



*Empoderando vidas.  
Fortalecendo nações.*



**MINISTÉRIO DO  
MEIO AMBIENTE**



3

# EXEMPLOS DE M&V

Capacitação no Guia de M&V do PEE  
{Cidade, data}

## AGENDA



### 3. Exemplos de M&V

- ▶ Recuperação de calor em forno
- ▶ Iluminação em instalação militar
- ▶ Novo prédio para crédito do LEED™
- ▶ Exemplos da turma
- ▶ A M&V no PEE

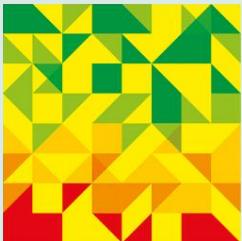


# RECUPERAÇÃO DE CALOR DE FORNO

3

Exemplo fornecido  
por Andreas Hahn

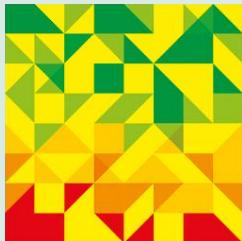




## SITUAÇÃO

- ▶ O cliente é uma forjaria
- ▶ A fábrica produz peças automotivas forjadas para as montadoras
- ▶ O processo avaliado neste projeto foi o forno de pré-aquecimento da matéria-prima para a forja de bielas

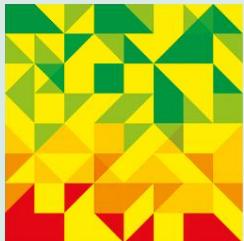




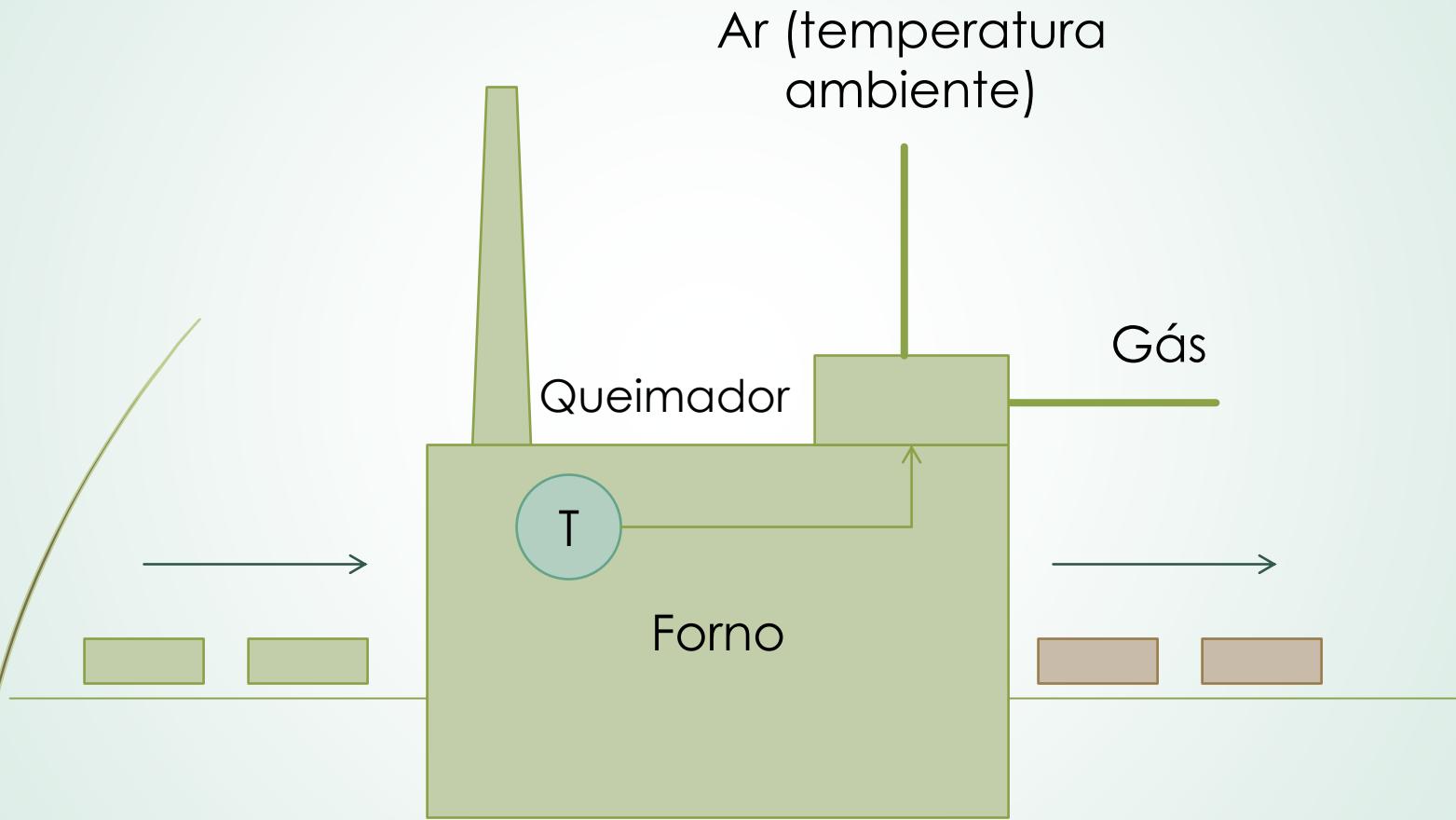
## SITUAÇÃO – 2

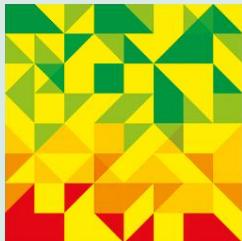
- ▶ A ESCO verificou altas temperaturas na exaustão do forno, o qual opera a 1.250°C
- ▶ A matéria-prima e o ar de combustão encontram-se à temperatura ambiente, em torno de 45°C
- ▶ A ESCO garante que um recuperador de calor para pré-aquecimento do ar de combustão irá trazer uma economia de R\$ 30.000 por mês, no mínimo
- ▶ O custo da AEE é de R\$ 1.000.000



