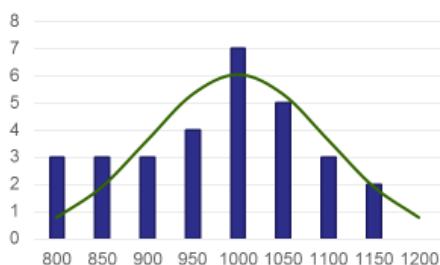
## Distribuição normal



10

## Média e desvio padrão

1156	1057	1015
800	1101	890
877	833	1049
1036	1087	1025
1077	878	960
1147	1017	1160
815	991	1011
1085	943	930
1019	995	1050
927	1101	971



$$\text{Média} = 1000$$

$$\text{Desvio Padrão} = 99$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

11

### Coeficiente de variância

$$C_v = \frac{s}{x}$$

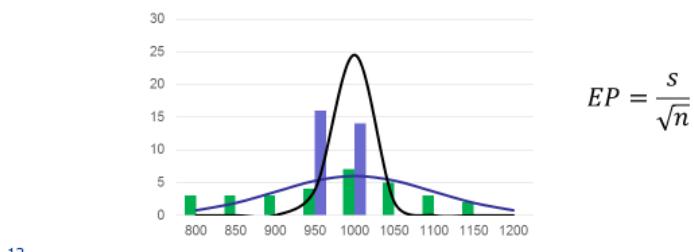
$$C_{v\%} = \frac{s}{x} \cdot 100\%$$

Auxilia muito a entender a variação relativa

Cálculos M&V 12

## Erro padrão

- Com várias amostras de 30 elementos cada:
  - a média se mantém
  - o desvio padrão fica dividido por  $\sqrt{30}$



13

## Incerteza

- Como o erro padrão é para 68% de confiabilidade, há que multiplicá-lo pela estatística  $t$  para 95%
  - $t$  varia com o número de elementos da amostra



Tabela B.1 Tabela t GL	Nível de Confiança			
	95%	90%	80%	50%
1	12,71	6,31	3,08	1,00
2	4,30	2,92	1,89	0,82
3	3,18	2,35	1,64	0,76
...	...	...	...	...
$\infty$	1,96	1,64	1,28	0,67

14

## Exercício – incerteza amostra

- Para os dados da planilha “6 - medições”, calcular:
  - Média das leituras
  - Desvio padrão das leituras
  - CV (coeficiente de variância)
  - Erro padrão
  - Incerteza (absoluta e percentual)

15

### Exercício

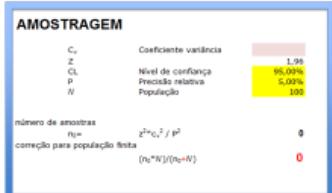
Uma AEE de troca de luminárias deve ser avaliada. Que tamanho da amostra é necessário para uma precisão de  $\pm 5\%$  com confiabilidade de 95%? Com base em experiência anterior pode-se estimar que o coeficiente de variação não deve ser maior que 30%. Um estudo piloto com 15 medições apresentou o seguinte resultado:

Ajustar o tamanho da amostra para o coeficiente de variação estimado.  
 Ajustar o tamanho da amostra para uma população de tamanho  $N = 100$ .

Amostra	Valor
1	100
2	120
3	134
4	102
5	110
6	90
7	78
8	104
9	110
10	102
11	101
12	103
13	103
14	98
15	107

Cálculos M&V 16

## Tamanho da amostra para estimar a média



$$n = \left( \frac{z \cdot CV\%}{e\%} \right)^2$$

Valor (fator de cobertura) estimado pelo nível de confiança desejado

Quase sempre desconhecido, deve ser estimado a primeira vez, medido após

Meta de precisão para a estimativa da média

Ver Estatística e Incerteza para o PIMVP 1:2014, Equação 16

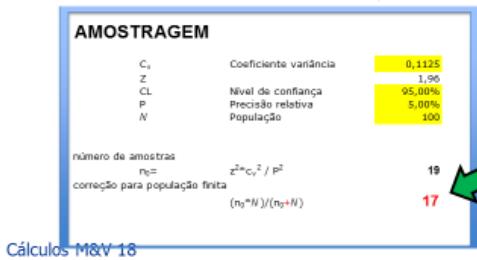
Cálculos M&V 17

## Correção para população finita

- Se mais de 5% da população for amostrada (p.e., populações pequenas), o intervalo de confiança pode ser reduzido pelo fator de correção para população finita:

$$n_{\text{red.}} = \frac{nN}{n + (N - 1)} \approx \frac{nN}{n + N}$$

- Ou o tamanho da amostra pode ser reduzido:



Ver Estatística e Incerteza para o PIMVP 1:2014, Equação 17

### Demonstração do processo de amostragem

**AMOSTRAGEM**

Z:	0,8119
Cl:	1,96
Nível de confiança:	95,00%
Máximo resumo:	20000
Repetições:	1000

Número de amostras:  $n = \frac{Z^2 \cdot Cl^2}{e^2 \cdot r^2} \cdot N$

Correção para população finita:  $(N-n)/(N-1)$

Número de amostras:  $n = 19$

Incerteza calculada:  $e = t_{\alpha/2} \cdot s / \sqrt{n}$

Incerteza calculada:  $e = 4,70\%$

Amostra N Valor

Amostra N	Valor
1	100
2	120
3	110
4	130
5	105
6	115
7	125
8	110
9	130
10	100
11	110
12	120
13	115
14	125
15	105
16	110
17	120
18	115
19	125
20	100

Média: 112,454545  
Desvio padrão: ± 11,302027  
Incerteza: 4,70%

Amostra N Valor

Cálculos M&V 19

EVO | Efficiency Valuation Organization

### O processo de amostragem

- Definir a população.
- Determinar se a população é homogênea ou heterogênea. Se heterogênea:
  - Segregar a população em grupos homogêneos.
  - Escolher entre os métodos simples ou estratificado.
- Decidir os níveis de precisão e confiança desejados.
- Estimar ou assumir  $c_v$ ; calcular o tamanho da amostra.
- Fazer as leituras.
- Calcular e relatar o  $c_v$  real e a precisão obtida.

Cálculos M&V 20

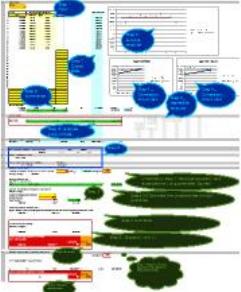
EVO | Efficiency Valuation Organization

### 6.3 Regressão

**EVO** | Efficiency Valuation Organization

### 3. Análise de regressão

Tanto a análise de regressão quanto o cálculo da incerteza serão ilustrados usando a planilha em apêndice do Plano de M&V no estudo de caso: Escola A.



**Planilha exemplo Escola A**



Cálculos M&V 22

EVO | Efficiency Valuation Organization

## Análise de regressão

- Um procedimento estatístico para achar relações entre conjuntos de variáveis
- Variável dependente:
  - Energia
- Variáveis independentes:
  - Clima
  - Ocupação
  - Volume de produção
  - Tempo
  - ...

Cálculos M&V 23

## Passos na análise de regressão

- Coletar os dados
  - Coletar dados relevantes
  - Verificar relevância
  - Digitar dados
- Dados na tela
  - Verificar as somas
- Verificar o gráfico da energia e ciclo

Passo 1

Passo 2

Passo 3

Cálculos M&V 24

## Passos na análise de regressão – 2

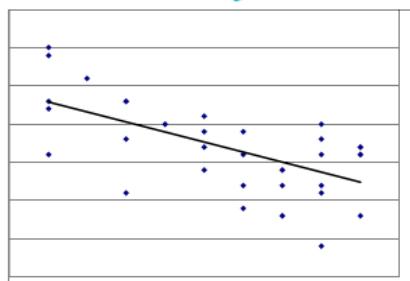
- Gráfico de dispersão
  - Representação gráfica dos dados
- Correlação
  - Medida da grandeza e da direção da relação entre as variáveis
- Regressão
  - Um modelo para prever uma variável a partir de outra(s) variável(is).

Cálculos M&V 25

## Gráfico de dispersão

- Mostra visualmente:
  - A grandeza da relação entre duas variáveis
  - A direção da relação entre as duas variáveis
  - Relação linear ou não linear
  - Existência de pontos fora da curva

Passo 4



Cálculos da M&V  
26

### Correlação

Passo 4

- A correlação verifica apenas a grandeza da associação entre duas variáveis.
- Correlação não implica em efeito causal.

Cálculos M&V 27

### Análise de regressão

Passo 5

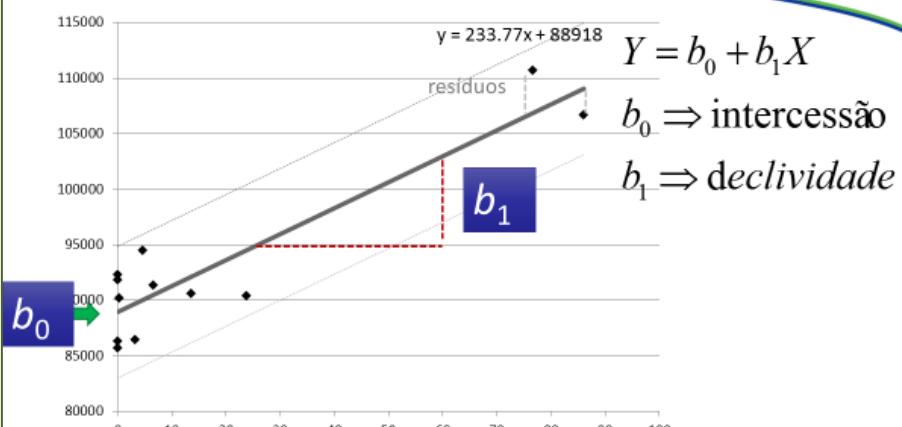
- Regressão linear  
$$Y = b_0 + b_1 X_1$$
- Regressão linear múltipla  
$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k$$
- Modelo não linear  
$$Y = f(X)$$

A equação da regressão linear fornece uma estimativa da regressão linear da população.

Cálculos M&V 28

## Modelo de regressão linear

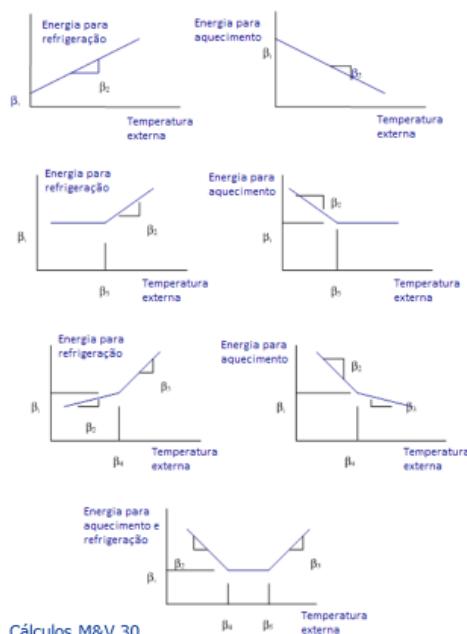
Passo 5



Cálculos M&V 29

## Outros modelos de regressão lineares

Os 5 modelos inferiores são  
modelos de regressão  
segmentados



Cálculos M&V 30

Passo 5

## Exemplo de regressão linear

Passo 5

Criar um modelo de regressão linear a partir dos dados de consumo de energia:

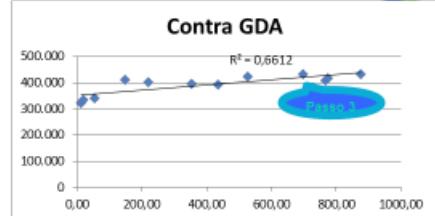
Data da leitura	Graus	Consumo
	Dias	Gás
05/02/2008	Aquecimento	mcf
05/03/2008	650	210.692
07/04/2008	440	208.664
06/05/2008	220	157.886
05/06/2008	150	120.793
07/07/2008	50	116.508
07/08/2008	20	107.272
05/09/2008	14	95.411
06/10/2008	29	126.423
06/11/2008	125	149.253
04/12/2008	275	166.202
06/01/2009	590	221.600
05/02/2009	723	224.958
<b>Total</b>	<b>3.286</b>	<b>1.905.662</b>

Cálculos M&V 31

## Regressão linear com o Excel

Passo 5

- Criar um gráfico de correlação usando um gráfico de dispersão
- Criar uma linha de tendência
- Tentar configurar uma função PROJ.LIN e explorar os elementos dos dados calculados (ver a ajuda do Excel para PROJ.LIN)



kWh	GDA lb	dias	b1	b0	declividade	interseção
321.120	12,70	0,00	3273,95357	56.593008	325429,784	
335.520	19,40	6,00	587,299641	13.6296452	7499,38804	
412.560	147,60	20,00	0,92391779	11897,5008	#N/D	
394.560	353,40	20,00	54.6465473	9	#N/D	
424.080	526,70	20,00	Sqreg, Sqresid	1,547E+10	1273954721	#N/D
409.680	787,50	15,50				
431.280	876,00	14,00				
418.320	773,70	18,00				
433.440	696,80	17,00				
393.120	436,30	15,00				
401.760	220,90	17,50				
339.840	54,20	0,00				

