

## 4

# Cálculo da Linha de Base de Projetos de Geração de Energia Elétrica no Brasil

### 4.1

#### Introdução

Conforme ressaltados no Capítulo 2 desta tese, os conceitos de adicionalidade e linha de base são fundamentais no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Segundo o estabelecido pelo Protocolo de Quioto e pelos Acordos de Marraqueche, todo projeto MDL deve ter a sua adicionalidade comprovada antes de ser registrado pelo Comitê Executivo, o que significa, entre outras coisas, mostrar que as suas emissões são inferiores às emissões da linha de base [8].

Motivado pelo forte conservadorismo adotado pelo Comitê Executivo para reconhecer a adicionalidade dos projetos propostos, diversas metodologias têm sido desenvolvidas para a determinação de linhas de base confiáveis. Até Outubro de 2006, cerca de 64 metodologias já haviam sido aprovadas pelo Comitê Executivo, as quais têm sido utilizadas pelos mais de 400 projetos registrados até o momento.

No âmbito do MDL, os projetos propostos são classificados por categorias, sempre de acordo com a atividade praticada. Por exemplo, projetos que evitam a emissão do gás Metano produzido em aterros sanitários se enquadram na categoria de **Manejo e Disposição do Lixo**. Adicionalmente, os projetos que promovem a fixação do carbono através do reflorestamento de áreas desmatadas pertencem à categoria de **Florestamento e Reflorestamento**. Enfim, existe um total de 15 categorias de projetos cujo objetivo é classificar as mais diversas atividades que podem ser desenvolvidas dentro do MDL.

Os projetos estudados nesta tese promovem a redução das emissões de CO<sub>2</sub> aumentando a geração de eletricidade a partir do uso das fontes renováveis de energia. Este tipo de projeto pertence a uma categoria denominada **Indústria**

**Energética**, que por sua vez é responsável por mais de 58% dos projetos brasileiros registrados até o momento [6].

Cabe ressaltar que uma das premissas deste trabalho é que toda a energia gerada pelos projetos MDL é destinada à rede básica do Sistema Interligado Nacional. Nota-se que esta consideração dificulta a determinação da linha de base, uma vez que é necessário identificar a procedência de toda a energia deslocada por esses projetos. Esta informação é relevante no sentido de se conhecer qual seria a fonte primária de geração (gás natural, óleo combustível, etc.) caso os projetos propostos não fossem implantados [7].

No âmbito do MDL, cabe ressaltar que algumas metodologias têm sido desenvolvidas com o objetivo de determinar a linha de base de empreendimentos com essas características. Para as análises realizadas neste trabalho, foram utilizadas as metodologias AMS-I.D [2] e ACM0002 [1], pois estas metodologias se destinam especificamente aos projetos que utilizam as fontes renováveis de energia. A metodologia ACM0002 é aplicável somente aos projetos de grande escala, ou seja, aos projetos cuja capacidade instalada é superior a 15 MW. Por outro lado, a metodologia AMS-I.D é aplicável somente aos projetos de pequena escala.

Ressalta-se que os projetos de pequena escala podem fazer uso de metodologias simplificadas para o cálculo da sua linha de base [7]. Em geral, estas metodologias são menos conservadoras no que tange a demonstração da adicionalidade do projeto. Uma vez que a quantidade de energia produzida por este tipo de projeto é muito pequena quando comparada à produção total do parque gerador, este tipo de procedimento é permitido por entender-se que esses projetos terão pouca ou nenhuma influência sobre as decisões de novos investimentos. A metodologia AMS-I.D é um exemplo de metodologia simplificada.

Nas próximas seções as metodologias ACM0002 e AMS-I.D serão descritas detalhadamente.