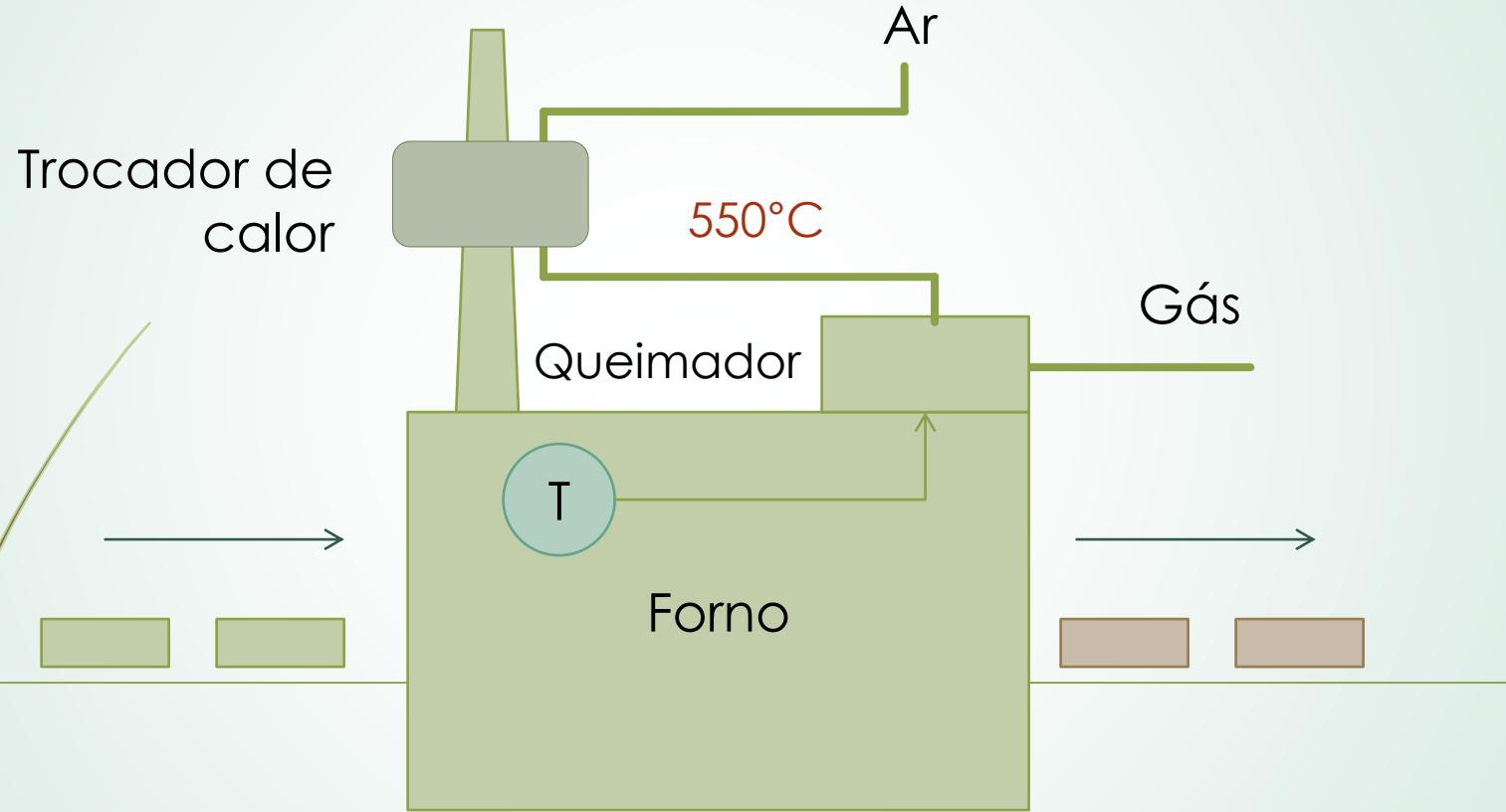


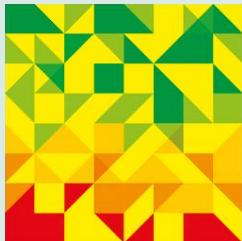
## SITUAÇÃO ATUAL





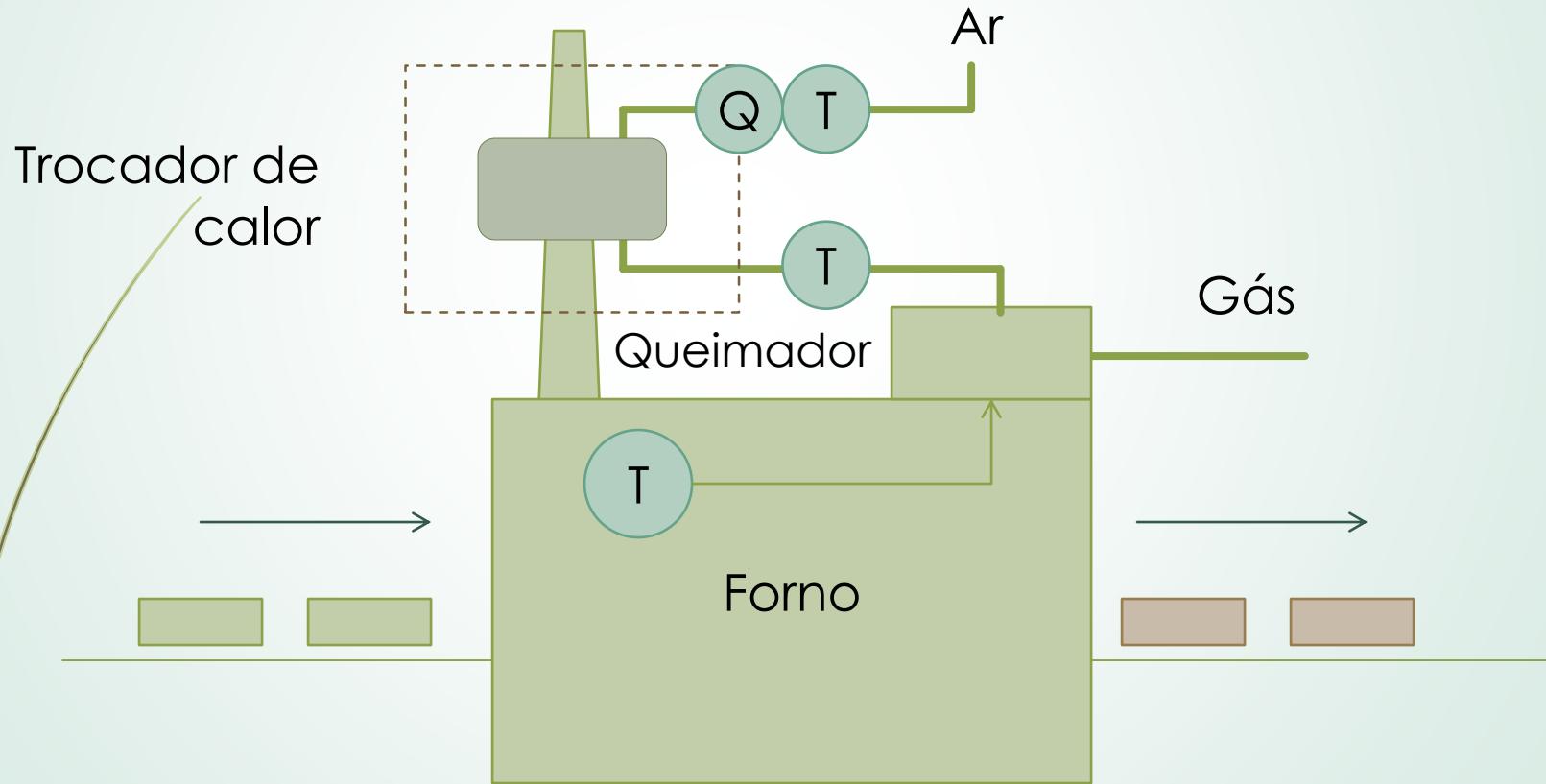
## SITUAÇÃO PROPOSTA

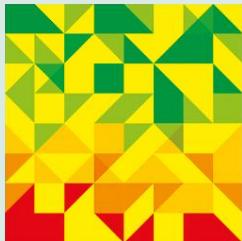




## OPÇÃO 1

Medir o calor recuperado por meio do fluxo e temperatura do ar de combustão.

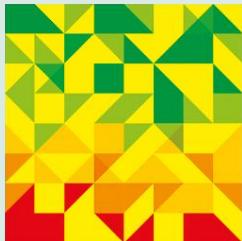




## QUESTÕES SOBRE A OPÇÃO 1

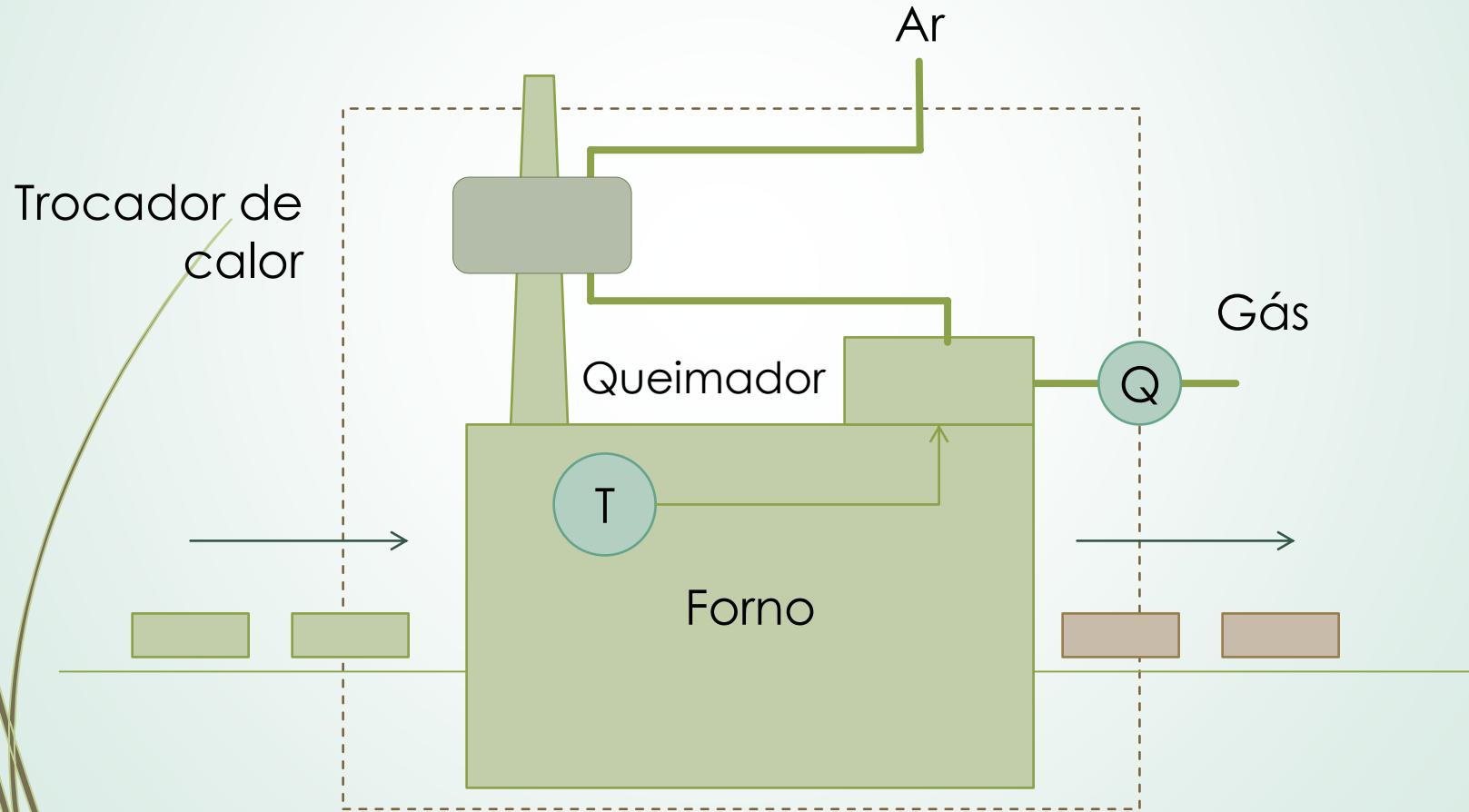
- ▶ A adição de energia ao ar de combustão não define direta e consistentemente redução no consumo de gás.
- ▶ É necessária a razão entre o ar de combustão e o gás consumido, entre outros parâmetros – necessidade de mais medidores.
- ▶ Custo de instalação e manutenção dos medidores de fluxo de ar e temperatura.