Cálculos M&V 32

Passo 5

## Régressão linear simples x múltipla

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

- Uma variável dependente  $Y$  predita por uma variável independente  $X$
- Um coeficiente de regressão
- $R^2$ : proporção de variação na variável dependente  $Y$  predizível a partir  $X$
- Uma variável dependente  $Y$  predita por um conjunto de variáveis independentes ( $X_1, X_2, \dots, X_k$ )
- Um coeficiente de regressão para cada variável independente
- $R^2$ : proporção de variação na variável dependente  $Y$  predizível a partir de conjunto de variáveis independentes ( $X$ )

Cálculos da M&V  
33

### Grau de correlação Coeficiente de determinação

Passos  
4,5,6

- Coeficiente de correlação de Pearson  $r$ : uma medida do grau no qual duas variáveis estão linearmente relacionadas

$$-1 \leq r \leq 1$$

- Coeficiente de determinação  $R^2$ : ( $> 0,75$ )
- Coeficiente de variação do erro médio quadrático:  $CV_{EMQ}$  : ( $< 20\%$ )

*Ambos  $R^2$  e  $CV_{EMQ}$  são bons indicadores da qualidade do modelo*

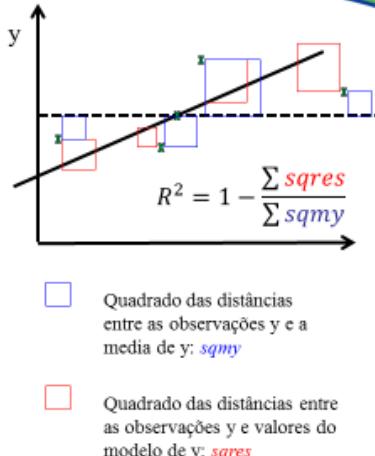
Cálculos M&V 34

## Grau de correlação Coeficiente de determinação

Passos  
4, 5, 6

- $R^2$ , o coeficiente de determinação:
  - Quantifica a proporção da variação em um conjunto de dados explicada pelo modelo estatístico.
  - Quanto mais o modelo se aproximar dos dados em comparação com a média, mais o valor será perto de 1.
  - Se  $R^2$  é 0,9 pode-se dizer que 90% da variação de Y pode ser descrita pelo modelo.
  - $R^2$  é impróprio para qualificar modelos com baixas declividades (quando estão perto da média) e portanto não deve ser usado para qualificar a dispersão das observações.

Cálculos M&V 35

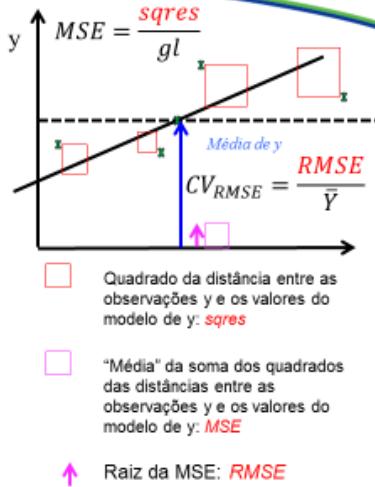


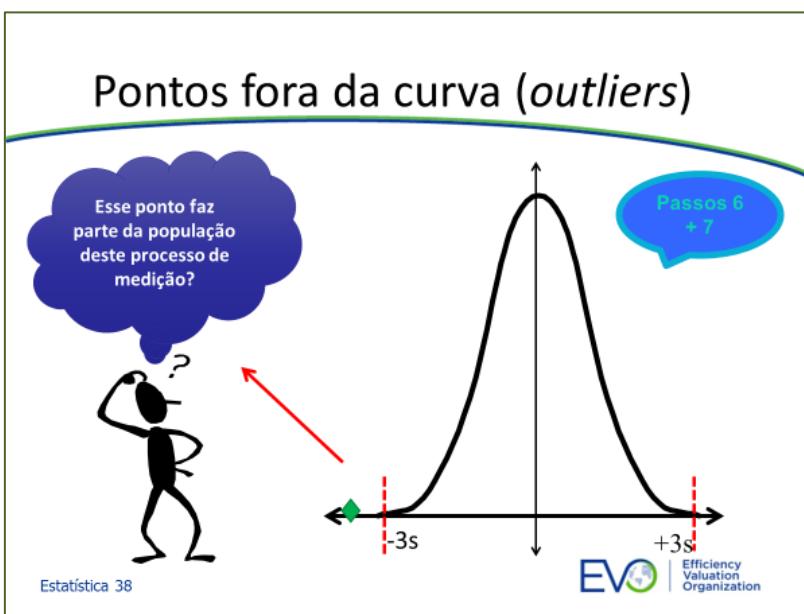
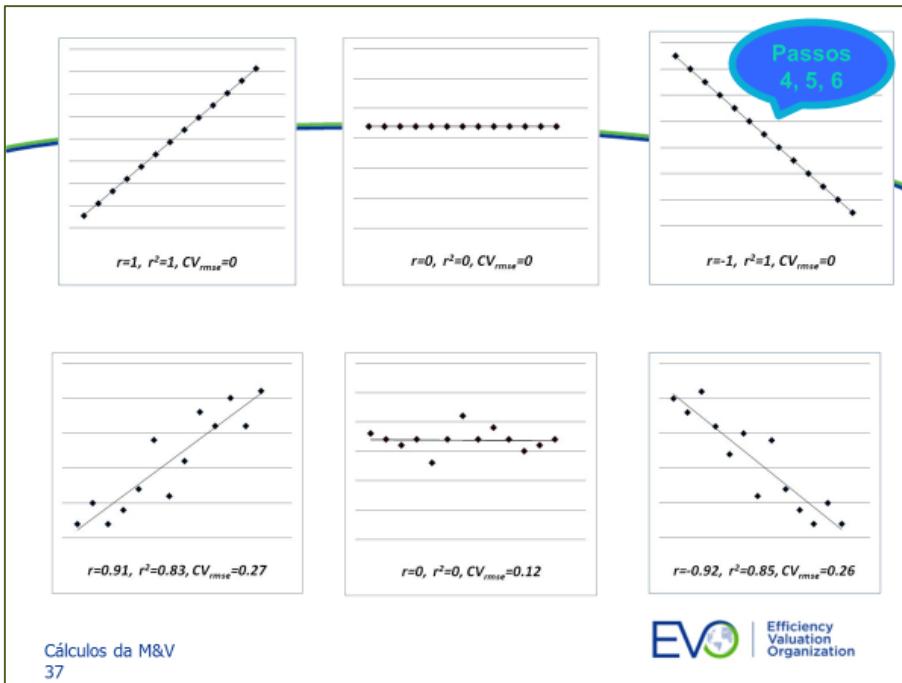
## Grau de correlação Coeficiente de variação do EMQ

Passos  
4, 5, 6

- $CV_{EMQ}$  é um indicador diferente, embora similar
  - Ele calcula a proporção entre a dispersão das observações (erro médio quadrático – EMQ) e a média da variável dependente.
  - Quanto mais o  $CV_{EMQ}$  for próximo de 0, mais o modelo se aproxima das observações.
  - Se o  $CV_{EMQ}$  for 0,20, pode-se dizer que o erro do modelo em relação à média é 20%.

Cálculos M&V 36

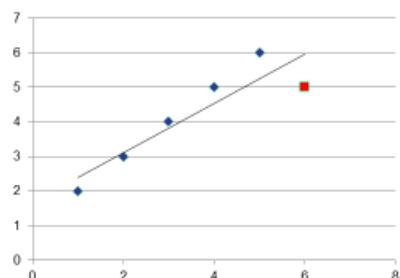
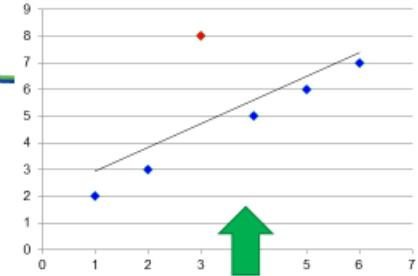
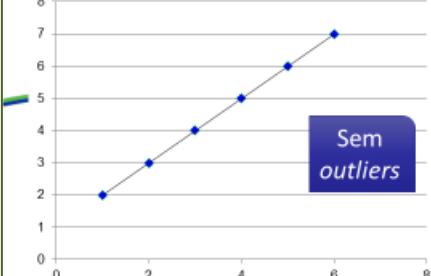




## Pontos fora da curva (*outliers*) – 2

- O *outlier* é uma observação numericamente distante do restante dos dados.
- Ele pode alterar as estatísticas:
  - Pode enviesar a média numa amostra pequena ou muito extrema;
  - Pode aumentar o desvio padrão;
  - Numa regressão pode alterar a declividade, a interseção ou o  $R^2$

Cálculos M&V 39



Um *outlier* no meio do intervalo vai enviesar a interseção.

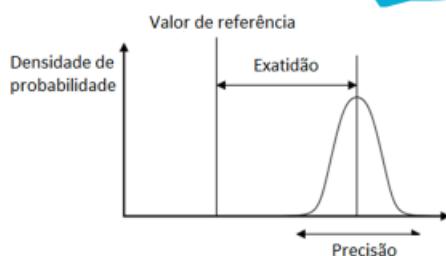
Alavancagem alta – vai afetar tanto a declividade quanto a interseção.

Cálculos da M&V  
40

## Verificação do viés

Passo 7

Executar uma verificação de viés permite, em princípio, ter certeza de que a soma dos valores previstos coincide com os valores observados para os dados de referência. Esta tendência (ou precisão sobre o consumo de energia no período previsto) deve ser inferior a 0,005%



*Uma técnica fácil de executar este teste é calcular o modelo com os dados observados e somar os valores previstos no mesmo período. A diferença entre esta soma e o total observado deve ser, em termos relativos, menor que 0,005%.*

Cálculos M&V 41

## Testes de validação do modelo de regressão

- Um modelo de regressão simples ou múltiplo baseado no método dos mínimos quadrados supõe algumas hipóteses básicas para ser verdadeiro. Alguns testes ajudam a validar que o modelo prove uma boa descrição da realidade. Alguns **testes** são detalhados em um curso separado.
- Ter cuidado ao usar o EMQ em alguns cálculos. Em caso de dúvida, prefira ser conservativo.
- Dúvida: muitos *outliers*,  $R^2$  perto do limite,  $CV_{EMQ}$  acima de 10%.

Cálculos M&V 42

## 6.4 Incerteza e arredondamento

### 4. Incerteza e arredondamento

#### 6.4.1 Incerteza

##### Incerteza: um ponto chave da M&V

- Equilibrando incerteza e custo:
  - O que é incerteza?
  - Como se expressa a incerteza?
  - Como se estima a incerteza?

*Em última instância, a incerteza tem a ver com a confiabilidade...*

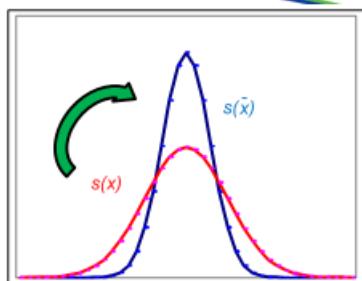
## Incerteza e Confiança

- O Plano de M&V (Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Capítulo 7.11) deve indicar a precisão esperada com *medidas, coleta de dados, amostragem e análise de dados.*
  - Esta avaliação deve incluir a determinação qualitativa e quantitativa viável do **intervalo de confiança** dentro do qual se espera estar o valor verdadeiro da economia.
  - É também requisitado estabelecer o nível de confiança: a probabilidade dos resultados/medidas da economia estarem dentro do intervalo de confiança (*curso avançado de M&V*).
- Vamos ver um exemplo.