## 4.2 Metodologia ACM0002 - Projetos de Grande Escala

A metodologia ACM0002 (*Approved Consolidated Baseline Methodology n° 2*) tem por objetivo orientar a determinação da linha de base de projetos que geram energia elétrica a partir de fontes renováveis e que estejam conectados à rede básica do país anfitrião. Entretanto, cabe ressaltar que o uso desta metodologia não é geral, sendo necessário que os projetos atendam a determinadas condições. Em resumo, esta metodologia contempla os seguintes empreendimentos de geração de energia elétrica [1]:

- ✓ usinas hidrelétricas com reservatórios existentes cujo volume não venha a aumentar em virtude do projeto MDL;
- ✓ usinas hidrelétricas fio d'água;
- ✓ novas usinas hidrelétricas cujos reservatórios tenham densidade de potência<sup>19</sup> maior do que 4 W/m<sup>2</sup>;
- ✓ empreendimentos eólicos;
- ✓ empreendimentos que utilizam a energia geotérmica;
- ✓ empreendimentos que utilizam a energia solar;
- ✓ e, finalmente, empreendimentos que utilizam a energia das ondas ou das marés.

Neste trabalho, quatro novos empreendimentos de geração de energia elétrica serão analisados, duas Pequenas Centrais Hidrelétricas, ambas caracterizadas como usinas fio d'água, e dois parques eólicos. Considerar-se-á que todos os empreendimentos estarão conectados ao Sistema Interligado Nacional. Uma vez que a linha de base do projeto é calculada em função das emissões evitadas pela sua própria atividade, esse cálculo deve considerar todas as usinas fisicamente conectadas ao sistema elétrico a que pertence o projeto MDL [1].

---

<sup>19</sup> Segundo a metodologia ACM0002 [1], define-se como densidade de potência a relação entre a capacidade instalada e a área da superfície alagada pelo reservatório cheio de um determinado empreendimento hidrelétrico.

Conforme descrito na própria metodologia ACM0002, define-se como um sistema elétrico a extensão espacial de um grupo de usinas que possam ser despachadas sem restrições significativas de transmissão. O sistema elétrico no qual o projeto MDL se encontra conectado é denominado **sistema do projeto**. Por outro lado, todo sistema elétrico conectado ao sistema do projeto é denominado **sistema conectado**.

Atualmente, grande parte dos projetos brasileiros registrados pelo Comitê Executivo faz uso, direto ou indireto, da metodologia ACM0002. Conforme previamente ressaltado no Capítulo 3, é importante recordar que em todos esses projetos o Sistema Interligado Nacional tem sido dividido em dois grandes subsistemas elétricos: o subsistema Norte-Nordeste e o subsistema Sul-Sudeste-Centro-Oeste.

Cabe ressaltar que definir de forma clara a extensão espacial dos sistemas elétricos é fundamental para que seja possível quantificar as suas importações e exportações de energia elétrica. Qualquer transferência de eletricidade dos sistemas conectados para o sistema do projeto é definida como uma importação de energia. A situação inversa define uma exportação de energia elétrica. Segundo o escopo da metodologia ACM0002, além da quantidade de energia importada e/ou exportada pelo sistema do projeto, a fonte primária dessa energia também deve ser considerada no cálculo da sua linha de base.

Apesar do dióxido de carbono não ser o único GEE que pode ser emitido pelos empreendimentos de geração de energia elétrica, é importante observar que apenas as emissões desse gás devem ser consideradas no cálculo da linha de base desse tipo de projeto [1]. De acordo com a metodologia ACM0002, a linha de base deve ser determinada através da combinação de dois tipos de Fator de Emissão: o Fator de Emissão da Margem Operacional e o Fator de Emissão da Margem Construtiva.

Na próxima seção, o procedimento de cálculo do fator de emissão pela Margem Operacional será descrito detalhadamente.

### 4.2.1 Fator de Emissão da Margem Operacional

O Fator de Emissão da Margem Operacional ( $EF_{OM}$ ) tem por objetivo quantificar as emissões de toda energia deslocada pela atividade do projeto MDL, sempre considerando que essa energia seria procedente das usinas marginais do sistema. No total, a metodologia ACM0002 estabelece quatro formas para se determinar o valor de  $EF_{OM}$ , sendo elas as seguintes:

- I. OM Simples;
- II. OM Simples Ajustado;
- III. OM da Análise dos Dados de Despacho;
- IV. OM Médio.

A primeira escolha deve ser sempre a **Análise dos Dados de Despacho**, ou seja, a opção III. Caso esta opção não possa ser empregada, os desenvolvedores do projeto devem optar pela alternativa II, ou seja, o método **OM Simples Ajustado**. Finalmente, as opções I e IV devem ser as últimas a serem consideradas, entretanto, cabe ressaltar que a opção I (OM simples) somente poderá ser empregada se os recursos de baixo custo e/ou operação obrigatória corresponderem a menos de 50% do despacho total do SIN<sup>20</sup>. A lógica inversa se aplica à opção IV (OM Médio) [1].