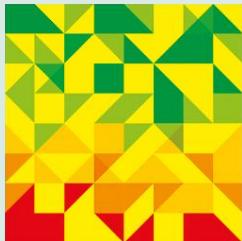




## OPÇÃO 2

Usar o medidor de gás do forno.

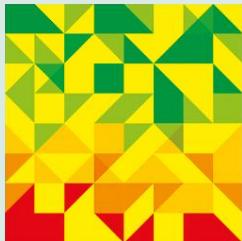




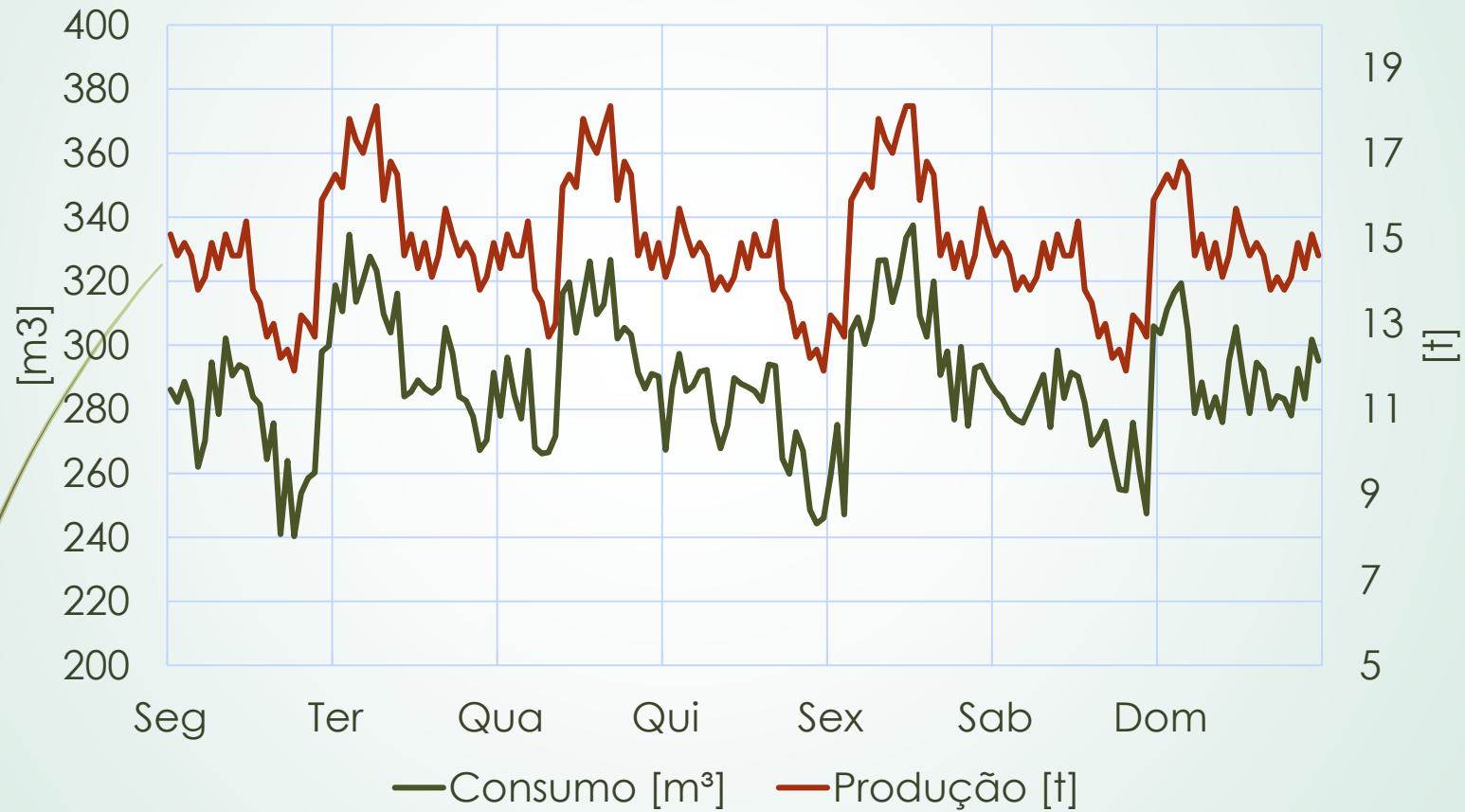
## QUESTÕES SOBRE A OPÇÃO 2

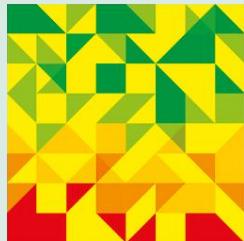
- ▶ Aumento da energia no ventilador do queimador?
- ▶ Diminuição da temperatura dos gases efluentes?
- ▶ Qual a variável independente?
- ▶ Qual a Opção do PIMVP?
- ▶ Quais os fatores estáticos?
- ▶ Quais os efeitos interativos?



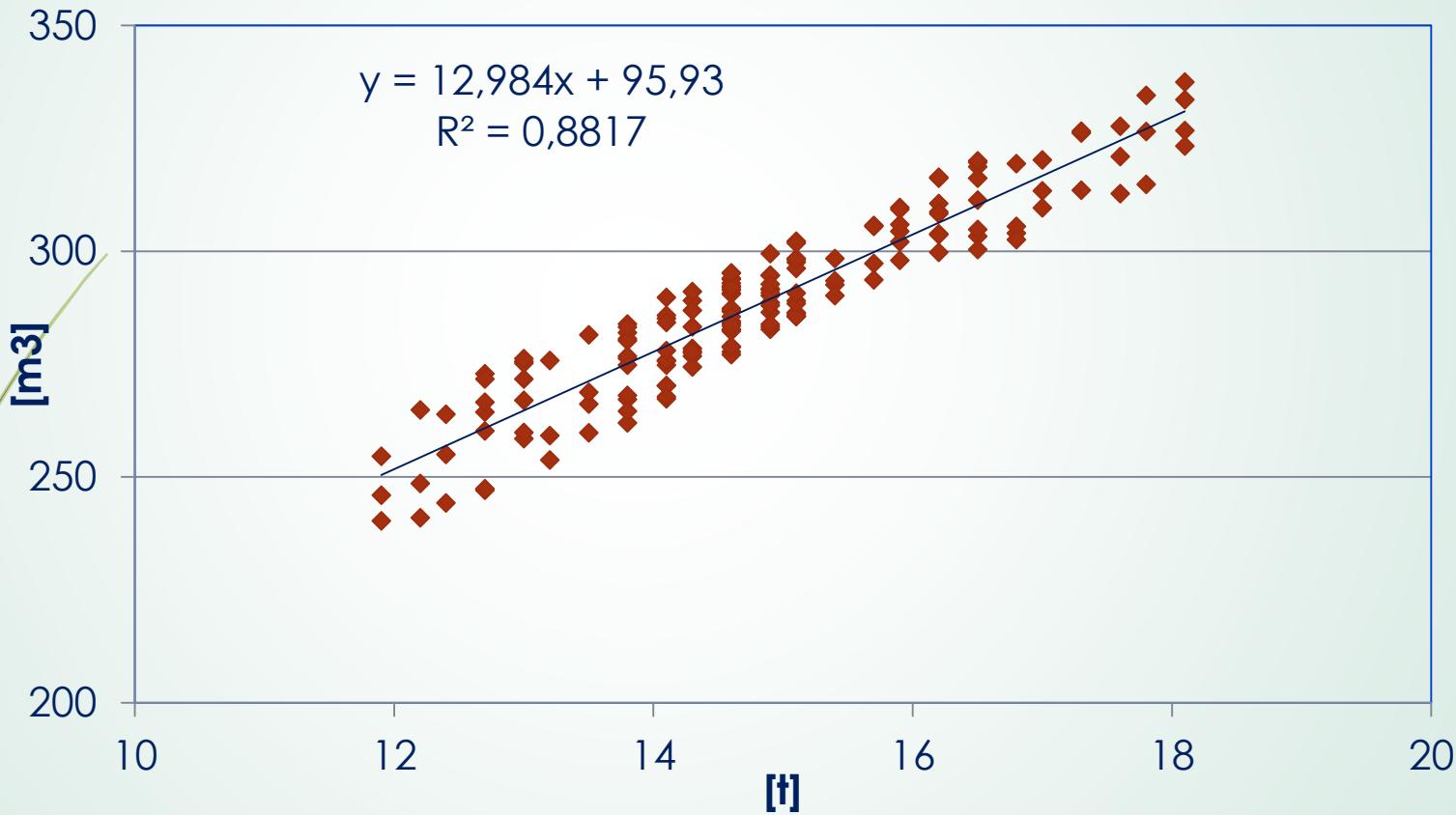


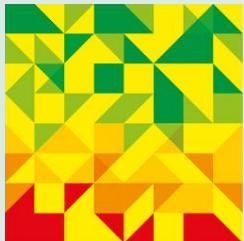
## LINHA DE BASE





## MODELO DA LINHA DE BASE





## EXERCÍCIO N° 2 - FORNO

- ▶ Usando a planilha “Forno.xlsx”, calcule a energia economizada.