Cálculos M&V 45

## Desvio padrão amostral da média

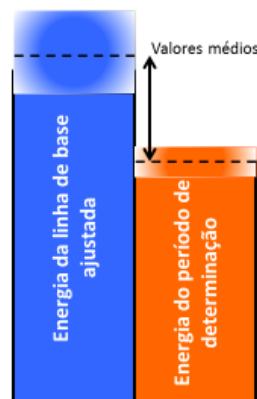
- Sinônimo: **Erro padrão (da média)** (PIMVP: EP)
- Representa a variação associada à média. É menor que o desvio padrão da amostra porque estima a variação das médias, que tende a ser mais "concentrada" e menos dispersa que a população original do qual foi derivada.
- A equação ao lado indica que o erro da amostragem cai com o aumento da amostra.
- Isto é importante porque sugere que, se queremos que o erro da amostragem seja o menor possível, temos que usar a maior amostra que possamos gerenciar.



$$s(\bar{x}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Cálculos M&V 46

## Incerteza e confiança

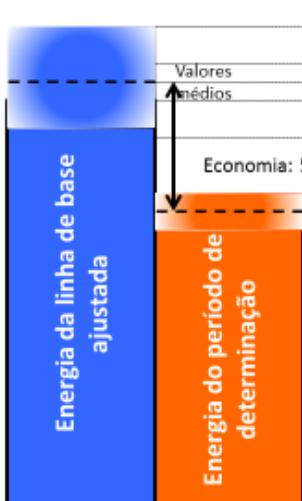


**Economia = (Energia da linha de base – Energia do período de determinação) +/ - Ajustes de rotina +/ - Ajustes não de rotina**

Considere um consumo da linha de base ajustado de 200 unidades e uma economia garantida de 50. O desvio padrão relativo do modelo da linha de base ajustada é, digamos, 5% e o da medição da energia do período de determinação da economia é 1,0%.

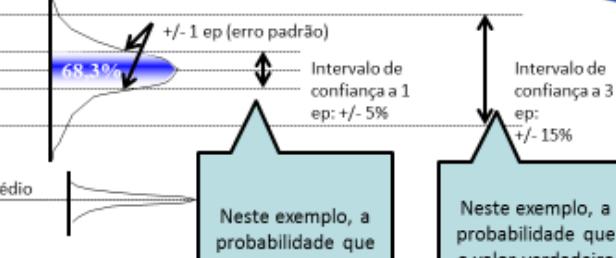
Cálculos M&V 47

## Níveis e intervalos de confiança



**Estatística e Incerteza para o PIMVP 2014 - 1.1**

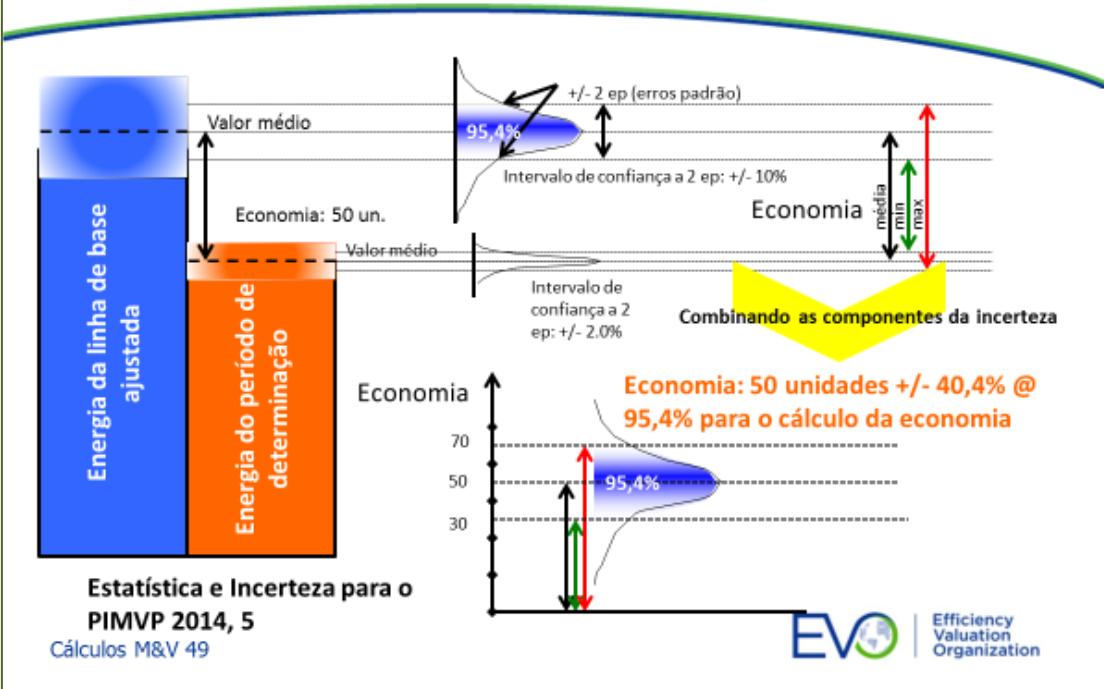
Cálculos M&V 48



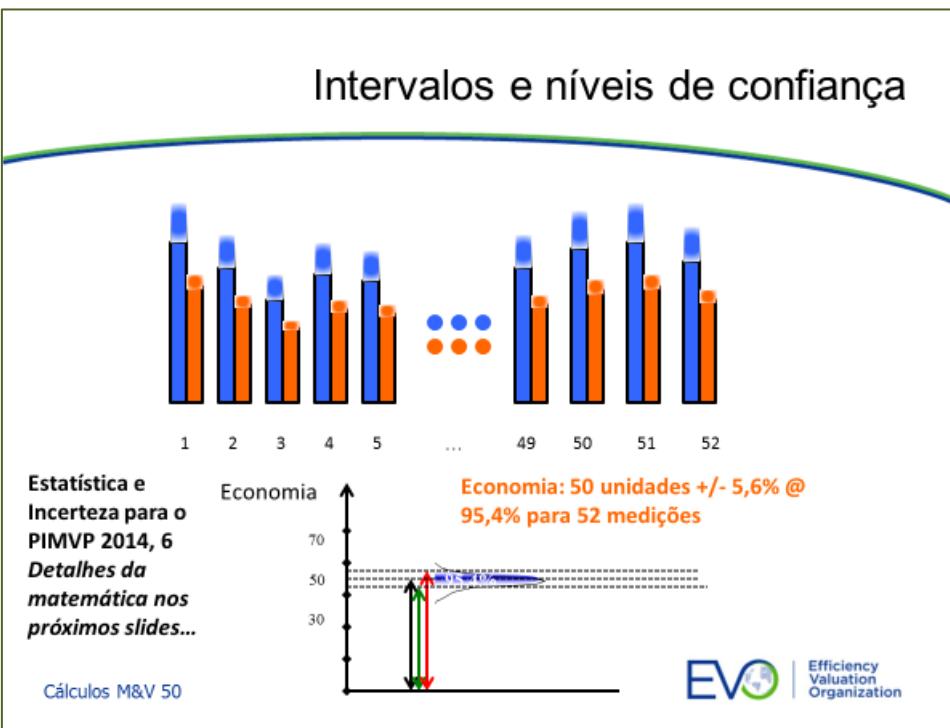
Neste exemplo, a probabilidade que o valor verdadeiro da energia que teria sido consumida sem as AEEs se aproxime da média dentro de  $\pm 5\%$  é 68,3%.

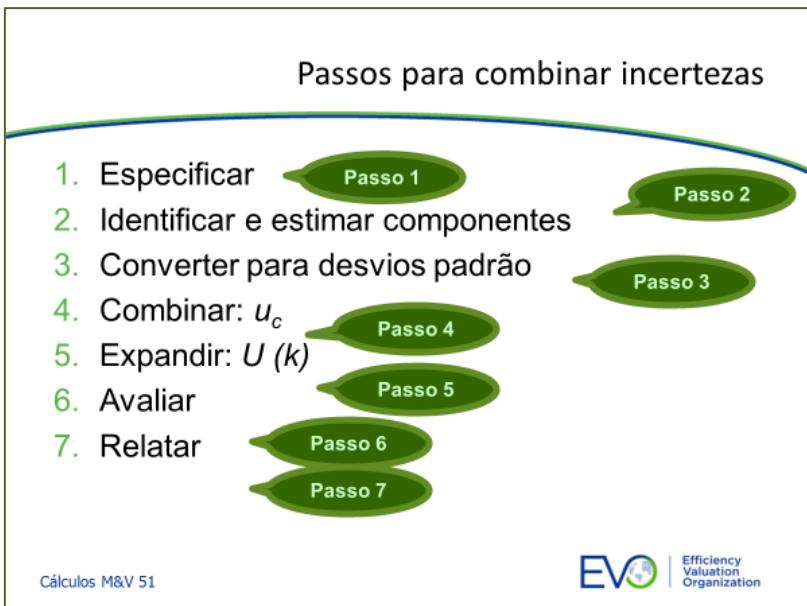
Neste exemplo, a probabilidade que o valor verdadeiro da energia que teria sido consumida sem as AEEs se aproxime da média dentro de  $\pm 15\%$  é 99,7%.

## Níveis e intervalos de confiança



## Intervalos e níveis de confiança





### Passo 1: Considerar a equação da economia

Passo 1

- Uma formula matemática que mostra todas as “entradas” necessárias para se obter o resultado da medição:

$Economia\ de\ energia = E_b - E_d$

→

$y = x_1 - x_2$

Variáveis de entrada ( $x_i$ ):

$E_b$  – energia da linha de base ajustada

$E_d$  – energia do período de determinação da economia (ajustada)

Cálculos M&V 52

Efficiency Valuation Organization

## Passos 2-3: Estimar a incerteza das “entradas”, $u$

- Se forem estimadas por métodos estatísticos (p. ex., por equação de regressão), usar os erros padrão da estimativa relevantes
- Se não, aplicar métodos não estatísticos, baseados em distribuições *a priori* e:
  - Dados anteriormente medidos
  - Experiência e conhecimento
  - Especificações do fabricante
  - Dados de calibração

Passos  
2, 3

Cálculos M&V 53

## Passo 4: Combinação

- Para conseguir-se uma incerteza do resultado final, as incertezas das componentes de entrada devem ser combinadas.

Passo 4

Estatística e Incerteza para o PIMVP 1:2014, Capítulo 5

Cálculos M&V 54

## Como combinar incertezas? Caso especial simples 1

- Se a função modelo  $f$  for uma soma ou diferença das quantidades de entrada  $X_i$ , somar as incertezas padrão em quadratura.

Passo 4

$$y = x_1 \pm x_2 \pm x_3 \pm \dots$$

$$u_c = \sqrt{u_{x_1}^2 + u_{x_2}^2 + u_{x_3}^2 + \dots}$$

Estatística e Incerteza para o PIMVP 1:2014, Capítulo 5, Equação 19

Cálculos M&V 55

## Como combinar incertezas? Caso especial simples 2

- Se o mesurando da equação consiste inteiramente de multiplicações e divisões, as incertezas padrão relativas podem ser somadas em quadratura

Passo 4

$$y = \frac{x_1 \cdot x_2}{x_3}$$

$$\frac{u_c}{y} = \sqrt{\left(\frac{u_{x_1}}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{u_{x_2}}{x_2}\right)^2 + \left(\frac{u_{x_3}}{x_3}\right)^2}$$

Estatística e Incerteza para o PIMVP 1:2014, Capítulo 5, Equação 20

Cálculos M&V 56

## Passo 5: Calcular a incerteza expandida $U$

- Uma incerteza expandida quantifica quando um resultado da medição (individual ou combinado) vai se desviar do mesurando com uma **determinada probabilidade**.
- A fórmula é:

$$U = k \cdot u_c$$

Passo 5

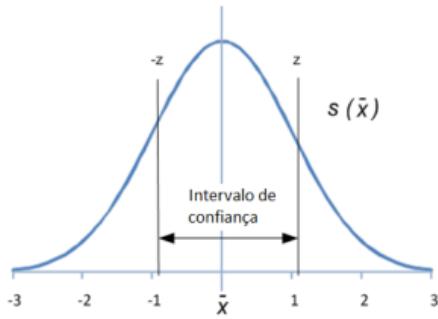
- O fator de cobertura  $k$  depende da probabilidade de cobertura e distribuição atribuída ao mesurando

Estatística e Incerteza para o PIMVP 1:2014, Capítulo 1.3: Precisão

Cálculos M&V 57

## Passo 5: Calcular a incerteza expandida $U - 2$

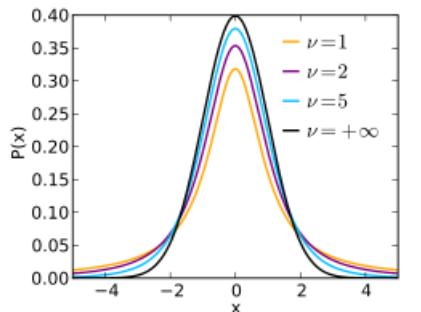
K: valores z ou valores t	Nível de confiança
1	68,3 %
1,64	90 %
1,96	95 %
2	95,4%
3	99,7 %
6	99,9999998 %



Cálculos M&V 58

## Passo 5: Calcular a incerteza expandida U – 3

- Quando o número de observações for menor que 100, a distribuição normal pode não refletir a distribuição correta dos erros.
- Em princípio, deve-se achar a distribuição adequada a ser usada
- No entanto, frequentemente, se a distribuição tem a forma de sino, pode-se usar a família de distribuições de Student.