O cálculo do Fator de Emissão pela Margem Operacional pode ser realizado a partir de dois conjuntos de dados. O primeiro deles corresponde a dados coletados *ex-ante* à submissão do Documento de Concepção do Projeto. Já o segundo compreende dados de despacho coletados *ex-post* à cada ano de operação do projeto MDL. Cabe ressaltar que as opções I, II e IV, citadas anteriormente, permitem que o cálculo de  $EF_{OM}$  seja realizado tanto *ex-ante* quanto *ex-post*, diferentemente da opção III, a qual exige que este cálculo seja realizado *ex-post*.

---

<sup>20</sup> Segundo o escopo da metodologia ACM0002 [1], o grupo dos recursos de baixo custo operacional e operação obrigatória deve abranger as fontes de geração hidrelétrica, geotérmica, eólica, biomassa de baixo custo, nuclear e solar.

Uma vez que neste trabalho todas as opções possíveis de serem aplicadas ao sistema brasileiro serão analisadas, inclusive a **Análise dos Dados do Despacho** (opção III), considerar-se-á que  $EF_{OM}$  será determinado com base em um monitoramento *ex-post* dos dados de despacho. Conforme discutido no Capítulo 3, sabe-se que a operação energética do sistema elétrico brasileiro não pode ser considerada determinística para os períodos futuros, sendo assim, serão utilizados os resultados do modelo NEWAVE para estimar o Fator de Emissão da Margem Operacional ao longo do período de obtenção das RCEs.

Uma vez que as importações devem ser consideradas no cálculo da linha de base do projeto MDL, também é necessário determinar o fator de emissão da fonte primária dessa energia. Neste sentido, a metodologia ACM0002 disponibiliza outras quatro opções para o cálculo deste parâmetro:

- 0 tCO<sub>2</sub>e/MWh;
- os fatores de emissão das usinas específicas das quais a eletricidade é importada, sendo que esta opção só poderá ser adotada se estas usinas puderem ser determinadas;
- a taxa média de emissão da rede de exportação, sendo que neste caso, as importações líquidas do sistema do projeto não poderão exceder a 20% de sua geração total;
- o fator de emissão da rede exportadora, este determinado segundo as opções I, II ou III citadas anteriormente, sendo que esta opção só poderá ser adotada se as importações líquidas excederem 20% da geração total do sistema do projeto.

Além disso, o fator de emissão de toda energia importada de sistemas localizados em outros países deverá ser considerado nulo. No que tange às exportações de energia pelo **sistema do projeto**, as mesmas também deverão ser consideradas no cálculo do Fator de Emissão da linha de base.

Neste trabalho, considerou-se o fator de emissão das importações igual a 0 tCO<sub>2</sub>/MWh. Uma vez que a operação futura do sistema elétrico brasileiro não é determinística, preferiu-se esta opção por refletir o conservadorismo exigido pelo Comitê Executivo para se comprovar a adicionalidade dos projetos MDL.

A seguir, as alternativas I, II, III e IV, que determinam o cálculo do Fator de Emissão da Margem Operacional, serão descritas detalhadamente.

#### 4.2.1.1 OM simples

Por este método, o Fator de Emissão da Margem Operacional ( $EF_{OM}$ ) deve ser calculado através da razão entre dois somatórios: o primeiro das emissões de todas as plantas pertencentes ao **sistema do projeto**, e o segundo das suas respectivas gerações de energia elétrica. A vantagem do método **OM Simples** é que todas as plantas de baixo custo operacional e de operação obrigatória devem ser excluídas da análise, o que tende a elevar a linha de base do projeto MDL. Este método é descrito matematicamente pela equação 4.1.

$$EF_{OM,y} = \frac{\sum_{i,j} F_{i,j,y} \cdot COEF_{i,j}}{\sum_j GEN_{j,y}} \quad (4.1)$$

Nesta equação  $F_{i,j,y}$  representa o consumo do combustível  $i$  pela usina  $j$  durante o ano  $y$ ,  $GEN_{j,y}$  representa a quantidade de energia elétrica produzida pela usina  $j$  durante o ano  $y$ , e  $COEF_{i,j}$  representa o coeficiente de emissão de  $CO_2$  do combustível  $i$  consumido pela usina  $j$ . Novamente, ressalta-se que as plantas de baixo custo operacional e de operação obrigatória não devem ser consideradas no grupo  $j$  de usinas.