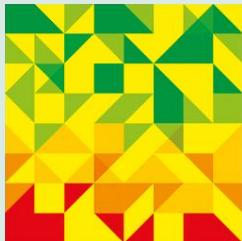


MINISTÉRIO DO  
MEIO AMBIENTE



# ILUMINAÇÃO EM INSTALAÇÃO MILITAR

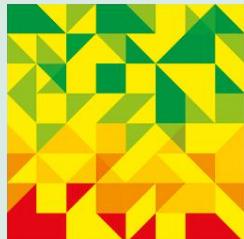




## AEE E CONSIDERAÇÕES

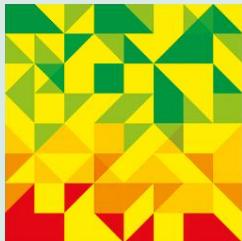
- ▶ Troca de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas e fluorescentes tubulares por mais eficientes
- ▶ Ocupação variável
- ▶ Efeitos no aquecimento = refrigeração (ambiente)
- ▶ Queima constante
- ▶ Precisão requerida de 10% (@95%) para o período da linha de base e 2% para determinação





# LÂMPADAS INCANDESCENTES

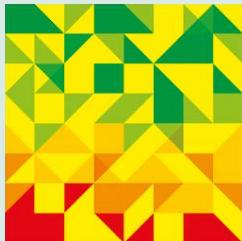
Andar	Ambiente Luminárias	Acesas	Apagadas	W	W/lâmp.	Desvio	Soma quad.	
1	A cor oeste	25	25	0	1.503	60,12	1,14	0,156
2	B cor norte	40	38	2	2.240	58,95	-0,03	0,000
2	C cor leste	20	19	1	1.142	60,11	1,13	0,115
3	C cor sul	10	8	2	477	59,63	0,65	0,016
3	A cor norte	15	15	0	901	60,07	1,09	0,085
4	B cor leste	22	21	1	1.259	59,95	0,98	0,095
4	C cor sul	33	30	3	1.720	57,33	-1,64	0,386
5	A cor norte	40	35	5	2.100	60,00	1,02	0,175
5	B cor sul	22	20	2	1.102	55,10	-3,88	1,431
Total		211	16	12.444	58,98	Variância	2,459	



## HORAS DE FUNCIONAMENTO

- ▶ Instalados registradores em 20 salas representativas dos padrões de ocupação da instalação
- ▶ Uma semana em cada sala selecionada
- ▶ Luzes fluorescentes - 58 horas por semana
- ▶ Lâmpadas incandescentes - 152 horas por semana

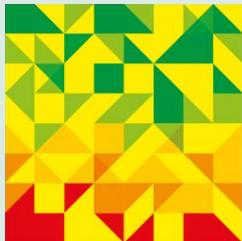




## CÁLCULO DA ECONOMIA - POTÊNCIA

$$P = \frac{Wb \cdot Nb}{1.000} - \frac{Wr \cdot Nr \cdot (1 - Bb)}{1.000}$$

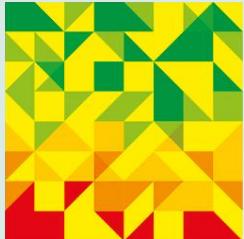
$P$	Potência reduzida	kW
$Wb$	Potência média da linha de base	W
$Nb$	Número de lâmpadas no período da linha de base	1
$Wr$	Potência média no período de determinação da economia	W
$Nr$	Número de lâmpadas no período de determinação da economia	1
$Bb$	Taxa de lâmpadas queimadas no período da linha de base	%



## CÁLCULO DA ECONOMIA - ENERGIA

$$E = P \cdot H \cdot \left( \frac{365}{7} \right)$$

$E$	Energia anual reduzida	kWh
$P$	Potência reduzida	kW
$H$	Funcionamento semanal estimado	h
365	Número de dias no ano	1
7	Número de dias na semana	1



## EXERCÍCIO N<sup>º</sup> 3

- ▶ Planilha “Iluminação instalação militar.xlsx”





Empoderando vidas.  
Fortalecendo nações.



MINISTÉRIO DO  
MEIO AMBIENTE



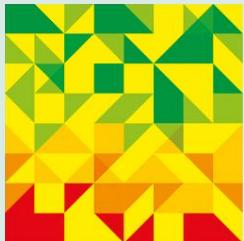
# NOVO PRÉDIO PARA CRÉDITO DO LEED™

22

(Leadership in Energy and  
Environmental Design)



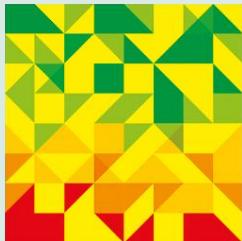
anima



# LEED

- O LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) é um sistema de certificação e orientação ambiental de edificações
  - criado nos EUA e hoje adotado em muitos países
- Há vários tipos de certificação LEED entre elas a LEED NC – Novas construções e grandes projetos de renovação
- Para obter a certificação LEED, o projeto deve somar um mínimo de pontos em uma lista de critérios (além de cumprir alguns requisitos obrigatórios)

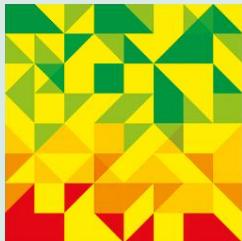




## LEED-NC 2009

- ▶ Os critérios são:
  - ▶ Espaço sustentável
  - ▶ Uso racional da água
  - ▶ Energia e atmosfera
  - ▶ Materiais e recursos
  - ▶ Qualidade ambiental interna
  - ▶ Inovação e processo do projeto
  - ▶ Créditos regionais
- ▶ Certificado: 40-49 pontos; Prata: 50-59 pontos; Ouro: 60-79 pontos; Platinum: 80 pontos ou mais (num total de 110 pontos)
- ▶ M&V confere 1 ponto dentro de EA – C5

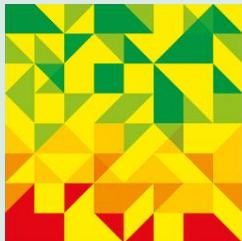




## M&V PARA O LEED NC

- ▶ Deve obedecer a Opção D (eq. 2) ou Opção B, com um período de determinação de um ano, no mínimo
- ▶ Em geral, abrange:
  - ▶ sistemas de iluminação e controles
  - ▶ condicionamento ambiental (aquecimento, resfriamento e ventilação)
  - ▶ água quente
  - ▶ controles do processo do edifício

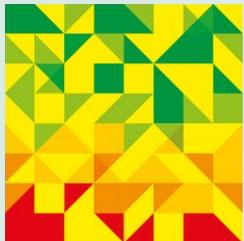




## EXEMPLO DA EVO

- Prédio de 18.600 m<sup>2</sup> em Anycity, Tennessee quer classificação Prata no LEED
- Selecionada a Opção D (equação 2)
  - compara com dados reais de calibração
- Pontos de controle serão acompanhados pelo Sistema de Automação do Edifício (SAE) e alguns medidores específicos

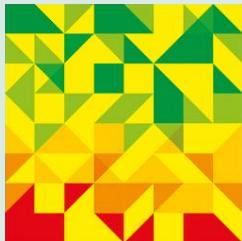




## SITUAÇÃO

- ▶ Sistemas investigados durante M&V:
  - ▶ Sistema e componentes HVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado)
  - ▶ SAE
  - ▶ Sistemas de iluminação
- ▶ Serão considerados 6 modelos do edifício, divididos em:
  - ▶ modelos “pré”, antes da construção
  - ▶ modelos “pós”, depois da construção e calibração dos dados





## MODELOS



### ► Projeto pré

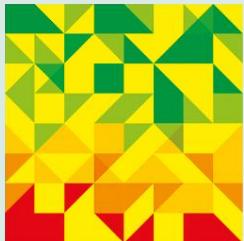
- Sistemas e estratégias de controle de projeto
- Programação de equipamentos, *set-points* em zonas de temperatura e dados climáticos típicos (TMY2)

