



# Transformação de Mercado para Eficiência Energética no Brasil

## Produto 3

---

Avaliação de metodologias para os projetos de MDL de eficiência energética para aplicação em edificações públicas.

Contrato Nº 2017/000191

Projeto BRA09G31

Novembro 2017

Ministério do Meio Ambiente - MMA

Versão 01.0

Elaborado por:

Luis Filipe Kopp

## **Sumário Executivo**

Diversas metodologias dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foram analisadas e dentre as aplicáveis, a AMS-II.C é a metodologia que permite maior flexibilidade para as diversas aplicações que serão implementadas no Programa de Atividades (PoA) a ser desenvolvido.

Esta metodologia permitirá que ganhos indiretos de eficiência também possam aumentar a quantidade de créditos de carbono gerados, pois o monitoramento da linha de base permite se escolha dentre 3 (três) opções a que melhor se enquadra, considerando as particularidades de cada edificação. No entanto, para cada opção, há diferentes requisitos quanto ao tipo e período de monitoramento antes do início das melhorias e o projeto deverá prover um serviço similar ao que existia no cenário de linha de base. Por exemplo, o condicionamento de ar deve fornecer o mesmo conforto térmico ou a troca de lâmpadas incandescentes ou fluorescentes por LED com dimerização deve fornecer a mesma luminância.

Identificamos também a possibilidade de uso da metodologia AMS-I.D. para a micro geração de energia renovável através de tecnologias solar e eólica, que poderão acrescentar uma componente de geração de créditos de carbono.

## Índice

Sumário Executivo .....	2
1. Introdução.....	4
2. Aplicabilidade da metodologia.....	4
3. Definições.....	5
4. Metodologia de Linha de Base .....	6
4.1. Opção 1 – Equipamentos de carga constante .....	6
4.2. Opção 2 – Aparelhos de carga variável – estimativa por regressão .....	7
4.3. Opção 3 – Consumo específico .....	8
4.4. Cálculo de Linha de base para projetos com economia de combustível fóssil.....	8
5. Emissões de Projeto .....	8
6. Redução de Emissão.....	9
7. Metodologia de Monitoramento .....	9
8. Conclusão .....	10
Referências .....	12

## **1. Introdução**

O objetivo principal deste estudo é identificar uma metodologia apropriada a projetos de eficiência energética de edificações que contemplem o desempenho integrado do componente da envoltória do edifício e dos sistemas de iluminação e ar condicionado, e que esteja de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo conselho executivo do MDL no âmbito do Protocolo de Quioto. Além de identificar potenciais entidades com perfil para atuar como Entidade de Coordenação e Gerenciamento do PoA (CME).

No Conselho Executivo já existem diversas metodologias para eficiência energética de demanda. Algumas para tecnologias específicas, como a AMS-II.J. para troca de lâmpadas compactas fluorescentes. A metodologia aprovada de pequena escala AMS-II.C. é a mais genérica e possibilita o emprego de diversas tecnologias, o que é ideal para o cenário de muitas edificações públicas, com contextos diferentes.

Segundo a AMS-II.C., o projeto típico consiste na instalação de novos equipamentos mais eficientes, por exemplo, lâmpadas, refrigeradores, motores, bombas, ventilação, sistema de condicionamento de ar, etc. A metodologia permite a instalação em um ou mais locais, como reforma ou novas construções. No caso de novas construções será necessário adotar o passo-a-passo do parágrafo 18 do guia “*General guidelines for SSC CDM methodologies – versão 17.0*”. A redução de emissão de GEE nesses cenários acontece devido ao menor consumo de energia, logo menor necessidade de acionamento de térmicas à combustíveis fósseis no sistema elétrico nacional.

## **2. Aplicabilidade da metodologia**

O nível de serviço do projeto deve estar entre 90% e 150% do nível de serviço do cenário de linha de base. Essa comparação pode ser feita de forma agregada, ou seja, vários equipamentos de ar-condicionado sendo substituídos por um sistema central, mas com capacidade de refrigeração (“output”) semelhante aos equipamentos antigos.

Para garantir essa exigência, será necessário listar todos os equipamentos a serem substituídos e os substitutos, indicando a localização e estimar o “output” na fase de projeto. O sistema elétrico deverá ser dividido para agrupar esses equipamentos, de forma que equipamentos que não estejam no projeto não sejam indevidamente monitorados. Essa medida é necessária para garantir que não serão gerados créditos por causa de um diferente uso de outros equipamentos.