Na equação 4.1, note que  $F_{i,j,y}$  é definido em unidades de massa ou volume, enquanto  $COEF_{i,j}$  é definido em  $tCO_2$  por unidade de massa ou volume do combustível. Entretanto, caso  $COEF_{i,j}$  possa ser definido em função da capacidade de produção de energia elétrica da usina a partir do combustível  $j$ , ou seja, em  $tCO_2/MWh$ , a equação 4.1 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$EF_{OM,y} = \frac{\sum_{i,j} GEN_{i,j,y} \cdot COEF_{i,j}}{\sum_{i,j} GEN_{i,j,y}} \quad (4.2)$$

onde  $GEN_{i,j,y}$  representa a quantidade de energia elétrica produzida pela usina  $j$  a partir do consumo do combustível  $i$  durante o ano  $y$ . Adicionalmente, cabe ressaltar que o valor de  $GEN_{i,j,y}$  é definido em MWh/ano.

Para as usinas conectadas ao SIN, os valores de  $COEF_{i,j}$  (em  $tCO_2/MWh$ ) se encontram disponíveis nos diversos DCPs dos projetos brasileiros aprovados pelo Comitê Executivo (por exemplo, vide [9] e [30]). O Apêndice B contém a relação completa dos coeficientes de emissão ( $COEF_{i,j}$ ) utilizados neste trabalho.

Uma vez que o método **OM Simples** só pode ser aplicado quando a geração com os recursos de baixo custo e/ou operação obrigatória for inferior a 50% do despacho total do sistema, o mesmo não se aplica aos projetos que compõem o SIN. Apesar disso, o entendimento deste método é importante, pois as alternativas II, III e IV podem ser entendidas como simples adaptações do método **OM Simples**.

#### 4.2.1.2 OM Simples Ajustado

Este método pode ser considerado uma variação do método anterior, onde as plantas do sistema são separadas em dois grupos: o primeiro contemplando apenas as usinas de baixo custo e/ou operação obrigatória ( $k$ ), e o segundo contemplando as outras usinas do sistema ( $j$ ). Este método é descrito matematicamente pela equação 4.3.

$$EF_{OM,simples\ ajustado,y} = (1 - \lambda_y) \cdot \frac{\sum_{i,j} GEN_{i,j,y} \cdot COEF_{i,j}}{\sum_{i,j} GEN_{i,j,y}} + \lambda_y \cdot \frac{\sum_{i,k} GEN_{i,k,y} \cdot COEF_{i,k}}{\sum_{i,k} GEN_{i,k,y}} \quad (4.3)$$

Nesta equação, as variáveis  $COEF$  e  $GEN$  são análogas as definidas para a equação 4.2. Note que o fator de emissão anual de cada grupo de usinas é ponderado pelos fatores  $(1 - \lambda_y)$  e  $\lambda_y$ , que por sua vez representam o percentual do tempo em que cada um destes grupos foi marginal na operação do sistema. Sendo assim:

$$\lambda_y = \frac{N^\circ \text{ horas que as fontes de baixo custo/oper. obrig. são marginais}}{8760 \text{ horas}} \quad (4.4)$$

Segundo a metodologia ACM0002, o cálculo de  $\lambda_y$  deve seguir os seguintes passos:

1. Deve ser traçada a Curva de Permanência da Carga do Sistema a partir de dados (em MW) coletados em cada hora do ano. Estes dados devem ser classificados em ordem decrescente.
2. Organizar os dados coletados por fonte primária de geração, calculando-se a geração anual de todas as usinas que utilizam os recursos de baixo custo operacional e daquelas cuja operação seja obrigatória  $\left( \sum_{i,k} \text{GEN}_{i,k,y} \right)$ .
3. Traçar uma linha horizontal, cruzando a Curva de Permanência da Carga, de tal modo que a área abaixo desta curva seja igual à geração total anual (em MWh) dos recursos de baixo custo e de operação obrigatória.
4. Determinar o número de horas por ano em que as fontes de baixo custo e de operação obrigatória são marginais na operação do sistema, localizando a interseção da linha horizontal traçada na etapa 3 com a Curva de Permanência da Carga traçada na etapa 1. O número de horas à direita desta interseção representa o intervalo de tempo em que aquelas fontes foram marginais na operação do sistema. Se as linhas não se cruzarem, conclui-se que as fontes de baixo custo e de operação obrigatória nunca foram marginais durante o ano  $y$ , logo,  $\lambda_y$  é igual a zero.