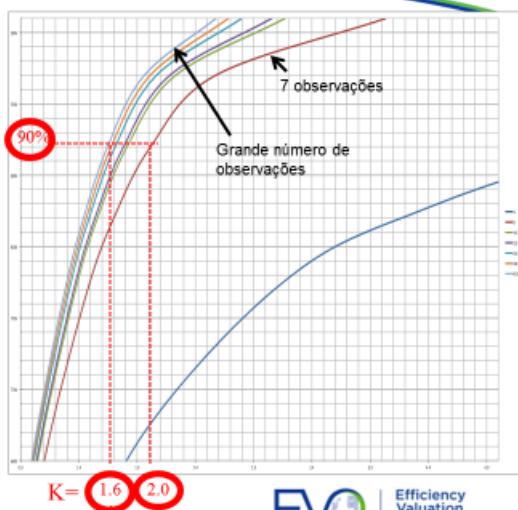


Distribuições t de Student para diferentes graus de liberdade. Ver também Estatística e Incerteza para o PIMVP 2014 Tabela 1

Cálculos M&V 59

## Passo 5: Calcular a incerteza expandida U – 4

- Extrair da função cumulativa de algumas distribuições t de Student para 1 parâmetro:
- A curva marrom à direita mostra o fator de cobertura k a ser usado, para um determinado nível de confiança, para 7 observações
- A curva cinza, na extrema direita, mostra o fator k de cobertura a ser usado, para um determinado nível de confiança, para aproximadamente 8760 observações (distribuição Normal)



Cálculos M&V 60

## Passo 6: Avaliação

- É razoável? Faz sentido?
- Os cálculos foram feitos corretamente?
- Todos os componentes foram incluídos?
- Que componente tem a maior contribuição?
- A incerteza deve ser reduzida para atender a alguma necessidade?

Passo 6

Cálculos M&V 61

## Passo 7: Relatar a incerteza

Passo 7

- Resultado  $\pm$  Incerteza Expandida
- Colocar em apêndice do Plano de M&V:
  - Componentes da incerteza
  - Tipo de avaliação (calculada ou estimada)
  - Como foram combinadas
  - Nível de confiança ( $p$ )
  - Fazer referência a Estatística e Incerteza para o PIMVP EVO 10100 - 1:2014

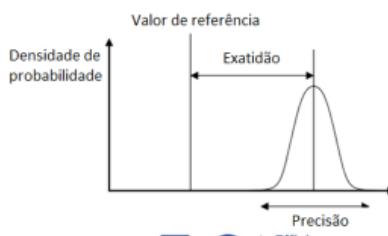
Cálculos M&V 62

### 6.4.2 Arredondamento

#### Arredondamento

- Em ciência e engenharia, a convenção reza que a menos que uma margem de erro esteja explicitamente declarada, o número de dígitos significativos usados em uma apresentação de dados deve ser limitado ao que for **garantido pela precisão\*** desses dados.

\*Precisão refere-se à estabilidade da medição, quando repetida seguidas vezes, enquanto exatidão refere-se à proximidade do valor verdadeiro.



Cálculos M&V 63

#### Arredondamento – 2

- Os valores numéricos da incerteza padrão  $u_c(y)$  e da incerteza expandida  $U$  devem ser expressos com o **número apropriado** de dígitos significativos: *simplesmente o número de dígitos que são conhecidos com algum grau de confiabilidade.*
- As estimativas da variável de saída ( $y$ ) e das variáveis de entrada ( $x_i$ ) devem ser arredondadas para ser consistentes com estas incertezas.
- Arredondar os resultados finais, não os intermediários.

Cálculos M&V 64

#### Próximo assunto



Cálculos M&V 65

## 7 Detalhes da medição isolada

### Fundamentos de M&V & o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance

Para Gestores de Energia

#### Detalhes da Medição Isolada

##### Isolação da AEE - Programa

- Revisão do Método
- **Opção B**
  - Exemplo Detalhado
  - Questões
- **Opção A**
  - Exemplo Detalhado
  - Questões

Medição Isolada 2

#### 7.1 Revisão do Método

##### Isolação da AEE Opções A & B - Método

Isolar o consumo de energia das AEEs  
do resto da instalação.

O uso da energia fora da fronteira de  
medição não afeta a economia  
**determinada**, porém pode afetar a  
economia **real**.

Medição isolada 3

## Isolação da Medida Opções A & B – Método – 2

Efeitos interativos devem ser avaliados durante a fase de projeto da M&V para verificar se são significativos.

- Se não forem, podem ser ignorados.
- Se forem significativos:
  - A fronteira de medição deve ser alargada para os incluir
  - Medições adicionais podem ser feitas para os levar em consideração.

Medição isolada 4

### 7.2 Opção B

#### Opção B Passo 1 (abrangência)

- Escolher a localização da *fronteira de medição* (local dos medidores de isolamento)
- Estimar os *efeitos interativos* além da fronteira
- Decidir que *variáveis independentes* afetam o uso da energia
- Projetar o sistema de medição
- Escolher o período da linha de base

Medição isolada 5

### 7.2.1 Exemplo Detalhado

#### Opção B Novo Exemplo

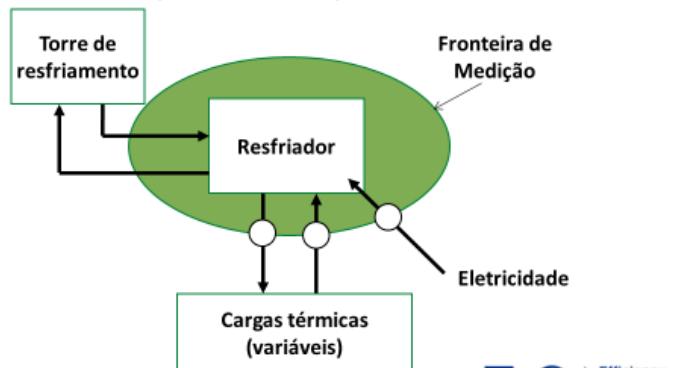
Um novo resfriador (*chiller*) substitui um antigo (as temperaturas da torre de resfriamento e da entrada de água no condensador não mudaram).

- O consumo de eletricidade é afetado principalmente por: a) carga da água gelada, e b) rendimento do resfriador.
- Haverá alguma redução na energia da torre de resfriamento, devido à menor rejeição de calor. Este efeito interativo será ignorado, para simplificar o exemplo.

Medição isolada 6

#### Fronteira de Medição

Medição da energia da água gelada e eletricidade para o compressor.



Medição isolada 7

### Período da linha de base

O período da linha de base será um *teste de performance* do antigo resfriador, imediatamente antes da sua retirada.

Medição isolada 8



### Opção B Passo 2 (Bases)

Foi decidido reestabelecer a *performance* da linha de base (antigo resfriador) nas condições do período de determinação da economia.

Esta base de ajustes relatará a economia de energia como “uso evitado de energia” ou “custo evitado”.

Medição isolada 9



### Opção B Passo 3 (Dados da linha de base)

- Instalar medidores de energia térmica e de eletricidade
- Calibrar os medidores
- Coletar as características operacionais da operação completa do antigo resfriador – carga horária média (TR) e kW.

Medição isolada 10



## Opção B Passo 3 (Dados da linha de base)

Dados obtidos de várias semanas de teste:

TR	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
kW medidos	290	350	400	360	400	390	430	420	570	540	620	600	600	750	750

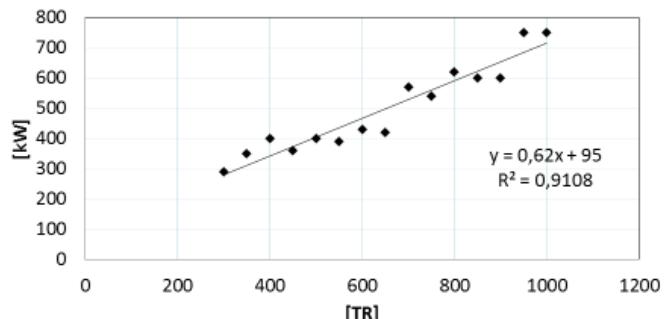
Para referência posterior:

- Total de carga de refrigeração = 9.750 TR
- Total de potência média medida = 7.470 kW

Medição isolada 11

## Opção B Passo 4 (Modelo)

Estabelecer a relação da linha de base energia – carga por análise de regressão:



Medição isolada 12

## Opção B Passo 4 (avaliar o modelo)

- Avaliar a incerteza, i.e., a dispersão dos dados da reta de tendência
- $R^2 = 91\%$  está bom.
- Se  $R^2$  for menor que 75% e/ou  $C_v(\text{EMQ}) > 20\%$ , considerar:
  - fazer mais leituras
  - melhorar a precisão/repetibilidade do medidor de carga térmica (pena se já comprou um),
  - adicionar mais variáveis, como temperatura externa ou temperatura de bulbo úmido (se usar torre de resfriamento),
  - tentar uma equação de segunda ordem (com cuidado).

Medição isolada 13

## Opção B Passo 5 (verificação de viés)

Verificar o **viés** do modelo matemático como segue:

- Usar o modelo matemático para projetar o uso total de eletricidade para os 15 períodos de teste de carga térmica.
- Já que o total foi **9.750 TR**, um cálculo rápido é:  

$$\begin{aligned} &= (0,62 * 9.750) + (95 * 15) = \\ &= 6.045 + 1.425 = \\ &= 7.470 \text{ kW} \end{aligned}$$
- Total real das leituras de eletricidade = 7.470 kW
- Então o viés é de 0 kW (0,0000%) → **O modelo está OK ✓**

(o critério da ASHRAE é que o viés seja < 0,005%)

Medição isolada 14

## Opção B Passo 6 (Projeção)

- Substituir o resfriador.
- Medir e registrar a carga de refrigeração média horária (TR) e a carga elétrica (kW) no novo resfriador.
- Inserir os novos dados de carga térmica – variável independente – no modelo matemático do resfriador antigo:

$$kW = 0,62 * TR + 95$$

para projetar qual teria sido o consumo mensal em kWh (e demanda em kW) com o antigo resfriador nas condições atuais.

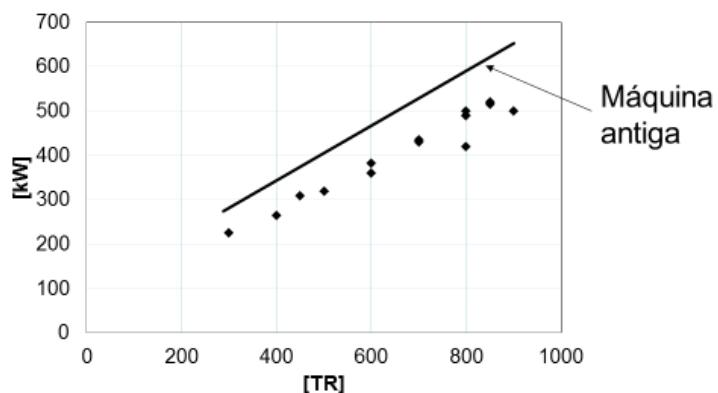
Medição isolada 15

## Opção B Passo 6 (Projeção) para um dia

Data/hora 23/jul/09	Nova Máquina		Máquina antiga			Econo mia	
	Dados determinação reais		Eletricidade projetada (kW)				
	kW	Carga	Fixo	Variável	Total		
06:00	500	900	95	558	653	153	
07:00	420	800	95	496	591	171	
08:00	225	300	?	?	?	?	
09:00	265	400	95	248	343	78	
10:00	310	450	95	279	374	64	
11:00	320	500	95	310	405	85	
12:00	382	600	95	372	467	85	
13:00	435	700	95	434	529	94	
14:00	500	800	95	496	591	91	
15:00	490	800	95	496	591	101	
16:00	520	850	95	527	622	102	
17:00	515	850	?	?	?	?	
18:00	490	800	95	496	591	101	
19:00	430	700	95	434	529	99	
20:00	360	600	95	372	467	107	
21:00	295	500	95	310	405	110	

Medição isolada 16

## Opção B Passo 6 (Projeção)



Medição isolada 17

## Opção B Passo 7 (ALB)

- Ao menos anualmente, rever os Fatores Estáticos para assegurar que o consumo da linha de base ainda é apropriado (p. ex., dificuldades na torre de resfriamento podem ter aumentado a temperatura média de condensação).
- Se necessário, recalcular: dados da linha de base, modelo matemático, e projetar o consumo.

Supor-se-á que não há ALB neste exemplo.