Mesmo nos equipamentos do projeto, existe o efeito chicote (ou “Rebound Effect”) onde medidas de eficiência energéticas podem estimular desperdícios devido ao menor custo total da energia. Por exemplo, um projeto que troque lâmpadas incandescentes por LED, o monitoramento das horas de funcionamento da LED pode levar ao engano se considerar que na ausência do projeto as incandescentes funcionariam pelo mesmo tempo. Assim, existe um limite de projeto da média histórica dos últimos 3 anos. Além disso, um projeto individual (uma edificação) não poderá ultrapassar o limite de 60 GWh/ano de energia elétrica ou 180 GWh térmicos por ano de entrada de combustíveis.

No caso de equipamentos energeticamente eficientes fizerem uso de gases refrigerantes, estes não poderão possuir Potencial de Destruição da Camada de Ozônio e suas emissões deverão ser consideradas como emissões de projeto.

A versão 15 da metodologia AMS-II.C. é a mais recente e é válida desde 13 de Maio de 2016. Essa metodologia pertence ao Escopo 3 e somente EOD acreditada nesse escopo poderá ser contratada para validação ou verificação. Outras metodologias ou ferramentas deverão ser consideradas:

1. General guidelines for the small-scale (SSC) clean development mechanism (CDM) methodologies;
2. Methodological tool for demonstration of additionality of SSC project activities;
3. AMS-I.D: Grid connected renewable electricity generation;
4. Tool to determine the remaining lifetime of equipment;
5. Tool to calculate baseline, project and/or leakage emission from electricity consumption;
6. Tool to determine baseline efficiency of thermal and electricity systems.

### **3. Definições**

A metodologia AMS-II.C. define edificação comercial como o edifício que é principalmente usado com fins comerciais e pequenas ou média empresas, excluindo produção industrial. A edificação comercial pode ser dividida em:

- Privada: escritórios comerciais, shoppings, hotéis, hospitais privados e instalações de instituições de ensino privada;
- Governamental: escritórios de governo, instalações públicas de saúde ou de educação, galerias, museus, tribunais e penitenciárias.

O tempo de vida dos equipamentos podem ser classificados como o tempo até defeito, ou outro critério definido pela IEC 60696 ou equivalente nacional. O tempo médio é o tempo onde 50% dos equipamentos atingem o final do tempo de vida

## 4. Metodologia de Linha de Base

O limite do projeto é a localização geográfica de todos os equipamentos e sistemas afetados pela atividade de projeto, incluindo os equipamentos e a área impactada. No caso do projeto, isso compreende os prédios públicos incluídos em cada CPA.

A possibilidade de ao final do tempo de vida do equipamento existente o cenário de projeto ser o mais viável, deverá ser considerado. Mas no projeto será demonstrado que o contrato de manutenção, em geral, prevê a troca de equipamentos defeituosos por outros similares.

Existem três opções para calcular a linha de base:

### 4.1. Opção 1 – Equipamentos de carga constante

Esta opção considera equipamentos que funcionam com carga constante, por exemplo, lâmpadas sem dimerização ou bombas d'água que funcionam com volume e altura manométrica constante. A condição de carga constante deve ser demonstrada através do monitoramento ou utilizando dados históricos do registro de consumo de energia pelo período de 1 (um) ano antes do início do projeto. Para isso, 90% dos registros devem estar a  $\pm 10\%$  da média anual.

As equações para determinação da linha de base nessa opção são as seguintes:

Equação (1)  $BE_y = E_{BL,y} \times EF_{CO2,ELEC,y} + Q_{ref,BL} \times GWP_{ref,BL}$

Equação (2)  $E_{BL,y} = \sum_i (n_i \times \rho_i \times o_i / (1 - l_y))$

Sendo:

$BE_y$  = Emissões de Linha de Base (tCO<sub>2</sub>e)

$E_{BL,y}$  = Consumo de Energia na linha de base (kWh)

$EF_{CO2,ELEC,y}$  = Fator de Emissão do Grid (tCO<sub>2</sub>/MWh).

$n_i$  = Número de equipamentos do agrupamento i que foi substituído

$\rho_i$  = Potência dos equipamentos (kW) no grupo i

$o_i$  = Horas de operação média anual (medição mínima de 90 dias)

$l_y$  = Perdas técnicas de transmissão e distribuição de energia (fração). Valor padrão é 0,1.

$Q_{ref,BL}$  = Quantidade de gás refrigerante que poderia vazar (ton)

$GWP_{ref,BL}$  = Poder de Aquecimento Global(PAC) do gás refrigerante (tCO<sub>2</sub>e/ton)

Um exemplo de projeto que usaria a opção 1 seria o bombeamento para irrigação de um aquífero com profundidade constante e vazão constante. O horário de funcionamento varia sazonalmente e anualmente dependendo dos padrões de chuva. O projeto substituiria as bombas por outras mais eficientes. O monitoramento durante 1 (um) ano demonstrou a condição e carga constante 90%/10%. Medição de 6 horas é feita para estabelecer a demanda de energia (potência). Durante o projeto o tempo de funcionamento em horas é registrado durante o período de creditação.