Todas as etapas do cálculo de  $\lambda_y$  se encontram ilustradas na Figura 4.1. Segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico Brasileiro, no ano de 2003, o fator  $\lambda_y$  do subsistema S/SE/CO foi de 53,12% [30]. Já para o subsistema N/NE, este valor foi de 71,92% [9], indicando que as fontes de baixo custo e de operação obrigatória foram marginais por mais tempo no subsistema N/NE durante o ano de 2003.

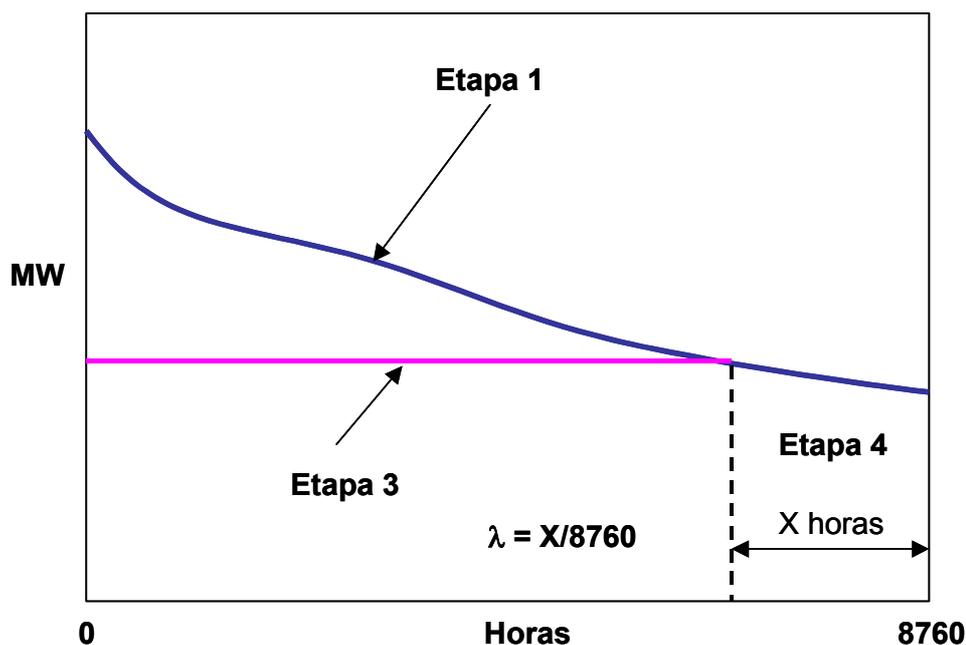


Figura 4.1 - Ilustração do Cálculo de  $\lambda_y$  para o Método OM Simples Ajustado

#### 4.2.1.3

#### OM da Análise dos Dados de Despacho

Este método considera que o cálculo do Fator de Emissão da Margem Operacional deve ser realizado com base nas emissões das últimas usinas despachadas pelo operador do sistema. Estes dados devem ser coletados hora a hora, para cada ano de operação do projeto MDL. Neste caso, definem-se como últimas usinas despachadas o grupo de usinas cuja geração combinada compreende 10% do total da energia despachada naquele momento, incluindo as importações do sistema do projeto. Matematicamente, este método pode ser descrito pela seguinte equação:

$$EF_{OM,DD,h} = \frac{\sum_{i,n} GEN_{i,n,h} \cdot COEF_{i,n}}{\sum_{i,n} GEN_{i,n,h}} \quad (4.5)$$

onde as variáveis COEF e GEN possuem significado análogo ao definido na equação 4.2, porém,  $EF_{OM,DD,h}$  deve ser calculado para cada hora de operação do sistema. Para determinar o conjunto de usinas que farão parte desse cálculo, deve-se obter, junto ao centro nacional de despacho, informações sobre a quantidade de energia elétrica (MWh) despachada para cada uma das usinas do sistema. Estas

informações devem ser disponibilizadas para cada hora em que o projeto MDL esteja em atividade.