Medição isolada 18

## Opção B Passo 8 (Economia em kW)

Para achar a redução da demanda em julho, determinar:

- o período da maior demanda da instalação – 29 de julho, 15:45 – 16:00
- a carga térmica neste período – **1.000 TR**
- a potência média do *chiller* neste período – **616 kW**

A **1.000 TR**, o modelo da linha de base projeta **715 kW** para o antigo resfriador. Então a redução da demanda para julho é de  $715 - 616 = \mathbf{99 \text{ kW}}$ .

E o contrato de demanda?

Medição isolada 20

## Opção B Passo 9 (Valor)

Julho.2009	Economia	Preço marginal (\$)	Valor (\$)
Consumo	55.240 kWh	0,0723	3.993,85
Demandra	99 kW	12,57	1.244,43
<b>Total</b>			<b>5.238,28</b>

Nota: Qual é uma forma melhor de expressar a economia?

Retrofit Isolation  
21

### 7.2.2 Questões da Opção B

#### Questões da Opção B - Medição

- Colocar medidores em um ponto que minimize os efeitos (interativos) não medidos da energia com sistemas além da fronteira
- Precisão dos medidores
- Custo de manutenção dos medidores
- Como lidar com dados faltantes
- Sincronização da demanda com medidor da concessionária

Medição isolada 22

### 7.3 Opção A

#### Opção A Medição de Parâmetros Chave

- Somente requer a medição de parâmetros chave – i.e., alguma estimativa (admissão) é permitida.
- Medir os parâmetros *chave*, estimar os demais onde:
  - erros plausíveis não afetarão significativamente a economia relatada, OU
  - os fatores estimados não são da responsabilidade da entidade cuja performance está sendo avaliada pela M&V.
- Tem-se que avaliar o impacto de possíveis erros devidos às estimativas.

Em todos os outros aspectos, a Opção A é igual à Opção B.

Medição isolada 23

### 7.3.1 Exemplo Detalhado

#### Opção A Exemplo

Como no anterior, um novo resfriador (*chiller*) elétrico substitui um antigo.

(A análise será feita de forma diferente em alguns aspectos, somente para mostrar que há muitas maneiras de analisar uma dada situação)

Medição isolada 24

#### Opção A Passo 1 (abrangência)

- Decidir que variáveis afetam a economia anual de energia:
  - rendimento do resfriador
  - carga de refrigeração anual do resfriador (TR-horas)
- Considerar se os valores plausíveis de ambas as variáveis fazem de uma delas o fator *chave* para determinar possíveis erros.

Medição isolada 25

## Opção A Passo 2 (Admissão)

- O rendimento do resfriador foi escolhido como parâmetro chave, por uma ou ambas as razões:
  - A razão da variação plausível no rendimento do resfriador é a maior
  - A melhora no rendimento do resfriador é o objetivo da AEE
- Assim:
  - **medir** a mudança no rendimento do resfriador
  - **admitir** que a carga anual do resfriador é de 2.000.000 TR.h (também se estima o perfil da carga: horas a cada nível de carga e o pico de carga para cada mês de operação)

Medição isolada 26

## Opção A Passo 3 (Projeto de medição)

- Para medir com imparcialidade, medir o novo e antigo resfriadores com o mesmo medidor, no mesmo local.
- Planejar dois testes de rendimento:
  - no antigo resfriador antes da remoção
  - no novo resfriador depois da instalação e comissionamento.

Medição isolada 27

### Opção A Passo 3 (Projeto de medição)

- Escolher os medidores necessários para a isolação da medida:
  - energia térmica da água gelada (TR)
  - eletricidade para o compressor (kW)
- Projetar o sistema de medição:
  - registrador digital de potência valor eficaz verdadeiro (*true RMS*) (não interno ao *chiller*). Custo US\$1.000.
  - registrar a energia térmica com um medidor de vazão ultrassônico tipo *clamp-on* e sensores de temperatura independentes na superfície do tubo. Calibrar antes da instalação. Custo US\$5.000.

Medição isolada 28

### Opção A Passo 3 (Projeto de medição)

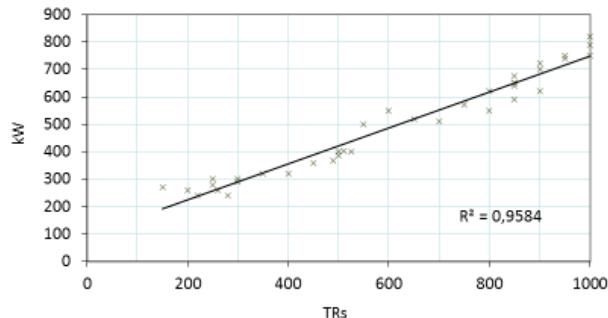
#### Precisão dos medidores:

- Medidor térmico: **+/- 1,0% da leitura**  
na faixa de 200 - 900 TRs
- Eletricidade: **+/-0,5% fundo de escala**  
1.000 kW  
(= **+/-5 kW**)
  - faixa de leitura esperada 150 a 800 kW
  - precisão real de **+/- 0,6% a +/- 3,3%**

Medição isolada 29

## Opção A Passo 4 (linha de base)

Medir a performance do resfriador antigo e plotar.



R<sup>2</sup> foi calculado somente para avaliar o comportamento dos dados.

Medição isolada 30

## Opção A Passo 4 (linha de base)

Determinar o kW e kW/TR médios para cada faixa de carga ou 'bloco'.

TR	kW médio	kW/TR	COP	Tempo	Produto
200	250	1,250	2,8	5%	0,0625
300	290	0,967	3,6	20%	0,1933
400	315	0,788	4,5	20%	0,1575
500	375	0,750	4,7	15%	0,1125
600	435	0,725	4,9	15%	0,1088
700	505	0,721	4,9	10%	0,0721
800	600	0,750	4,7	5%	0,0375
900	700	0,778	4,5	5%	0,0389
1000	805	0,805	4,4	5%	0,0403
Média			100%	0,823	

Média kW/TR resfriador antigo = **0,823**

Medição isolada 31

## Opção A Passo 4 (linha de base)

kW	TR	Data	Hora
244,9148	152	07/05/2006	09:30:56
245,903	158	07/05/2006	10:15:10
...			
246,5858	162	09/05/2006	08:35:20
256,277	210	09/05/2006	09:45:00
255,1385	205	09/05/2006	09:00:12
...			
261,6428	232	06/06/2006	11:02:20
...			
245,4035	155	05/06/2006	09:20:54
...			
244,9148	152	17/06/2006	08:40:00
...			
248,009	170	07/07/2006	12:00:50
246,242	160	07/07/2006	11:45:30
...			
259,8725	225	17/07/2006	10:12:00

Medição isolada 32

Estabelecer o kW médio e kW/TR médio em cada bloco

O método por bloco foi desenvolvido baseado nos dados históricos. A coleta de dados pode ser feita usando-se blocos de carga, criados a partir do registro horário de cargas estreitamente relacionadas. Os registros históricos dentro de cada bloco são coletados e distinguidos pelo valor médio do intervalo.

Dados extraídos do histórico para o primeiro bloco de 200 TR (150-250 TR), amostras 5'

## Opção A Passo 5 (avaliação do modelo)

Os dados do teste de performance do *chiller* antigo se ajustam à linha de tendência com  $R^2 = 96\%$ .

A dispersão dos dados dão uma certeza aceitável.

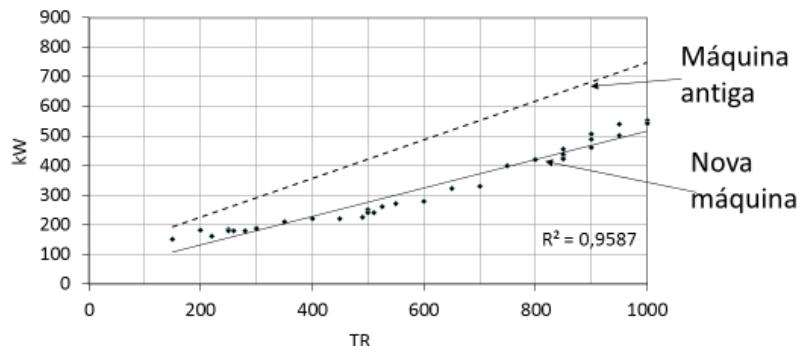
Se não houvesse uma certeza aceitável, considerar:

- Fazer mais leituras
- Usar um wattímetro mais preciso
- Considerar mais variáveis, como a temperatura externa ou a temperatura de bulbo úmido (se houver torre de resfriamento)
- Tentar uma equação de 2º grau (com cuidado).

Retrofit Isolation 33

### Opção A Passo 6 (novo resfriador)

O mesmo teste é feito com o novo resfriador, plotado abaixo



Medição isolada 34

### Opção A Passo 6 (novo resfriador)

TR	kW médio	kW/TR	COP	Tempo	Produto
200	175	0,875	4,0	5%	0,0438
300	190	0,633	5,6	20%	0,1267
400	205	0,513	6,9	20%	0,1025
500	250	0,500	7,0	15%	0,0750
600	300	0,500	7,0	15%	0,0750
700	350	0,500	7,0	10%	0,0500
800	405	0,506	6,9	5%	0,0253
900	480	0,533	6,6	5%	0,0267
1000	550	0,550	6,4	5%	0,0275
<b>Média</b>		<b>100%</b>	<b>0,552</b>		

Média kW/TR resfriador antigo = 0,552

Medição isolada 35

### Opção A Passo 7 (Economia)

- Melhora do rendimento ponderado médio:
  - Resfriador antigo = 0,823 kW/TR
  - Resfriador novo = 0,552 kW/TR
  - Melhora = 0,271 kW/TR
- Admitidas 2.000.000 TR-h de carga anuais.
- Economia de energia =  $0,271 * 2.000.000$   
= 542.000 kWh/ano

Medição isolada 36

### Opção A Passo 8 (redução da demanda)

Redução de demanda (para toda a temporada de resfriamento)

	Carga admitida (TR)	Redução de demanda calculada (kW)
Maio	500	135,5
Junho	800	216,8
Julho	900	243,9
Agosto	1.000	271,0
Setembro	900	243,9
Outubro	500	135,5
<b>Total</b>		<b>1.246,5 kW.mês</b>

Admite-se que o pico da redução de demanda do resfriador coincide com o da instalação.

Medição isolada 37

## Opção A Passo 9 (Valor)

Economia no consumo:

$$= 542.000 \text{ kWh} * \$0,0723/\text{kWh}$$

$$= \$\mathbf{39.186}$$

Economia na demanda:

$$= 1.242 \text{ kW-mês} * \$12,57/\text{kW-mês}$$

$$= \$\mathbf{15.612}$$

Economia total:

$$= \$39.186 + \$15.612 = \$54.798 \text{ para a temporada}$$

Quantos dígitos significativos devem-se mostrar?

Medição isolada 38

## Opção A (Futuro)

- Certamente verificações periódicas de indicadores chave sugerindo uma boa performance do resfriador.
  - Pressão de condensação x temperatura média da água de condensação
  - Corrente do compressor em função da carga.

Repetir o teste do resfriador em anos futuros se o orçamento o permitir.

Medição isolada 39

### 7.3.2 Questões da Opção A

#### Opção A (Futuro)

- Certamente verificações periódicas de indicadores chave sugerindo uma boa performance do resfriador.
  - Pressão de condensação x temperatura média da água de condensação
  - Corrente do compressor em função da carga.

Repetir o teste do resfriador em anos futuros se o orçamento o permitir.

Medição isolada 39

#### Opção A Teste 1

Agora, supor:

- resfriador antigo = 0,71 kW/TR
- resfriador novo = 0,55 kW/TR

Quais seriam as economias anuais?

Medição isolada 40

## Opção A Teste 2

Agora, supor:

- Teste do resfriador como originalmente (melhora de 0,27 kW/TR)
- Carga anual de 1.800.000 TR-h
- Picos de carga sem alteração

Quais seriam as economias anuais?

Medição isolada 41

## Opção A Relatórios

Se um padrão de carga anual foi admitido, como o de 2.000.000 TR-h, pode-se dizer “o custo de energia evitado foi de \$50.000 ao ano”?

Medição isolada 42

## Questões da Opção A - estimativa

### O que se pode estimar?

- Considerar os erros plausíveis da estimativa
- Considerar as responsabilidades das partes

### Estimar valores para os parâmetros onde o erro

**não é significativo, ou onde o parâmetro não é responsabilidade da parte cuja performance está sendo avaliada.** Um esforço pode ser necessário para obter dados para justificar a estimativa de modo que todos concordem com ela.