#### 4.2. Opção 2 – Aparelhos de carga variável – estimativa por regressão

Esta opção é válida somente para reformas e aplica-se para cenários de linha de base que variam de acordo com uma variável independente, por exemplo, o condicionamento de ar pode variar em função da ocupação, temperatura média externa, exposição solar, etc. Uma função matemática deve ser elaborada para estimar a linha de base, usando como monitoramento as variáveis independentes relevantes.

The baseline emissions under Option 2 are calculated as follows:

$$\text{Equação (3)} \quad E_{BL,y} = \sum_i (n_i \times kWh_i) / (1 - l_y)$$

$$\text{Equação (4)} \quad BE_y = E_{BL,y} \times EF_{CO2,ELEC,y} + Q_{ref,BL} \times GWP_{ref,BL}$$

Sendo:

$kWh_i$  = Média do uso de energia por ano do equipamento no grupo  $i$ . Os dados para análise devem cobrir pelo menos 12 meses consecutivos, e o intervalo de medição tipicamente entre 15 min a 1 hora. O nível de confiança de 90%.

Um exemplo de projeto para essa opção seria um projeto em uma instalação escolar onde os espaços são refrigerados por diversos aparelhos e o projeto consiste na instalação de um sistema central que utiliza água gelada. O proponente de projeto desenvolverá um modelo usando regressão para prever o uso anual de energia em kWh. Para esse simples exemplo, todas as unidades no cenário de linha de base possuem a mesma potência, e as variáveis independentes são temperatura de bulbo seco e ocupação da edificação. Chega-se à equação descrita abaixo:

$$kWh_i = \sum_k (b + x_1 \times (OAT - T_{cp})_+ \times occ + x_2 \times (OAT - T_{cp})_+ \times unocc)_k$$

Sendo:

$k$  = A  $k$ -ésima hora do período de refrigeração (funcionamento)  
 $b$  = Coeficiente de regressão  
 $x_1$  = Coeficiente de regressão quando a escola está operando  
 $OAT$  = Temperatura externa média

$T_{cp}$	=	Temperatura exterior quando a refrigeração não é mais necessária
$x_2$	=	Coeficiente de regressão quando a escola não está em funcionamento
$occ$	=	Ocupação: 1 – em funcionamento, 0 – não funcionando
$unocc$	=	Desocupação: 1 – não funcionando, 0 - funcionando

Dados horários da temperatura externa (OAT) e energia (kWh) foram coletados durante 12 meses. O período incluiu temperaturas nas condições de máxima (de pico) de funcionamento e as mínimas. A coleta de dados também aconteceu durante feriados/ férias, quando a escola não estava em funcionamento. Dados de média diária foram usados ao invés de dados horários pois apresentaram melhor modelo.

### 4.3. Opção 3 – Consumo específico

Esta opção é válida somente se a razão entre saída e entrada de energia nos equipamentos de linha de base não variam no intervalo de uso. A linha de base é calculada através do consumo específico multiplicado pela saída do cenário de projeto. As fórmulas usadas são as seguintes:

$$\text{Equação (5)} \quad BE_y = E_{BL,y} \times EF_{CO2,ELEC,y} + Q_{ref,BL} \times GWP_{ref,BL}$$

$$\text{Equação (6)} \quad E_{BL,y} = \sum_i [EER_i \times Q_{i,y} / (1 - l_y)]$$

Sendo:

$EER_i$	=	Consumo específico de linha de base (MWh/unidade/ano) para equipamento no grupo i. Essa variável é calculada dividindo-se o total de saída pelo total de entrada de energia em um ano.
$Q_{i,y}$	=	Quantidade total de saída no ano y para equipamento do grupo i

Como exemplo de projeto nessa opção seria o melhoramento na estação de bombeamento de água, onde volume de água bombeada e consumo de energia eram devidamente monitorados.

### 4.4. Cálculo de Linha de base para projetos com economia de combustível fóssil

Caso a energia deslocada tenha origem por combustível fóssil, a linha de base é o nível de consumo de combustível que seria usado na ausência do projeto e a emissão correspondente é o consumo multiplicado pelo fator de emissão do combustível correspondente.

## 5. Emissões de Projeto

As emissões de projeto consistem no consumo de eletricidade e combustível fóssil usado nos equipamentos de projeto. O cálculo é feito conforme equação abaixo:

$$\text{Equação (7)} \quad PE_y = EP_{PJ,y} \times EF_{CO2,y} + PE_{ref,y}$$

Sendo:

$PE_y$  = Emissões de projeto no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e)

$EP_{PJ,y}$  = Consumo energético na atividade de projeto no ano  $y$ , determinado *ex post*, baseado nos dados de monitoramento.

$EF_{CO_2,y}$  = Fator de emissão da eletricidade ou combustível.