### ► Linha de base pré

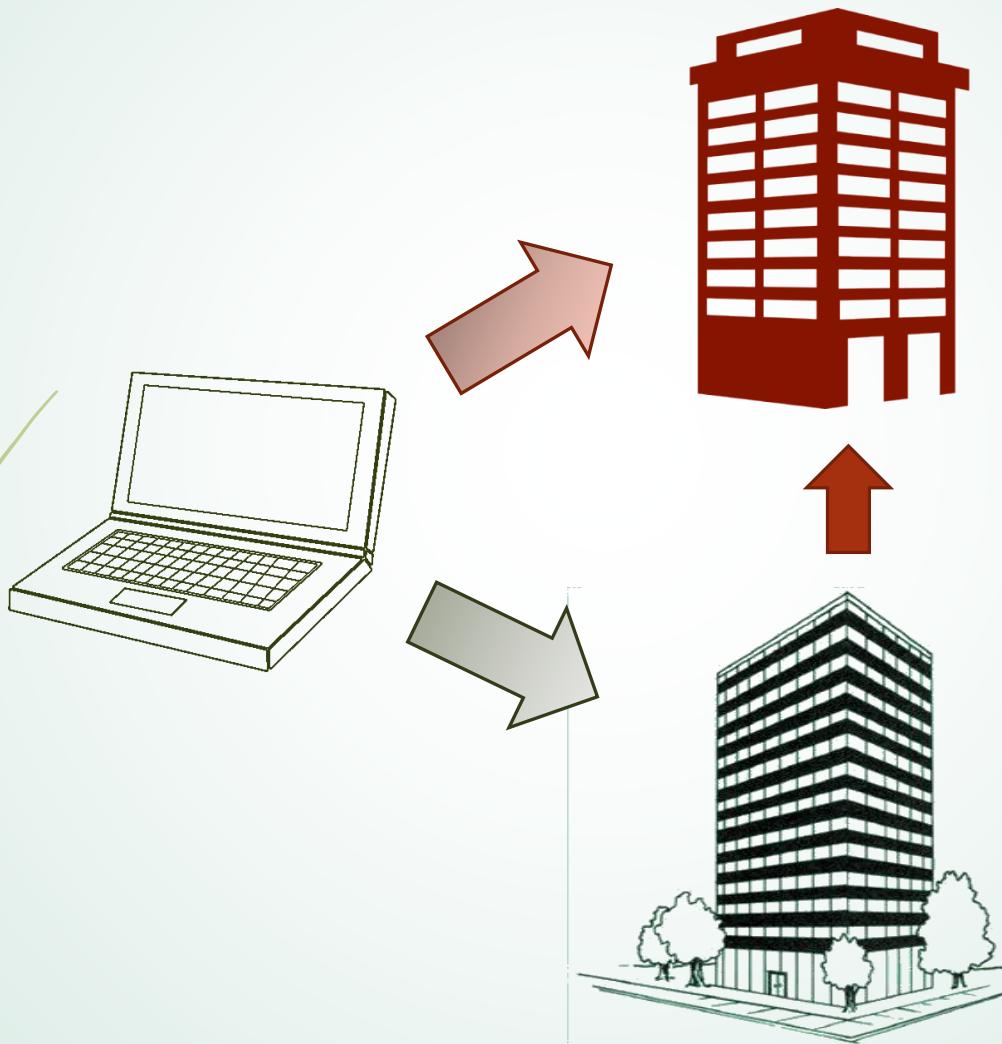
- Projeto pré sem as otimizações, segundo os critérios do LEED

### ► Projeto pós calibrado

- Projeto pré com dados reais de funcionamento, clima e calibrado com dados de medições (1 ano depois de construído)

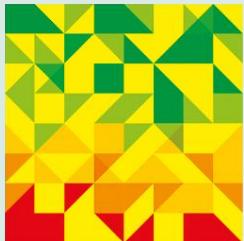


## PROJETOS *EX ANTE*



Linha de base  
pré

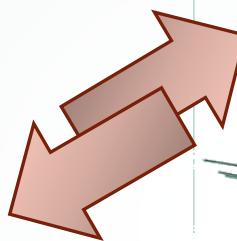
Projeto pré



# CALIBRAÇÃO

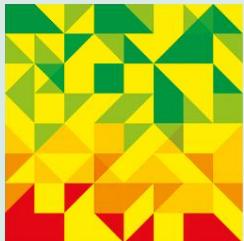


Consumo  
real

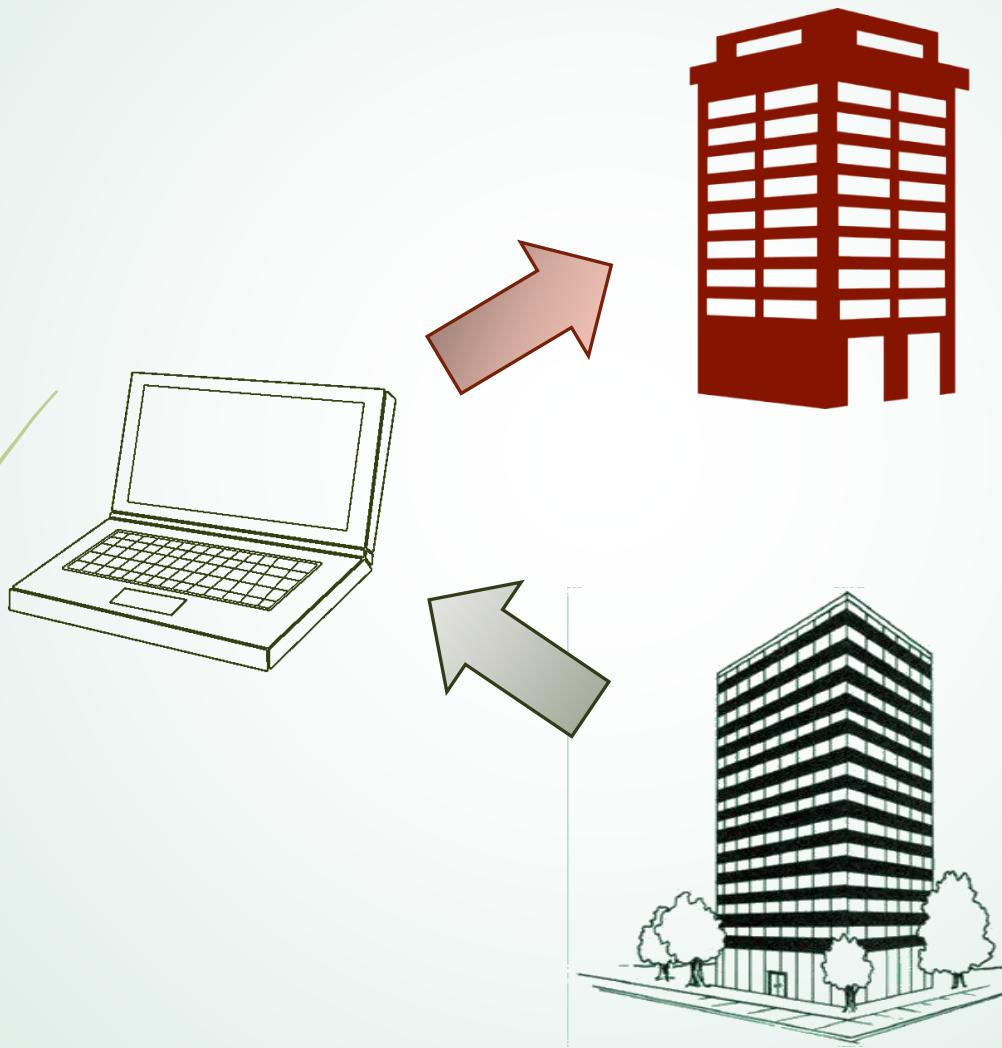


Projeto pós  
calibrado



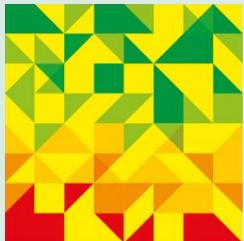


## PROJETOS EX POST



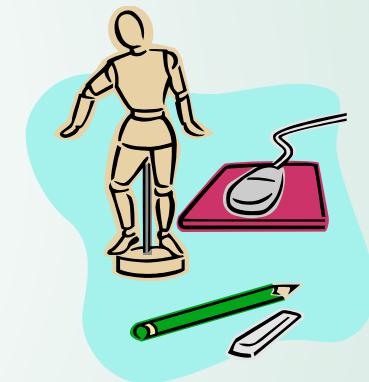
Linha de base  
pós calibrada

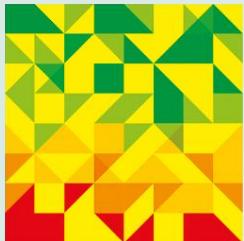
Projeto pós  
calibrado



## MODELOS – 2

- ▶ **Linha de base pós calibrado**
  - ▶ Projeto pós calibrado sem as otimizações, segundo os critérios do LEED
- ▶ **Projeto pós calibrado normalizado**
  - ▶ Projeto pós calibrado com dados do ano típico TMY2
- ▶ **Linha de base pós calibrado normalizado**
  - ▶ Linha de base pós calibrado com dados do ano típico TMY2





## MODELOS – 3

*Ex ante*

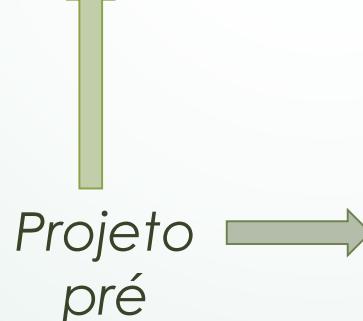
Dados  
climáticos

TMY2

Linha de  
base

Projeto

Linha de  
base pré



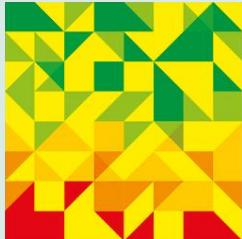
*Ex post*

Reais

TMY2

Linha de  
base pós  
calibrado  
normalizado

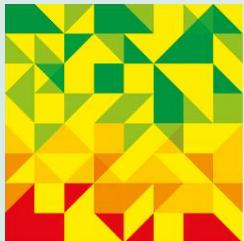
Projeto pós  
calibrado  
normalizado



## CALIBRAÇÃO

- ▶ O modelo *Projeto pré* é calibrado depois de um ano de funcionamento com dados reais de equipamentos, operação e clima
- ▶ Inclui a calibração do perfil de uso de:
  - ▶ iluminação
  - ▶ tomadas
  - ▶ aquecimento e resfriamento ambiental
  - ▶ bombas
  - ▶ refrigeração
  - ▶ ventilação
  - ▶ água quente
  - ▶ rejeição de calor
  - ▶ eficiência do chiller e caldeira
- ▶ Os dados são calibrados para uma precisão de 10% a cada mês e 5% no ano para todos os energéticos (e demanda)





1. Economia = Linha de base pós calibrado – Projeto pós calibrado
2. Economia = Linha de base pós calibrado  $\pm$  erros residuais – Energia medida
  - A equação 2 permite o ajuste dos erros encontrados no modelo de projeto
  - Os modelos normalizados podem ser utilizados no caso de “economia normalizada”





Empoderando vidas.  
Fortalecendo nações.