De posse dessas informações, deve-se empilhar a geração das usinas empregando a ordem de mérito. A equação 4.5 será aplicada ao conjunto de usinas com menor mérito, ou seja, que pertencem ao topo da pilha. A geração combinada dessas usinas deve compreender 10% da geração de todas as usinas despachadas durante àquela hora, incluindo as importações do sistema do projeto.

Segundo o Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República do Brasil [7], a **Análise dos Dados de Despacho** é o método mais rigoroso para se determinar o Fator de Emissão da Margem Operacional, entretanto, também é o mais favorável para o caso brasileiro. Sendo assim, o papel do operador do sistema elétrico se torna fundamental, uma vez que cabe ao mesmo disponibilizar os dados desagregados de despacho de cada usina conectada ao **sistema do projeto**.

Em resumo, este método considera que a energia elétrica gerada a partir de fontes renováveis desloca a eletricidade produzida através da queima de combustíveis fósseis. Esta substituição ocorre na margem do sistema, ou seja, substituindo as fontes de energia com maior custo operacional e que só são solicitadas quando as fontes mais baratas, tais como as hidráulicas ou as nucleares, não podem atender a demanda de energia do sistema.

Finalmente, cabe ressaltar que os projetos brasileiros registrados até o momento têm utilizado o método **OM Simples Ajustado** para o cálculo do seu Fator de Emissão da Margem Operacional. Apesar da **Análise dos Dados de Despacho** ser inicialmente considerado o método mais vantajoso para o Brasil, os dados desagregados de despacho ainda não são disponibilizados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico.

#### **4.2.1.4 OM Médio**

Este método considera que o cálculo do Fator de Emissão da Margem Operacional deve ser realizado utilizando a mesma fórmula matemática empregada pelo método **OM Simples** (equação 4.2), entretanto, todas as usinas do

sistema devem ser consideradas nesta análise, inclusive as de baixo custo operacional e de operação obrigatória.

Este método não é vantajoso para o caso brasileiro pois considera toda a energia nuclear e a hidroeletricidade do sistema no cálculo do  $EF_{OM}$ . A partir dos dados do Balanço Energético Nacional (BEN) para os anos de 2000, 2001 e 2002, o NAE estimou qual seria o Fator de Emissão Médio para todo o Sistema Interligado Nacional. O valor encontrado foi de 0.059 tCO<sub>2</sub>e/MWh [7], ou seja, bastante inferior aos valores com os quais os projetos brasileiros têm sido aprovados (vide os DCPs dos projetos Coruripe [9] e Equipav [30]).

#### 4.2.2 Fator de Emissão da Margem Construtiva

O Fator de Emissão da Margem Construtiva ( $EF_{BM}$ ) tem por objetivo representar o comportamento da expansão do sistema na linha de base do projeto MDL. Apenas as usinas conectadas ao sistema do projeto devem ser consideradas neste cálculo, exceto quando os acréscimos à capacidade de transmissão permitirem aumentos significativos da eletricidade importada. Neste caso, o aumento da capacidade de transmissão deve ser considerado uma nova fonte da margem construtiva, cujo fator de emissão deve ser determinado através da mesma lógica estabelecida para as importações de energia elétrica (vide seção 4.2.1).

O cálculo de  $EF_{BM}$  é descrito matematicamente pela seguinte equação:

$$EF_{BM,y} = \frac{\sum_{i,m} GEN_{i,m,y} \cdot COEF_{i,m}}{\sum_{i,m} GEN_{i,m,y}} \quad (4.6)$$

Nesta equação  $COEF_{i,m}$  e  $GEN_{i,m,y}$  possuem o mesmo significado definido na equação 4.2, porém,  $m$  representa o grupo de usinas cuja geração anual é dada pelo maior valor entre as seguintes alternativas: as últimas cinco usinas construídas no sistema do projeto, ou os últimos acréscimos de capacidade deste sistema que compreendam 20% da sua geração total. Cabe ressaltar que todos os projetos MDL previamente construídos devem ser excluídos desta análise [1].