**Especificações de fabricantes são estimativas na ótica do PIMVP (não são medidas no campo).**

Medição isolada 43

## Próximo assunto



Medição isolada 44

## 8 Detalhes da Opção C

Fundamentos de M&V  
& o  
Protocolo Internacional de Medição e  
Verificação de *Performance*

Para Gestores de Energia

### Detalhes da Opção C

#### Opção C - Programa

- Revisão do Método
- Questões detalhadas

Detalhes Opção C 2

## 8.1 Revisão do Método

### Opção C Método

- Toda a instalação está dentro da fronteira de medição.
- Avalia a performance de toda a instalação, sistemas ou áreas **modificados ou não** pela AEE.
- Geralmente envolve as contas das concessionárias, porém pode envolver:
  - leitura manual dos medidores das concessionárias
  - leitura automatizada dos medidores das concessionárias
  - submedidores internos
- Aplicar o método a cada medidor separadamente (evitar adicionar medidores do mesmo tipo de energia antes de analisar o caso)

[Detalhes Opção C 3](#)



### Opção C Passo 1 (abrangência)

- Identificar os prédios/sistemas cobertos pelo medidor
- Selecionar variáveis independentes apropriadas (frequentemente clima)
- Selecionar o período da linha de base

[Detalhes Opção C 4](#)



## Opção C Passo 2 (Bases)

- Decidir entre ajustar os dados da linha de base às condições (variáveis) do período de determinação da economia ou a um conjunto de condições normais (fixas).
- As economias serão relatadas como “energia evitada” (Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 5.3.4) ou “economia normalizada” (Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 5.3.5).
- No exemplo a seguir a economia será relatada como energia evitada.

[Detalhes Opção C 5](#)

## Opção C Passo 3 (Dados da linha de base)

- Selecionar 12 meses de dados de energia (pode-se precisar de 13 contas de energia).
- Selecionar dados climáticos para o mesmo (exatamente) período da linha de base (sincronizar os dias, não usar o mês mais próximo do calendário).
- Reunir os Fatores Estáticos levantados durante o diagnóstico energético.

[Detalhes Opção C 6](#)

## Opção C Passo 3 (Dados da linha de base)

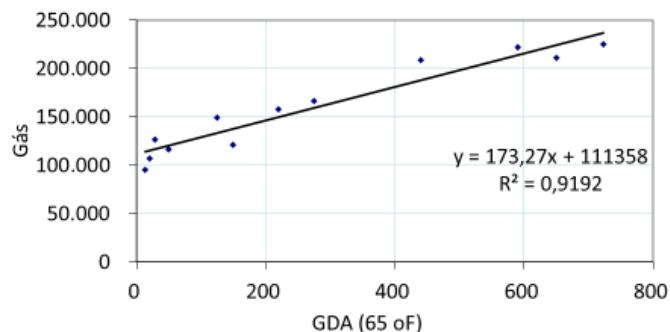
Vamos explorar os dados do exemplo anterior da Opção C

Leitura Medidor	Consumo	Graus-dia
Data	gás	Aquecimento
05/02/2008	Mcf	(65 F)
05/03/2008	210.692	650
07/04/2008	208.664	440
06/05/2008	157.886	220
05/06/2008	120.793	150
07/07/2008	116.508	50
07/08/2008	107.272	20
05/09/2008	95.411	14
06/10/2008	126.423	29
06/11/2008	149.253	125
04/12/2008	166.202	275
06/01/2009	221.600	590
05/02/2009	224.958	723
<b>Total</b>	<b>1.905.662</b>	<b>3.286</b>

[Detalhes Opção C 7](#)

## Opção C Passo 4 (Modelo)

Estabelecer a relação da linha de base Gás - GDA:



[Detalhes Opção C 8](#)

## Opção C Passo 4 (avaliação do modelo)

Avaliar o modelo (dispersão dos dados da linha de base) :

- $R^2 = 91,9\%$  está bom  
(normalmente aceita-se  $R^2 > 75\%$ ).
- Se não estivesse bom, considerar:
  - ajustar para o número de dias de fins de semana para cada período, além dos GDA.
  - escolher um período da linha de base de dois anos, se houver um bom registro dos Fatores Estáticos.

Neste caso, aceitar o modelo matemático da linha de base:

$$\text{Gás} = 173,27 * \text{GDA} + 111.358$$

[Detalhes Opção C 9](#)

## Opção C Passo 5 (verificação do viés)

Verificar o viés do modelo da linha de base como segue:

- Usar o modelo matemático para projetar o consumo de gás **anual** para o consumo da linha de base de **3.286 GDA**:
 
$$\begin{aligned}
 &= (173,27 * 3.286 \text{ GDA}) + (111.358 * 12) \\
 &= 569.365 + 1.336.296 \\
 &= 1.905.661
 \end{aligned}$$
- O consumo real da linha de base é de 1.905.662
- Então, o viés de 1 unidade ( $= 0,000\ 05\%$ ) ✓ **OK**  
(O critério da ASHRAE é o viés ser  $< 0,005\%$ )

[Detalhes Opção C 10](#)

## Opção C Passo 6 (Projeção)

Depois da AEE, para cada mês, projetar qual teria sido o consumo de gás nas condições atuais do clima deste mês (i.e., o consumo da linha de base ajustado).

Procedimento:

1. Registrar as condições climáticas (GDA)
2. Inserir os GDA no modelo matemático:

$$\text{Gás} = 173,27 * \text{GDA} + 111.358$$

[Detalhes Opção C 11](#)

## Opção C Passo 7 (ALB)

- Rever os atuais Fatores Estáticos para assegurar-se que não houve mudanças das condições registradas da linha de base, ao menos anualmente.
- Caso necessário, realizar ALBs (ajustes não de rotina da linha de base).
  - Revisar os dados da linha de base
  - Preparar um novo modelo matemático.

[Detalhes Opção C 12](#)

### Opção C Passo 8 (Economia)

Neste exemplo, decidiu-se comparar o consumo de gás projetado pelo modelo (linha de base ajustada) com as condições reais para determinar a economia de energia como “consumo evitado”.

(O consumo evitado de energia é encontrado usando-se os Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 5.3.4).

[Detalhes Opção C 13](#)

### Opção C Passo 9 (Valor)

Aplicar a tarifa completa atual da concessionária ao consumo da linha de base ajustado (Slide 11) e ao consumo atual para cada mês.

Determinar o “custo evitado”.

[Detalhes Opção C 14](#)

## Opção C Passos 8 & 9 (economia de energia e monetária)

Leitura Medidor	Período determinação		Linha de base ajustada			Economia		
	Data	Gás	GDA	Carga base	Sens. térmica	Total	Gás	Preço
02/02/05		Mcf	(65 F)	Mcf	Mcf	Mcf	Mcf	\$ 6.232
05/03/05	151.008	601		111.358	104.134	215.493	64.485	401.869
03/04/05	122.111	420		111.358	72.773	184.131	62.020	386.510
05/05/05	102.694	188		111.358	32.574	143.933	41.239	257.001
04/06/05	111.211	250		111.358	43.317	154.676	43.465	270.871
04/07/05	80.222	41		111.358	7.104	118.463	38.241	238.315
05/08/05	71.023	15		111.358	2.599	113.958	42.935	267.568
07/09/05	65.534	5		111.358	866	112.225	46.691	290.977
08/10/05	77.354	12		111.358	2.079	113.438	36.084	224.874
03/11/05	103.000	190		111.358	32.921	144.279	41.279	257.254
09/12/05	115.112	300		111.358	51.981	163.339	48.227	300.551
06/01/06	160.002	700		111.358	121.288	232.646	72.644	452.720
03/02/06	145.111	612		111.358	106.040	217.399	72.288	450.497
<b>Total</b>	<b>1.304.382</b>	<b>3.334</b>		<b>1.336.302</b>	<b>577.677</b>	<b>1.913.979</b>	<b>609.597</b>	<b>3.799.008</b>

[Detalhes Opção C 15](#)

### 8.2 Questões detalhadas

#### Questão da Opção C – Faturas da concessionária

- Uma “conta estimada” não é um dado válido para o período. A próxima leitura real corrigirá o consumo estimado (e demanda) mas oferece dados válidos somente para o período combinado (2 meses).
- A possibilidade de contas estimadas cria um atraso na correção de anormalidades, tornando difícil a correção sazonal de erros operacionais. Métodos baseados nas contas da concessionária não propiciam o *monitoramento* da economia.

[Detalhes Opção C 16](#)

## Questões da Opção C - % economia

- É muito difícil detectar economia de energia menor que 10% da conta:
  - É uma regra de ouro; muitas vezes é maior
  - depende também da duração do período de determinação da economia (ver os Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 6.4),
  - Deve ser baseada na incerteza da economia que, para custo evitado, é basicamente a incerteza do modelo de regressão.
  - Se a incerteza é grande e a economia menor que 10%, o valor mínimo de economia será muito pequeno para justificar a AEE.

[Detalhes Opção C 17](#)

## Software de análise de contas

Software para análise das contas da concessionária:

- Ajuda a gerenciar contas da concessionária para vários prédios
- Ajuda a detecção antecipada de erros nas contas
- Devem mostrar todos os dados de entrada, modelo matemático usado e todas as mudanças nos dados brutos
- Devem demonstrar que o modelo da linha de base não tem viés.

[Detalhes Opção C 18](#)

## Alguns softwares disponíveis

- EEM Suite Bill Analyst (McKinstry)
- EnergyCAP (EnergyCAP)
- EZ Sim (Stellar Process)
- Metrix (Abraxas)
- Portfolio Manager (Energy Star)
  - Um serviço, não um produto. Prescrito para projetos LEED EB.

Detalhes Opção C 19

## Próximo assunto



Detalhes Opção C 20

## 9 Detalhes da Opção D



Fundamentos de M&V  
& o  
Protocolo Internacional de Medição e  
Verificação de *Performance*

Para Gestores de Energia

### Detalhes da Opção D

#### Opção D - Programa

- Para quê? – por que não?
- Método / Exemplos
- Processos Industriais
- Questões

Opção D 2

## 9.1 Para quê? – por que não?

### Opção D – Para que?

- Se os dados do período da linha de base ou do período de determinação da economia estiverem faltando, devido à sua inexistência ou medidores ruins, usar uma simulação por computador para “fabricar” (!) os dados.
- Para estabelecer o impacto de AEEs individuais separadamente, por simulação por computador.
- Para determinar a *performance* de um edifício relativa a uma norma.
- Para certificação no LEED BD&C EA crédito 5.  
Para novos prédios ver o PIMVP Volume 3, Parte 1

Opção D 3

### Opção D – Por que não?

Opção D pode ser cara e complicada:

- Resultados não são melhores que suposições (se não adequadamente realizada).
- Necessária habilidade especial com softwares dedicados.
- Difícil calibrar a simulação com dados reais de energia, porém faz-se necessário para resultados confiáveis.

Opção D 4

## 9.2 Método / Exemplos

### Simulação durante o projeto

Durante a fase de projeto, um modelo de simulação é frequentemente usado para avaliar o consumo de energia do edifício.

- Se o edifício existe:
  - Elaborar um modelo de simulação dos equipamentos e condições da linha de base
  - Desenvolver modelos “e se” para estimar a *performance* de AEEs propostas
  - Selecionar o pacote mais viável economicamente
  - Comparar a proposta com a linha de base

Estas simulações são usadas para prever as economias das AEEs antes da construção.

Opção D 5

### Simulação durante o projeto – 2

- Para um edifício novo:
  - Elaborar um modelo de simulação dos equipamentos e condições da linha de base, por exemplo de acordo com os requisitos de uma norma ou padrão
  - Desenvolver modelos “e se” para estimar a *performance* das AEEs propostas.
  - Selecionar o pacote das ações mais viáveis economicamente
  - Comparar a proposta com a norma.

Opção D 6

## Opção D – Método básico

Se não foi feita uma simulação por computador da energia do edifício durante a fase de projeto, proceder como segue:

- i. Elaborar um modelo de simulação por computador do uso da energia.
- ii. Recolher dados reais de uso da energia.
- iii. 'Calibrar' o modelo computadorizado para corresponder aos dados reais de energia.
- iv. Rodar o modelo calibrado com e sem as AEEs. A economia será a diferença entre os valores encontrados de consumo de energia nas duas rodadas.

Opção D 7

## Opção D Exemplo - 1f)

- Um prédio de aulas e escritórios em um campus universitário implantou múltiplas AEEs incluindo reforma do envelope (*weatherization*) e novos procedimentos operacionais.
- Há um sistema público de distribuição de vapor e um medidor elétrico central para o campus. O prédio tem seu próprio resfriador (*chiller*) elétrico.
- Não havia medidores no prédio durante o período da linha de base.
- A AEE incluiu a instalação de medidores no prédio.

Opção D 8

### Opção D Passo 1 (abrangência)

- Definir o(s) sistema(s) e edifícios a simular.
- Decidir o período da linha de base.