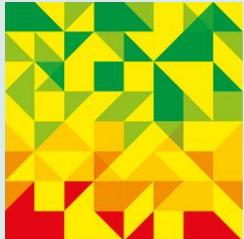


MINISTÉRIO DO  
MEIO AMBIENTE



# EXEMPLOS DA TURMA

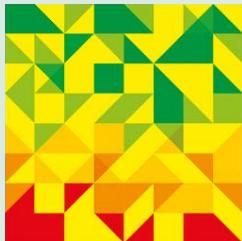




## TÓPICOS

- ▶ Sugestão de projetos
- ▶ Divisão da turma em grupos
- ▶ Discussão em grupo
- ▶ Apresentação em plenário

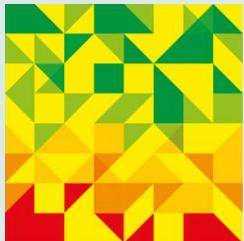




## SUGESTÃO DE PROJETO

- ▶ Real ou imaginário
- ▶ Preferência por situações específicas

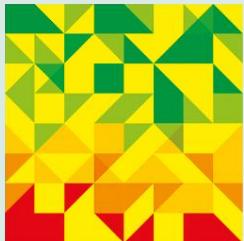




## DIVISÃO EM GRUPOS

- ▶ Grupos de 3 ou 4 pessoas
- ▶ Escolha “livre”
- ▶ Decisão final

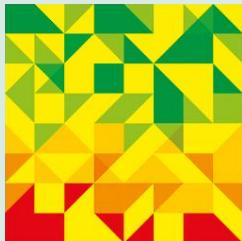




## ITENS DO PROJETO

- ▶ Características da instalação
- ▶ Descrição da AEE e objetivo
- ▶ Estratégia de M&V
  - ▶ Variáveis independentes
  - ▶ Fronteira de medição, opção do PIMVP
  - ▶ Fatores estáticos
  - ▶ Efeitos interativos
  - ▶ Linha de base: período, medições, modelo
  - ▶ Período de determinação

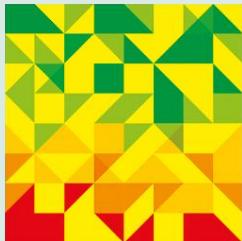




## EXEMPLO – INSTALAÇÃO E AEE

- ▶ Característica da instalação
  - ▶ Shopping com ar condicionado central
  - ▶ Estado do Rio de Janeiro
- ▶ Descrição da AEE e objetivo
  - ▶ Troca de chiller antigo
  - ▶ Aproveitamento dos equipamentos auxiliares (bombas, torre, fan-coils, etc.)
  - ▶ Economia de 20% do shopping

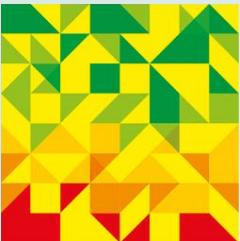




## EXEMPLO – ESTRATÉGIA DE M&V – OPÇÃO C

- ▶ Variáveis independentes
  - ▶ Temperatura ambiente (GDR 22°C)
  - ▶ Ocupação (índice vendas)
- ▶ Fronteira de medição, opção do PIMVP
  - ▶ Opção C: medidor geral
- ▶ Fatores estáticos: layout, uso das lojas
- ▶ Linha de base: período, medições, modelo
  - ▶ Ano anterior, consumo mensal
  - ▶ Regressão linear
- ▶ Período de determinação
  - ▶ Ano posterior

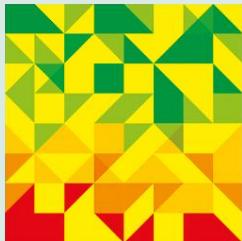




## EXEMPLO – ESTRATÉGIA DE M&V – OPÇÃO B

- ▶ Variáveis independentes
  - ▶ Carga térmica da água gelada
- ▶ Fronteira de medição, opção do PIMVP
  - ▶ Medidor energia chiller
  - ▶ Medidor carga térmica (instalado)
- ▶ Fatores estáticos: temperatura condensação
- ▶ Efeitos interativos: torre de resfriamento
- ▶ Linha de base: período, medições, modelo
  - ▶ Até conseguir boa variação carga térmica
  - ▶ Medições horárias
  - ▶ Regressão linear
- ▶ Período de determinação
  - ▶ Ano posterior





## EXEMPLO – ESTRATÉGIA DE M&V – OPÇÃO A

- ▶ Variáveis independentes
  - ▶ Carga térmica da água gelada
- ▶ Fronteira de medição, opção do PIMVP
  - ▶ Analisador energia chiller (provisório)
  - ▶ Medidor carga térmica (provisório)
  - ▶ Opção A
- ▶ Fatores estáticos, efeitos interativos = B
- ▶ Linha de base: período, medições, modelo
  - ▶ Até conseguir boa variação carga térmica
  - ▶ Medições horárias
  - ▶ Regressão linear
- ▶ Período de determinação
  - ▶ Até conseguir boa variação carga térmica
  - ▶ Estimativa: carga térmica mensal em um ano





*Empoderando vidas.  
Fortalecendo nações.*



45

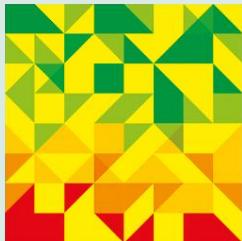


**MINISTÉRIO DO  
MEIO AMBIENTE**



## A M&V NO PEE

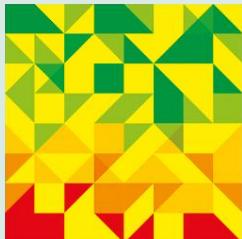




## LINHA DO TEMPO

Ano	Evento
2005	Obrigação de avaliação de M&V em todos os projetos segundo o PIMPV
2008 - 2011	Elaboração do estudo da ICF, PUC-Rio e Jordão (acompanhamento UNIFEI) para o Instituto ABRADEE com critérios mínimos de M&V para o PEE
2013	Publicação do PROPEE com o Módulo 8 – Medição e Verificação e do Guia de M&V
2014	Revisão do Guia de M&V (com apêndices)
201?	Estudos de longo prazo das ações do PEE, com definição de índices de consumo e de resultados de ações



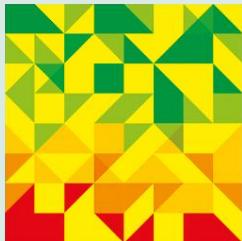


# DOCUMENTOS PARA A M&V NO PEE

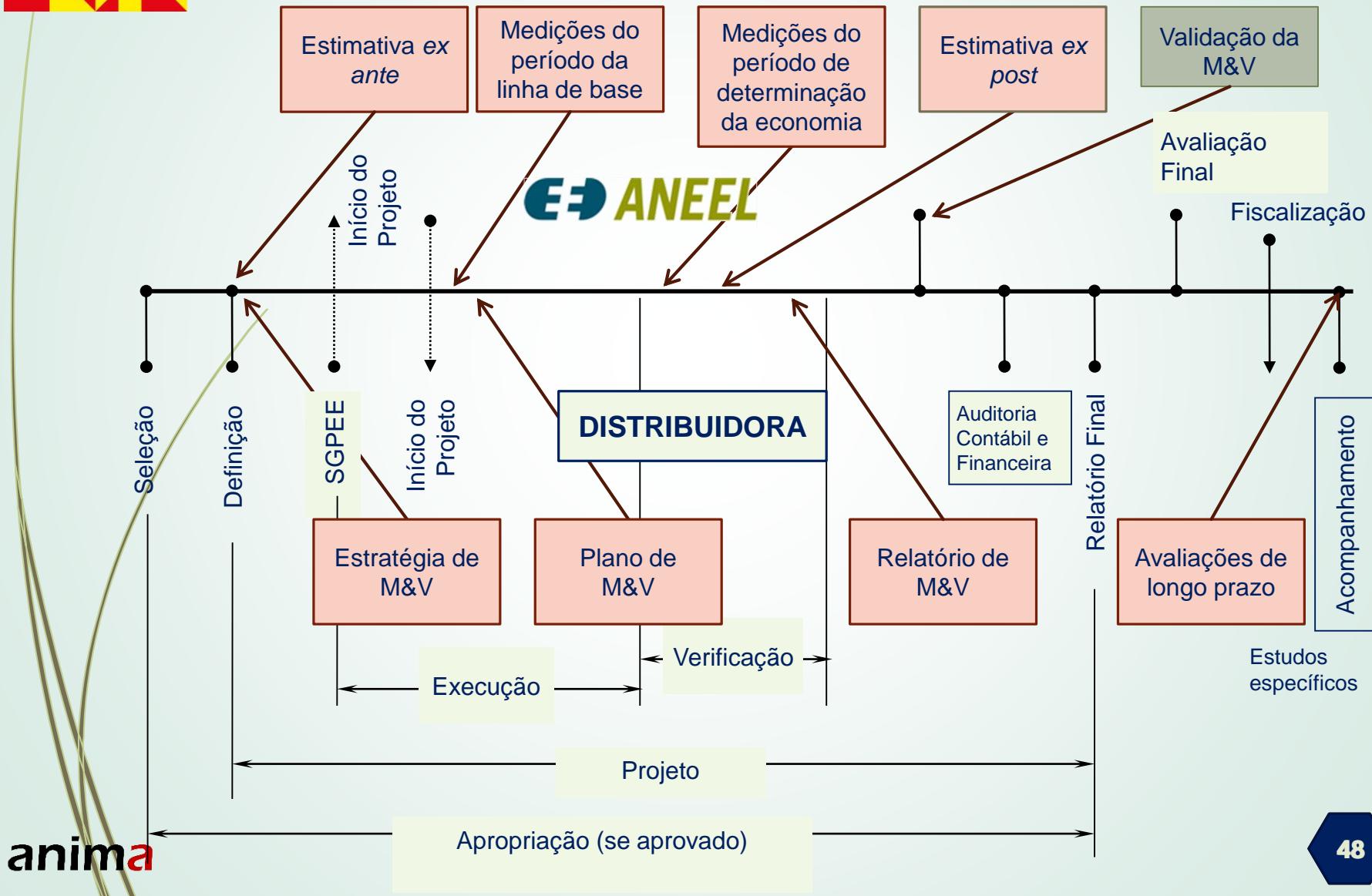
- ▶ PIMVP (EVO, 2012)
- ▶ PROPEE (Módulo 8, ANEEL, 2013)
- ▶ Guia de M&V
  - ▶ Documento base
  - ▶ Planilhas de M&V
  - ▶ Planos de M&V
  - ▶ Relatórios de M&V
  - ▶ Formulários de coleta de dados de M&V