Assim como no cálculo do Fator de Emissão da Margem Operacional, a Margem Construtiva pode ser calculada utilizando-se dados coletados *ex-ante* ou *ex-post* à data de submissão do Documento de Concepção do Projeto. Entretanto, o cálculo *ex-post* só poderá ser aplicado para o primeiro período de obtenção dos créditos de carbono. Para todos os períodos subseqüentes, o cálculo de  $EF_{BM,y}$  deverá ser realizado *ex-ante*.

Seguindo a mesma lógica adotada para o cálculo de  $EF_{OM,y}$ , neste trabalho o Fator de Emissão da Margem Construtiva será calculado *ex-post* à cada ano de operação do projeto MDL. Esta opção, além de ser considerada a mais conservadora [31], também permitirá que seja considerado o impacto do planejamento realizado pelo PDEE 2006-2015 no fator de emissão dos projetos MDL conectados ao SIN.

Cabe ressaltar que, para o período de 1980 a 2005, os dados de expansão do setor elétrico brasileiro utilizados neste trabalho foram obtidos junto ao ONS. A partir de Janeiro de 2006 foi considerado o cronograma de expansão previsto pelo PDEE 2006-2015. O Apêndice C contém as datas de entrada em operação de todos os empreendimentos considerados neste trabalho.

Conforme mencionado no Capítulo 3 deste trabalho, durante o período de obtenção dos créditos de carbono o despacho de cada empreendimento conectado ao SIN será resultado do programa de operação estabelecido pelo modelo NEWAVE. Entretanto, este modelo utiliza o artifício de grupamento de usinas hidrelétricas em reservatórios equivalentes, que por sua vez impossibilita a determinação da geração desagregada destas usinas. Por este motivo, considerou-se no cálculo do Fator de Emissão da Margem Construtiva que a geração individual das usinas hidráulicas pode ser aproximada pela sua energia assegurada<sup>21</sup>.

---

<sup>21</sup> A energia assegurada de uma usina é a máxima produção de energia que pode ser mantida continuamente ao longo dos anos, simulando a ocorrência de cada uma das milhares possibilidades de sequências de vazões criadas estatisticamente, admitindo um certo risco de não atendimento à carga [32].

A partir dos dados do Balanço Energético Nacional de 2003, o NAE estimou qual seria o Fator de Emissão da Margem Construtiva para todo o Sistema Interligado Nacional. O valor encontrado foi de 0.154 tCO<sub>2</sub>e/MWh [7]. Consultando o DCP dos projetos brasileiros registrados até o momento pelo Comitê Executivo, os valores encontrados foram 0,1178 tCO<sub>2</sub>e/MWh, para o subsistema N/NE<sup>22</sup> [9], e 0,1045 tCO<sub>2</sub>e/MWh para o subsistema S/SE/CO<sup>23</sup> [30], o que indica uma expansão predominantemente hidráulica no âmbito do setor elétrico brasileiro.

Uma vez determinados os valores de  $EF_{OM,y}$  e  $EF_{BM,y}$ , o Fator de Emissão da Linha de Base ( $EF_y$ ) deve ser determinado da seguinte forma:

$$EF_y = w_{OM} \cdot EF_{OM,y} + w_{BM} \cdot EF_{BM,y} \quad (4.7)$$

onde  $w_{OM}$  e  $w_{BM}$  representam os pesos aplicados aos Fatores de Emissão da Margem Operacional e da Margem Construtiva respectivamente. Segundo o escopo da metodologia ACM0002, os valores de  $w_{OM}$  e  $w_{BM}$  devem ser, preferencialmente, iguais a 50%, exceto para os empreendimentos eólicos ou solares, cujo padrão deve ser  $w_{OM} = 75\%$  e  $w_{BM} = 25\%$ . Considera-se que estes empreendimentos possuem geração intermitente e não despachável, o que justifica a utilização de um peso maior para o Fator de Emissão da Margem Operacional [1]. Considerando que o estudo de caso desta tese consiste em analisar empreendimentos de natureza eólica e pequenas centrais hidrelétricas, serão utilizados os valores padrão apresentados anteriormente.