Opção D 9

### Opção D Passo 2 (Bases)

- Decidir relatar a economia “energia evitada” ou “economia normalizada”
- Escolheu-se relatar as economias segundo as condições da linha de base e condições climáticas de longo prazo
- Então usou-se a “economia normalizada”

Opção D 10

### Opção D Passo 3 (Software)

- Selecionar pessoal para simulação (nos EUA: certificados BEMP ou BESA\*)
  - Selecionar *software* e verificar adequação ao caso
  - Documentar nome e versão do *software*
- \* *BEMP - Building Energy Modeling Professionals*  
*BESA – Building Energy Simulator Analyst*

Opção D 11

### Opção D Passo 4 (dados da linha de base)

- Recolher dados:
  - Tamanho e formato do prédio
  - Características do envelope
  - Capacidades e rendimentos dos equipamentos
- Registrar as condições da linha de base
  - temperaturas interiores em várias estações
  - períodos de operação dos equipamentos, ajustes
  - programação de aulas e ocupação
  - equipamentos de escritório



Opção D 12

### Opção D Passo 5a (dados de calibração)

Após a construção do edifício:

- Recolher dados de 12 meses de energia do período de determinação da economia
- Recolher dados climáticos para os mesmos 12 períodos
- Verificar os padrões de ocupação e condições de operação do condicionamento ambiental (fatores estáticos).

Opção D 13

### Opção D Passo 5 (rodada inicial)

- Elaborar o modelo de simulação da linha de base de equipamentos e condições.

Opção D 14

## Opção D Passo 5a (calibração)

Dados de energia reais no período de determinação da economia para calibração

Mês	Vapor		Eletricidade		
	unidades	Dias	kWh	kW	Dias
jan	1.200.000	31	140.000	340	31
fev	1.100.000	28	120.000	350	28
mar	1.000.000	31	140.000	350	31
abr	800.000	30	150.000	380	30
mai	300.000	31	160.000	450	31
jun	200.000	30	170.000	570	30
jul	200.000	31	190.000	650	31
ago	200.000	31	195.000	650	31
set	400.000	30	180.000	640	30
out	500.000	31	160.000	600	31
nov	800.000	30	150.000	380	30
dez	1.000.000	31	120.000	320	31

Recolher também outros parâmetros climáticos e operacionais

Opção D 15

## Opção D Passo 5b (calibração)

- Rodar a simulação com as condições do período de determinação da economia e equipamentos modificados.
- Verificar se o modelo simula propriamente as condições internas reais.
- Verificar *mensalmente* a energia no período de determinação da economia projetada x real para todos os tipos de energia.
  - Mensal  $\pm 15\%$  / NMBE  $\pm 5\%$ .
  - (NMBE – Normalized Mean Bias Error (erro médio de viés normalizado) é o desvio do consumo anual)

Opção D 16

## Opção D Passo 5b (Calibração)

O erro de viés médio normalizado é calculado como segue:

$$NMBE = \frac{\sum_1^n (y_i - \bar{y}_i)}{(n - p) \times \bar{y}} \times 100$$

onde:

$n$  = número de pontos ou períodos da linha de base

$\hat{y}$  = dados preditos por simulação

$y_i$  = dados da concessionária usados para calibração

$\bar{y}$  = média aritmética das  $n$  observações

$p = 1$

Option D 17

## Opção D Passo 5c (Variações)

Comparar os valores medidos e projetados para cada mês do período de determinação da economia.

Mês	Vapor (unidades)			Consumo eletric. (kWh)			Demanda (kW)		
	Medido	Projetado	Dif	Medido	Projetado	Dif	Medido	Proj.	Dif
Jan	1.200.000	1.120.000	-7%	140.000	150.000	7%	340	330	-3%
Fev	1.100.000	1.115.000	1%	120.000	121.000	1%	350	330	-6%
Mar	1.000.000	1.060.000	6%	140.000	138.000	-1%	350	330	-6%
Abr	800.000	823.000	3%	150.000	145.000	-3%	380	380	0%
Mai	300.000	305.000	2%	160.000	175.000	9%	450	480	7%
Jun	200.000	188.000	-6%	170.000	165.000	-3%	570	600	5%
Jul	200.000	194.000	-3%	190.000	199.000	5%	650	700	8%
Ago	200.000	202.000	1%	195.000	200.000	3%	650	700	8%
Set	400.000	402.000	1%	180.000	185.000	3%	640	650	2%
Out	500.000	495.000	-1%	160.000	158.000	-1%	600	500	-17%
Nov	800.000	795.000	-1%	150.000	147.000	-2%	380	380	0%
Dez	1.000.000	1.070.000	7%	120.000	108.000	-10%	320	330	3%
Ano	7.700.000	7.769.000	1%	1.875.000	1.891.000	1%	5.680	5.710	1%

As diferenças mensais indicam se a projeção segue o padrão real adequadamente. A diferença anual representa o NMBE.

Opção D 18

### Opção D Passo 5d (Iterações)

- Revisar a simulação para reduzir as diferenças mensais a um nível aceitável.
- Pode ser necessário mais dados de campo para se conseguir uma melhor calibração (p. ex., determinar o que acontece realmente de madrugada comparado com o que os operadores pensam que acontece)
- Uma vez que as diferenças sejam aceitáveis, a simulação é chamada de “simulação calibrada” do período de determinação da economia.

Opção D 19

### Opção D Passo 6 (Economias)

Torne a rodar essa simulação calibrada duas vezes, com:

- Condições climáticas de longo prazo e ocupação do período de determinação da economia – com AEEs (*as built*)
- Condições climáticas de longo prazo e ocupação do período de determinação – sem AEEs (linha de base)

A Economia Normalizada é a diferença entre as duas simulações.

Opção D 20

## Opção D Passo 6 (Economias)

Exemplo – economia de vapor – da comparação das duas simulações:

Mês	Vapor projetado (lbs)			
	Linha de base	Determinação	Economia	
Jan	1.400.000	1.120.000	280.000	20%
Fev	1.350.000	1.115.000	235.000	17%
Mar	1.250.000	1.060.000	190.000	15%
Abr	920.000	823.000	97.000	11%
Mai	360.000	305.000	55.000	15%
Jun	250.000	188.000	62.000	25%
Jul	245.000	194.000	51.000	21%
Ago	260.000	202.000	58.000	22%
Set	455.000	402.000	53.000	12%
Out	570.000	495.000	75.000	13%
Nov	902.000	795.000	107.000	12%
Dez	1.302.000	1.070.000	232.000	18%
Ano	<b>9.264.000</b>	<b>7.769.000</b>	<b>1.495.000</b>	<b>16%</b>

## Opção D Passo 7 (Valor)

Aplicar a estrutura tarifária da concessionária às duas simulações.

Calcular a redução de custo, sob condições normalizadas neste exemplo.

Opção D 22

## Opção D – Longo Prazo

- Calibrar o modelo para cada ano *após a implementação?* Isto não parece ser economicamente viável, agora que há medidores locais que permitem outra abordagem.
- Mudar para a Opção C, usando o primeiro ano como “linha de base”. Neste primeiro ano não há economia.
- Armazenar a simulação calibrada já que pode ser útil em caso de ALB ou avaliação das AEEs individuais.

Opção D 23

## Opção D abordagens 1 x 2

- Neste exemplo, usando os Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 6.5.4, Equação 1, os dados do período de determinação da economia servem *apenas* para calibração da simulação.
- A economia vem da comparação entre as simulações “antes e depois”.
- A abordagem 1 é a mais comum.
- LEED BD&C EA c5 prescreve a segunda abordagem.
- Neste caso, realiza-se um ajuste do erro de calibração (NMBE).

Opção D 24

## Opção D – Exemplo da segunda abordagem

Um prédio novo foi construído para ser 10% mais eficiente no uso da energia que os requisitos da norma ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1 2007.

Para receber um classificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design – Green Buildings Council*) o proprietário precisa provar sua ‘economia’ em relação à esta norma.

Opção D 25

## Opção D – Exemplo segunda abordagem – 2

1. Simular equipamentos e operações para o primeiro ano e ‘calibrar’ com os dados de uso deste ano. Este “**Modelo Calibrado As-Built**” tem um erro médio de +3% em relação ao uso real de energia no primeiro ano.
2. Rodar o ‘Modelo Calibrado As-Built’ com os equipamentos hipotéticos da norma (o “**Modelo Padrão**”).

Opção D 26

### Opção D – Exemplo segunda abordagem – 3

Duas formas de calcular a economia:

= Modelo Padrão – Modelo Calibrado *As Built*

Como nos Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 6.5.4, Equação 1

ou

= (Modelo Padrão – 3%) – Consumo real (medidor da concessionária)

Conceitos Básicos do PIMVP, Seção 6.5.4, Equação 2

O fator de correção de 3% remove o erro do modelo achado na calibração. Esta correção pode também ser feita mês a mês aplicando o erro de calibração ao valor do Modelo Padrão antes da subtração do valor real medido pela concessionária.

Opção D 27

### Opção D – Exemplo segunda abordagem – 4

A segunda abordagem (Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Seção 6.5.4, Equação 2) de correção do erro de calibração ajuda a compreensão do pessoal não-técnico.

A disponibilidade dos dados da concessionária é usada para fazer a economia parecer mais ‘real’. Basta lembrar de fazer a correção da calibração.

Opção D 28

### 9.3 Processos Industriais

#### Opção D - Industrial

- Os edifícios são todos similares quanto aos processos térmicos. Há vários programas de domínio público, muito usados, para simulação de sistemas energéticos em edifícios.
- Os processos industriais podem ser tão complexos como edifícios quanto ao uso de energia. No entanto, processos industriais diferem muito entre si, de tal forma que não há um *software* comum para todos.
- Algumas grandes indústrias têm sua própria simulação para projetar e otimizar sua planta. Usar os resultados a partir do Passo 8 (slide 19). Porém, convencer pessoas de fora que o *software* está 'calibrado' pode ser um desafio.

Opção D 29

### 9.4 Questões

#### Questões da Opção D

##### Qualidade da Simulação

- Competência e experiência da pessoa que executa a simulação
- Software confiável ou publicamente disponível, adequado para modelar o tipo de particular de instalação
- Usar os registros de desempenho da instalação como dados de entrada à simulação sempre que possível
- Precisão da calibração, e acordar que é suficiente
- Documentar os dados de entrada, saída e *software* utilizados

Opção D 30

## Softwares de simulação

- DOE 2.1 / eQuest / Power DOE
- EnergyPlus (U.S. Dept. of Energy)
- Trace 700 (Trane)
- HAP (Carrier)
- VisualDOE 4.0 (Architectural Energy)
- Energy-10 (Sustainable Buildings Industry Council)

Uma lista mais abrangente está disponível em:

<http://www.buildingenergysoftwaretools.com/>

Opção D 31

## Próximo assunto



Opção D 32

## 10 Outras aplicações da M&V



Fundamentos da M&V  
& o  
Protocolo Internacional de Medição e  
Verificação de *Performance*

Para Gerentes de Energia

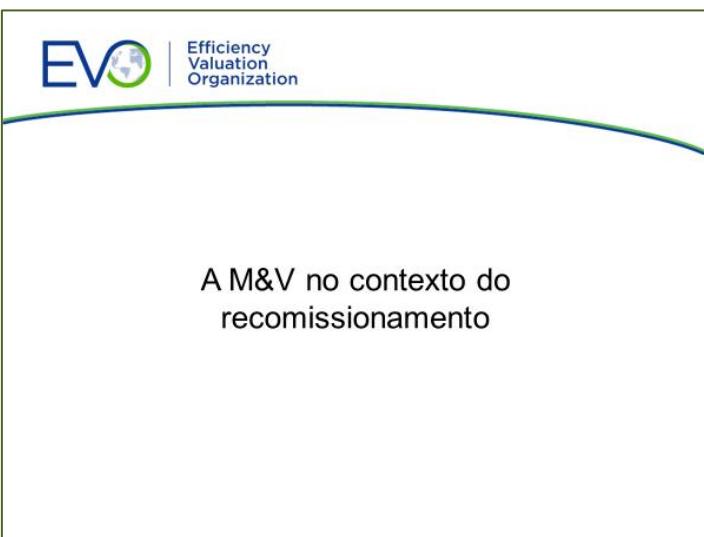
### Outras aplicações da M&V Persistência das economias

#### Outras aplicações da M&V

- A persistências das economias de energia podem ser alcançadas além do período de determinação complementando os esforços feitos para a M&V. Duas abordagens podem imediatamente seguir o processo de M&V para assegurar a persistência das economias.
  - Recomissionamento
  - *Monitoring and targeting* (M&T – monitorar e estabelecer metas)