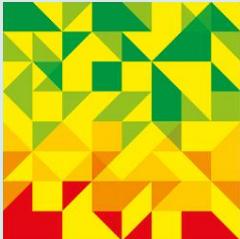


8 AEEs,  
extensível  
às demais



# ETAPAS DE UM PROJETO AO PEE





# PASSOS DA M&V NO PEE

Estimativa *ex ante*

Estimativa da energia e custos do período da linha de base, determinação e economia, durante o diagnóstico energético

Estratégia de M&V

Definição das variáveis independentes, fronteira de medição, Opção do PIMVP, modelo do consumo da linha de base, cálculo das economias, durante o diagnóstico energético

Medições do período da linha de base

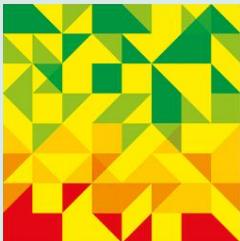
Instalação dos medidores definidos e medições do período da linha de base, antes da implantação da AEE

Plano de M&V

Elaboração do Plano de M&V (podendo-se usar o modelo), antes da implementação

Medições do período de determinação da economia

Medições do período de determinação da economia, de acordo com o Plano de M&V



# PASSOS DA M&V NO PEE – 2

Estimativa *ex post*

Estimativa da energia e custos economizados baseada nas medições efetuadas, calculadas de acordo com o Plano de M&V

Relatório de M&V

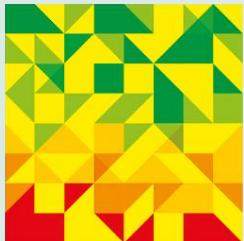
Elaboração do Relatório de M&V com a economia e custos economizados

Validação da M&V

Análise, pela ANEEL ou agente autorizado, dos procedimentos de M&V adotados.

Avaliações de longo prazo

Avaliações de longo prazo das economias obtidas, já fora do âmbito do projeto específico.

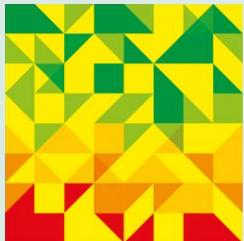


## AÇÕES PADRÃO DO PEE

► Para cada AEE nos slides seguintes, vamos traçar a “estratégia de M&V”:

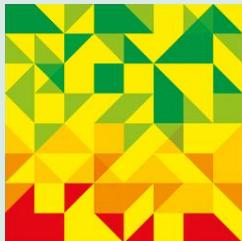
1. Fronteira e forma de medição
2. Variáveis independentes
3. Fatores estáticos (longo prazo)
4. Opção do PIMVP
5. Efeitos interativos
6. Segregação da amostra (“Sistemas”)





1. Iluminação em baixa renda
2. Refrigeração em baixa renda
3. Aquecimento d'água em baixa renda
4. Iluminação
5. Sistemas motrizes
6. Aquecimento d'água solar
7. Condicionamento de ar
8. Ar comprimido





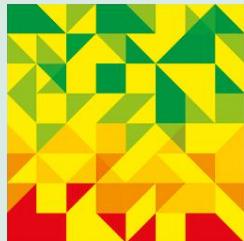
# 1 - ILUMINAÇÃO EM BAIXA RENDA

## ► Fronteira e forma de medição

### ► Potência das lâmpadas

### ► Tempo de uso

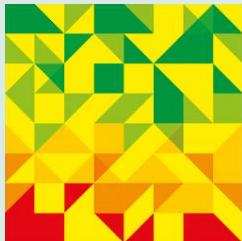




## ILUMINAÇÃO EM BAIXA RENDA – 2

► Uso na ponta

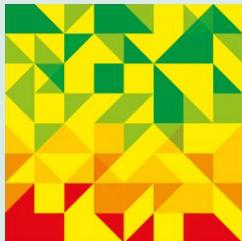




## ILUMINAÇÃO EM BAIXA RENDA - 3

- ▶ Variáveis independentes
  - ▶ Não há
- ▶ Fatores estáticos (longo prazo)
  - ▶ Para a mesma residência: pessoas, renda familiar, nº de cômodos
- ▶ Opção do IPMVP
  - ▶ A: medir potência, estimar tempo (geral e ponta) (grande variação)





## ILUMINAÇÃO EM BAIXA RENDA – 4

### ► Efeitos interativos

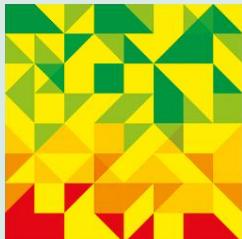
- Menor calor desprendido
- Menor perda circuitos a montante

### ► Sistemas

- Potência
- Único
- Tempo (geral e ponta)
- Ambiente: sala, cozinha, quartos



Dreamstime

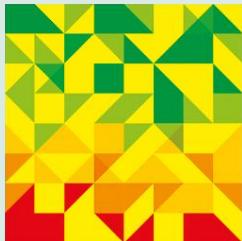


## 2 – REFRIGERAÇÃO EM BAIXA RENDA

- Fronteira e forma de medição



- 7 dias antes e depois
- Memória de massa

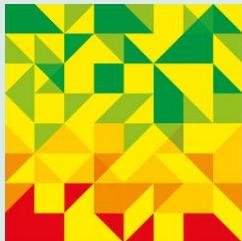


## 2 – REFRIGERAÇÃO EM BAIXA RENDA – 2

### ► Variáveis consideradas

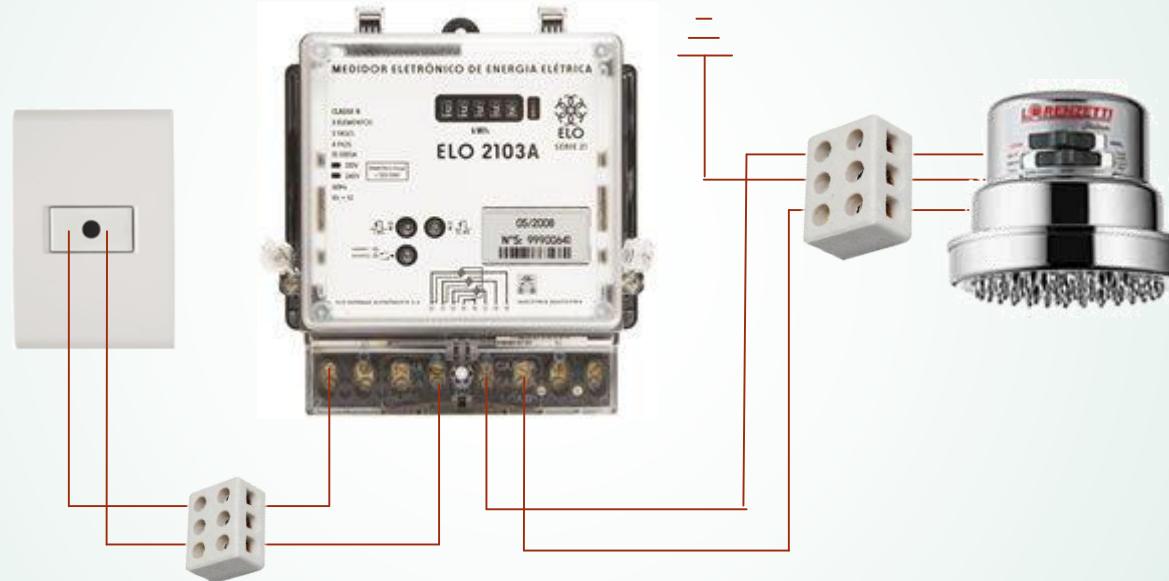
- Energia média por geladeira
- Energia média na ponta por geladeira
- Temperatura ambiente