$PE_{ref,y}$  = Emissões de projeto de gases refrigerantes (tCO<sub>2</sub>e)

O consumo energético de projeto no caso de projetos que deslocam o consumo do grid é determinado:

Equação (8) 
$$EP_{PJ,y} = \sum_t \sum_i (n_i \times \rho_i \times o_i) / (1 - l_y)$$
  
Sendo:

$n_i$  = Número de equipamentos no grupo  $i$  operando no período  $t$  e ano  $y$

$\rho_i$  = Demanda de energia (kW) dos equipamentos do grupo  $i$  medidos durante períodos  $t$  no ano  $y$

$o_i$  = Horas de funcionamento dos equipamentos do grupo  $i$  no intervalo  $t$  e ano  $y$

Emissões de projeto de gases refrigerantes devem ser calculados conforme equação abaixo:

Equação (9) 
$$PE_{ref,y} = (Q_{ref,PJ,y}) \times GWP_{ref,PJ}$$
  
Sendo:

$PE_{ref,y}$  = Emissões de fuga no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e/y)

$Q_{ref,PJ,y}$  = Quantidade do gás refrigerante usado (ton)

$GWP_{ref,PJ}$  = Poder de Aquecimento Global do respectivo gás (tCO<sub>2</sub>e/ton refrigerante)

## 6. Redução de Emissão

A Redução de Emissão é calculada pela diferença entre emissões de linha de base e emissões de projeto.

## 7. Metodologia de Monitoramento

- O número, tipo e potência dos equipamentos substituídos devem ser registrados e uma amostra representativa verificada, para garantir que não haja superestimativas.
- Para projetos na Opção 1, o monitoramento de potência e horas de funcionamento ou o consumo em kWh. A potência pode ser medida em testes de bancada ou dados do fabricante.
- Em qualquer opção, verificações anuais devem ser feitas para garantir o funcionamento de sistemas que não possuem medição.

- Para projetos de iluminação, a capacidade de iluminação de lâmpadas do projeto deve ser igual ou maior que o das lâmpadas trocadas. Pode-se usar dados nacionais para garantir a comparação. Caso não esteja disponível, usa-se os valores da tabela abaixo:

Lâmpada Incandescente (Watt)	Capacidade de iluminação mínima (Lumen)
25	230
40	415
50	570
60	715
75	940
90	1,227
100	1,350
150	2,180
200	3,090

- O tempo de vida de cada lâmpada tipo de lâmpada deve ser conhecido e incluído no projeto, citando o padrão usado pelo fabricante.
- As lâmpadas a serem usadas no projeto devem ser marcadas para identificação. As lâmpadas antigas devem ser descartadas
- Para projetos que adotem a opção 2, o monitoramento deverá ser a energia consumida de uma amostra apropriada dos equipamentos instalados.
- Para projetos que adotem a opção 3, a saída e consumo devem ser medidos.
- Se amostragem for necessária, o “Standard on sampling and surveys for CDM project activities and PoA” deve ser seguido.

## 8. Conclusão

A metodologia AMS-II.C. é a mais genérica e que aborda as diversas tecnologias que poderão ser usadas para melhorar a eficiência energética em prédios públicos. Não foram identificados problemas *a priori* para sua aplicação, facilitando o processo de monitoramento.

Existem 3 (três) opções para a definição de linha de base: carga fixa, carga variável com regressão e o consumo específico. A adoção dessas três opções fornece uma boa variedade de soluções para serem adotadas em cada caso, no entanto, algumas exigem o monitoramento do consumo de energia por um ano antes do início do projeto.

No caso de melhorias na envoltória dos edifícios, os efeitos na metodologia se dariam de forma indireta. Por exemplo, medidas que melhoram o isolamento térmico, exigirão menor funcionamento dos novos sistemas condicionadores de ar, logo, menor consumo se comparado com a linha de base.

Para a geração de energia renovável através de tecnologias como fotovoltaica e eólica, a metodologia AMS-I.D. poderá ser utilizada, demonstrando separadamente sua adicionalidade, mas sem comprometimento do projeto. Basta monitorar a quantidade de energia gerada e aplicar o fator de emissão.

## Referências

- MCTIC (2017) Fatores de emissão da margem de operação pelo método da análise de despacho, disponível em [http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao\\_despacho.html](http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_despacho.html)
- UNFCCC (2014) AMS-I.D. - Grid connected renewable electricity generation, Versão 18.0, disponível em <http://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/W3TINZ7KKWCK7L8WTXFQQOFQQH4SBK>
- UNFCCC (2016) AMS-II.C. - Demand-side energy efficiency activities for specific Technologies, Versão 15.0, disponível em <http://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/7Y44EN2RTD02AJ78JVWCGARE8W64KP>