Outras aplicações M&V 2

## 10.1 Recomissionamento



### O que é Recomissionamento (RCx)?

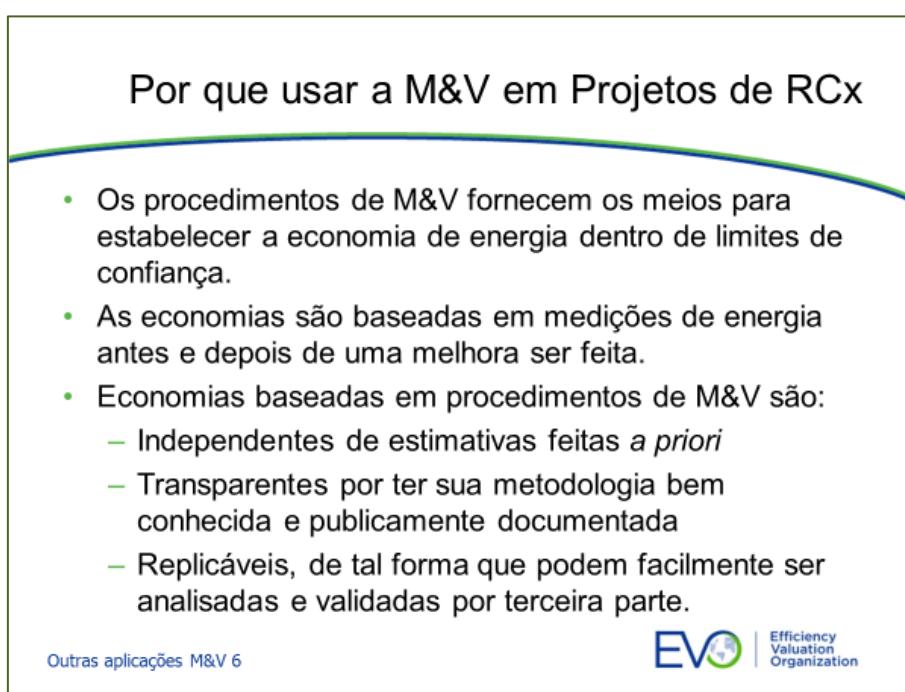
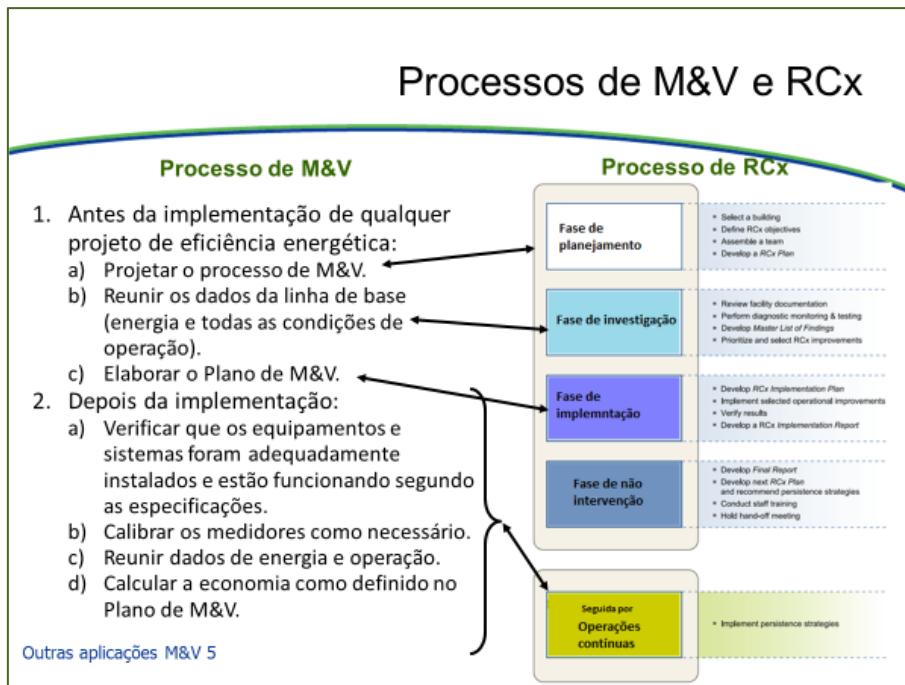
- Método para reduzir despesas e aumentar receitas por meio de operações de melhoria no edifício.

Terminologia	Nova construção	Prédio existente	Já comissionado	Não comissionado
Comissionamento	✓			
Retrocomissionamento		✓		✓
Recomissionamento		✓	✓	

- Além de compartilhar metas, o processo de recomissionamento contém vários passos similares aos do processo de M&V

Outras aplicações M&V 4





## 10.2 Monitoring and Targeting

M&V e  
*Monitoring and Targeting* (monitorar e atingir metas)

Também conhecido como MT&R  
(*Monitoring, Targeting and Reporting*)

### O que é o Monitoring and Targeting (M&T)?

- As técnicas de M&V fornecem *feedback* em práticas operacionais e resultados gerados por projetos de gestão energética por estimarem o consumo de energia esperado em determinado período.
- M&T se baseia nos seguintes conceitos:
  - *Monitoring*: coleta de dados para estabelecer linhas de base e monitorar impactos devidos a mudanças.
  - *Targeting*: identificação de metas de redução baseada em dados passados.
  - *Reporting*: análise do consumo de energia para tomar decisões baseadas nas ações necessárias para cumprir as metas.

Outras aplicações M&V 8

## Benefícios da M&T

- Economias de energia significativas (entre 5 e 15%)
- *Payback* muito curtos (menos de 2 anos)
- Gestão dos custos de energia
- Redução da emissão de gases de efeito estufa
- Quantificação de economia potencial
- Promoção de opções de financiamento para projetos de eficiência energética
- Projeções de economias de energia

Outras aplicações M&V 9

## Metodologias da M&V e M&T

- O processo de M&T é conduzido de acordo com as boas práticas de M&V.
- M&T é um processo de M&V contínuo, requerendo feedback constante para melhorar a performance consistentemente de forma similar ao recomendado pela ISO 50001. Os passos são:
  - Medir os dados de energia
  - Definir a linha de base
  - Monitorar as variações
  - Identificar as causas
  - Definir metas
  - Monitorar os resultados



Outras aplicações M&V 10

## Melhores opções para a M&T

- A M&T frequentemente combina a Opção C com as Opções A e B para melhorar a *performance* do processo como um todo:
  - Com as Opções A e B, os sistemas que causam variações no consumo de energia podem ser identificados, facilitando as melhorias de eficiência.
  - A Opção C fornece uma visão geral da *performance* energética da instalação e permite às empresas definir metas para toda a instalação. Tais metas são mais significativas que as metas definidas para equipamentos individuais.

Outras aplicações M&V 11

## Próximo assunto



Outras aplicações M&V 12

## 11 Resumo



### Fundamentos de M&V & o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance

Para Gestores de Energia

#### Resumo

##### Resumo – Programa

- Aderência ao PIMVP
- Seleção de Opção
- Teste
- Plano de M&V

Resumo 2

## 11.1 Aderência ao PIMVP

 Efficiency Valuation Organization

Aderência

Ao PIMVP  
(ver os Conceitos Básicos do PIMVP 2014 Capítulo 9)

A um Contrato de *Performance*  
(ver este contrato)

Aderência ao PIMVP

Para reivindicar aderência ao PIMVP deve-se:

- Identificar a pessoa responsável
- Desenvolver um Plano de M&V de acordo com os Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Capítulo 7
- Seguir o Plano
- Preparar Relatórios de M&V de acordo com os Conceitos Básicos do PIMVP 2014, Capítulo 8

Resumo 4

 Efficiency Valuation Organization

## Relatórios aderentes

- Se se mede o consumo de energia seguindo o PIMVP por 5 segundos depois da AEE, só se pode afirmar que a economia relatada no período de teste adere ao PIMVP.
- A economia relatada sem uma medição repetida pode ser apenas descrita como estimativa baseada na economia aderente ao PIMVP determinada pelo teste de 5 segundos.

Resumo 5

## 11.2 Seleção de Opção

### Seleção de Opção

## Seleção de Opção

- Cada projeto é diferente
- Cada situação tem que ser analisada
- Considerar os custos em relação à economia e a precisão desejada
- A seguir, apenas algumas sugestões de aplicações que “melhor se encaixam”
- Ver os Conceitos Básicos do PIMVP, Capítulo 9 e o Anexo A para um diagrama lógico simplificado para seleção da Opção.

Resumo 7

## Seleção de Opção – 1

Critério	A	B	C	D
Avaliação individual de AEEs	X	X		X
Avaliação somente da instalação			X	X
Economia <10% energia medidor concessionária	X	X		X
Indústria	X	X		X

Resumo 8

### Seleção de Opção – 2

Critérios	A	B	C	D
Importância das variáveis não está clara		X	X	X
Efeitos interativos não estimados facilmente			X	X
Esperadas muitas mudanças dentro da fronteira de medição (muitos ALBs)	X			X
Avaliação a longo prazo		X	X	
Sem dados período da linha de base				X

Resumo 9



### Seleção de Opção – 3

Critérios	A	B	C	D
Necessário que pessoal não técnico entenda o significado dos relatórios de economia	X	X	X	
Experiência e habilidade em medição	X	X		
Experiência e habilidade em simulação				X
Habilidade em leitura de conta da concessionária			X	

Resumo 10



### 11.3 Teste

Teste!

Seleção de Opção  
Leia a questão cuidadosamente

#### Que Opção é esta?

- Luminárias de cada tipo contadas antes e depois da AEE
- Medida a carga de uma amostra de 5% de cada tipo de luminária, usando-se um wattímetro portátil valor eficaz verdadeiro (*true RMS*) antes e depois da AEE do sistema de iluminação. Variações mínimas foram encontradas em cada amostra.
- Medidas as horas de operação antes da AEE.

Resumo 12

## Que Opção é esta? – 2

O consumo elétrico evitado foi calculado multiplicando-se:

- A mudança na carga total calculada usando-se a média de cada amostra pelas horas de operação medidas antes da ação de eficiência energética.

## Que Opção dos Conceitos Básicos do PIMPV 2014 é esta?

Resumo 13

## Que Opção é esta? – 3

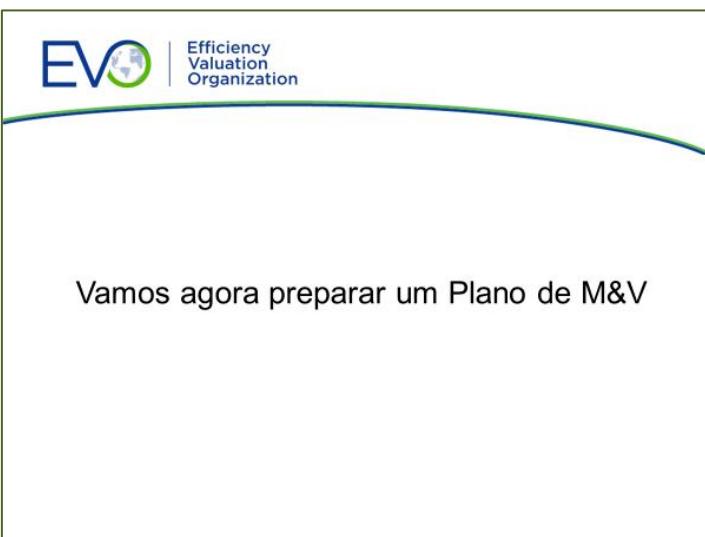
Agora, suponha que, em vez de se medirem amostras das luminárias, usaram-se as potências nominais dos fabricantes para cada combinação de lâmpada e reator.

## Que Opção dos Conceitos Básicos do PIMPV 2014 é esta?

Resumo 14

Mais questões?

## 11.4 Plano de M&V



### O Projeto

- O cliente: Conselho Escolar na cidade de Québec, Canadá
- O prédio: Um centro de formação profissional com 1000 alunos
- O projeto: Implementação de 12 AEEs para reduzir o consumo total de energia em 46% (redução do consumo de gás natural, porém com aumento do consumo de eletricidade)
- AEEs serão implementadas por uma ESCO que garante as economias
- Dê uma olhada nas seções 1 e 2 do Plano de M&V

Summary 17



## Sua tarefa: a concepção do Plano de M&V

- Que opção?
- Definir a fronteira de medição
- Selecionar as variáveis independentes
- Listar os fatores estáticos
- Definir como ajustar os dados da linha de base
- Definir o custo da energia
- Identificar os dados a coletar durante o período de determinação da economia e quem o fará
- Estabelecer o orçamento.

Summary 18

Por favor, preencha o formulário  
de avaliação agora

Ele é muito importante para nós!

Para aqueles que farão o exame

Boa sorte!

Leia as questões cuidadosamente.

Não tenha pressa.

Summary 20



Muito obrigado!

**Agenor Gomes Pinto Garcia**  
[agenorgarcia@uol.com.br](mailto:agenorgarcia@uol.com.br)  
+55 71 3371 2273 / 98792 2699  
Skype: agenorgomespintogarcia