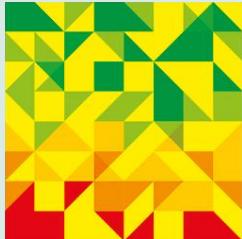


## 3 – AQUECIMENTO D'ÁGUA

- Fronteira e forma de medição



- 7 dias antes e depois
- Memória de massa

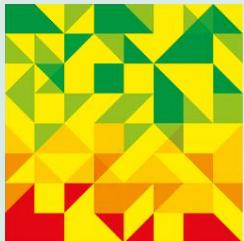


## 3 – AQUECIMENTO D’ÁGUA – 2

### ► Variáveis consideradas

- Potência média por banho
- Tempo de uso (diário e na ponta)
- Temperatura ambiente
- Insolação



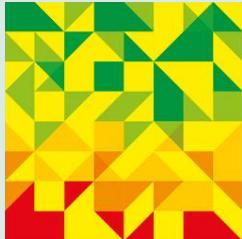


## 4 - ILUMINAÇÃO

### ► Medições:

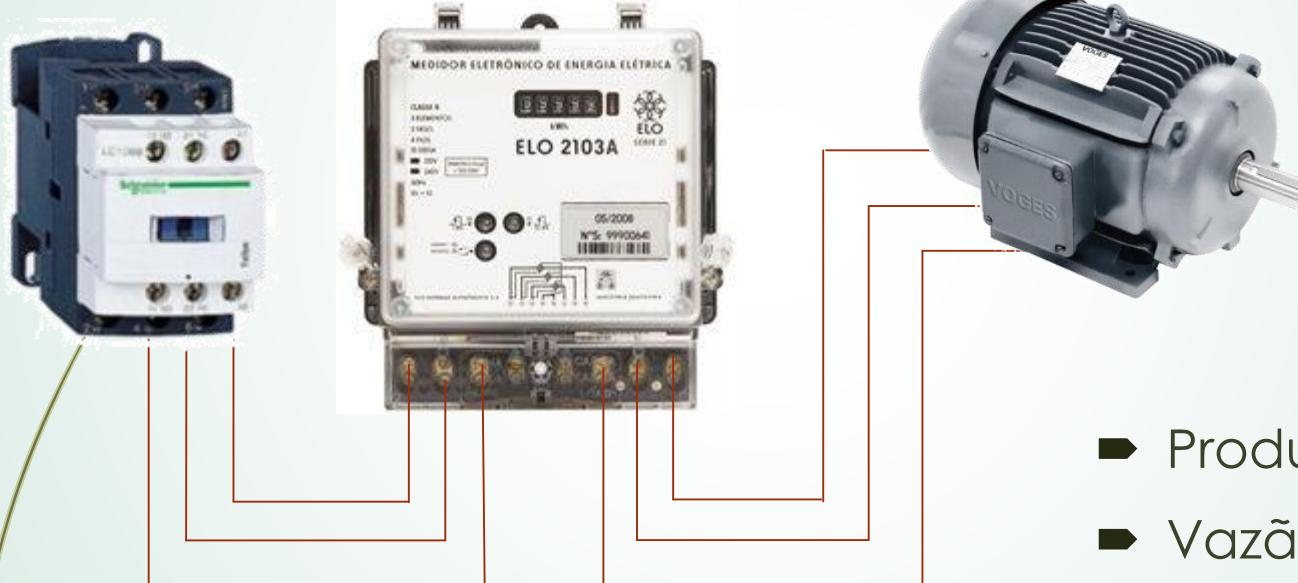
- Potência das lâmpadas
- Tempo de acendimento (estimativa) – geral e ponta



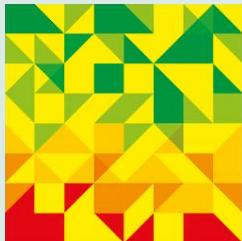


## 5 – SISTEMAS MOTRIZES

► Fronteira e forma de medição

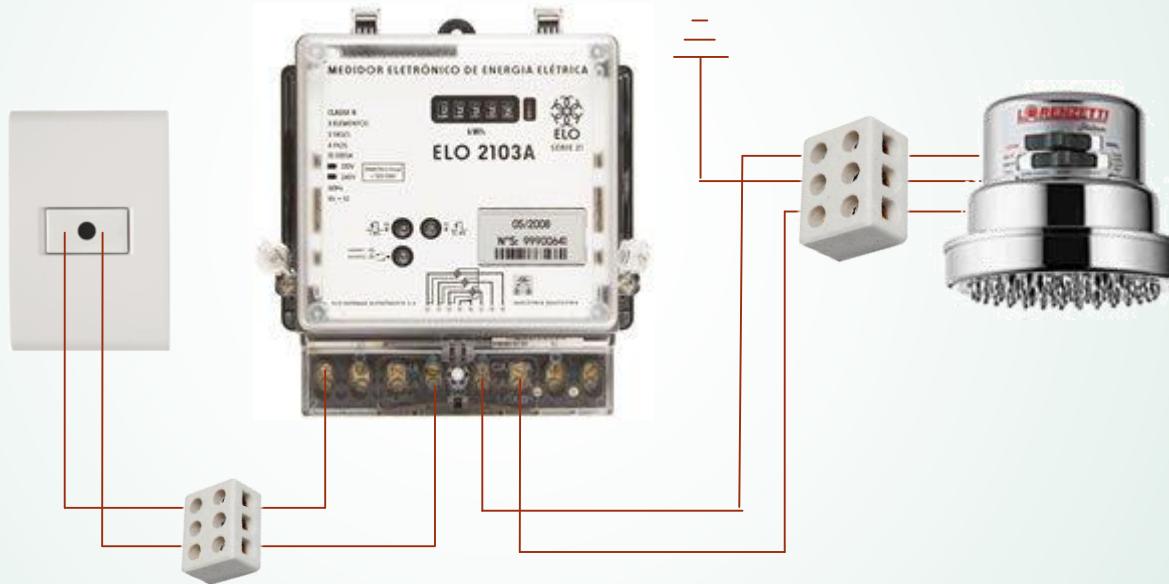


- Produção
- Vazão
- ...

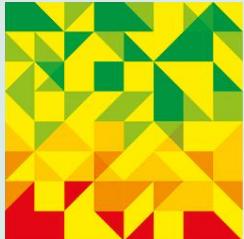


## 6 – AQUECIMENTO D'ÁGUA COM COLETOR SOLAR

- Fronteira e forma de medição

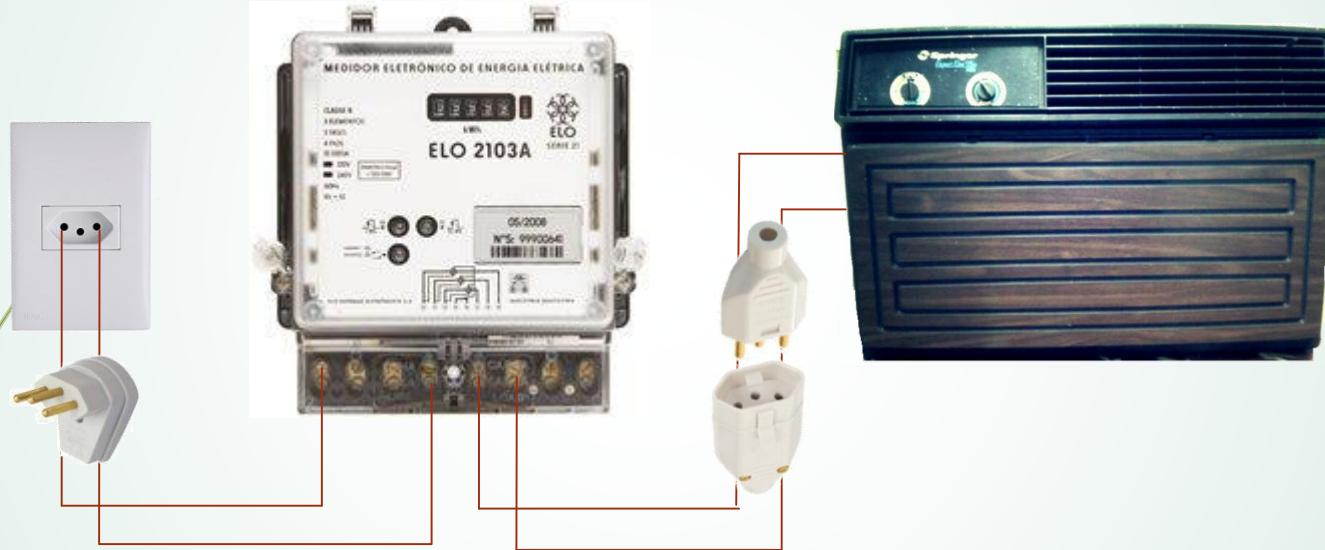


- 7 dias antes e depois
- Memória de massa

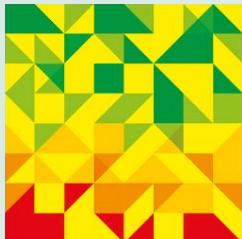


## 7 – CONDICIONAMENTO AMBIENTAL

### ► Fronteira e forma de medição



- Memória de massa
- 7 dias antes e depois (cada dia é uma medição)



## 8 – AR COMPRIMIDO

► Fronteira e forma de medição



- Produção
- Vazão
- ...



66