Conforme citado na seção 4.2.1, a metodologia ACM0002 considera que um projeto MDL gerador de energia elétrica a partir de fontes renováveis reduz as emissões de dióxido de carbono ao substituir a energia que é produzida no sistema através da queima de combustíveis fósseis. Matematicamente, tais reduções podem ser calculadas da seguinte forma:

$$ER_y = BE_y - PE_y - L_y \quad (4.8)$$

---

<sup>22</sup> Os dados empregados nesta análise consideram o período 2001-2003.

<sup>23</sup> Os dados empregados nesta análise consideram o período 2002-2004.

onde **ER** representa a redução das emissões de dióxido de carbono devido à atividade do projeto, **BE** representa as emissões correspondentes a sua linha de base, **PE** representa as emissões do próprio projeto MDL, e **L** representa as suas fugas<sup>24</sup>. Ainda na equação 4.8, **y** representa o período de um ano no qual as reduções foram monitoradas.

É importante ressaltar que, para os empreendimentos analisados neste trabalho, tanto as emissões do projeto MDL quanto as suas respectivas fugas devem ser consideradas nulas. Por outro lado, as emissões da linha de base devem ser determinadas através do produto entre o Fator de Emissão da Linha de Base e a geração do projeto MDL ( $EG_y$ ), ou seja:

$$BE_y = EG_y \cdot EF_y \quad (4.9)$$

Ao elaborar um Documento de Concepção do Projeto, os seus desenvolvedores devem ser capazes de estimar a redução das emissões de GEE para o período de atividade proposto. Sempre que o Fator de Emissão da Linha de Base for determinado *ex-post* à operação do projeto, essa estimativa deverá ser realizada com base em modelos ou outras ferramentas desenvolvidas com este propósito [1].

Dentre as finalidades da metodologia desenvolvida nesta tese, destaca-se a sua capacidade de projetar cenários para a linha de base de determinados projetos MDL. Cabe ressaltar que a projeção destes cenários é baseada no planejamento da operação do Sistema Interligado Nacional, o qual é realizado pelo modelo NEWAVE tendo o mês como período de referência. Desta forma, os métodos II e III, ambos mencionados na seção 4.2.1 e empregados na determinação do Fator de Emissão da Margem Operacional, tiveram que ser adaptados neste trabalho.

---

<sup>24</sup> Define-se por “fugas” todo incremento nas emissões dos Gases de Efeito Estufa que ocorre fora dos limites de um determinado projeto MDL, porém, que pode ser atribuído à atividade do mesmo [11]. Nos projetos de geração de energia elétrica, considera-se que as principais fontes de fugas são as emissões devido à extração, ao processamento e ao transporte de combustíveis. Além disso, as emissões devido à construção das usinas e a criação de áreas inundadas também podem ser consideradas fontes de fugas [1].

Para tanto, o mês teve que ser adotado como período de referência para os cálculos indicados nas equações 4.3 e 4.5.

Finalmente, cabe ressaltar que a metodologia ACM0002 foi desenvolvida para os projetos MDL de grande escala, entretanto, metodologias simplificadas têm sido desenvolvidas para os projetos de pequena escala. Na próxima seção serão descritas as principais características da metodologia AMS-I.D. Esta metodologia tem por objetivo orientar a determinação da linha de base de projetos de pequena escala que geram energia elétrica a partir de fontes renováveis, desde que estes projetos estejam conectados à rede elétrica do país anfitrião.

### 4.3 Metodologia AMS-I.D. – Projetos de Pequena Escala

Atualmente, sempre que empregada aos projetos de geração de energia elétrica conectados à rede do país anfitrião, a metodologia AMS-I.D [2] pode ser considerada praticamente idêntica à metodologia ACM0002. A partir da sua última versão, publicada pelo Comitê Executivo em 28 de Julho de 2006, essa metodologia passou a considerar que o cálculo da linha de base dos projetos de pequena escala pode seguir a mesma lógica prescrita para os projetos de grande escala.

Segundo o escopo desta metodologia, o Fator de Emissão da Linha de Base pode ser determinado empregando-se uma das seguintes alternativas:

- a) os procedimentos descritos pela metodologia ACM0002;
- b) o cálculo da **Média Ponderada** das emissões provenientes de todas as fontes de eletricidade conectadas à rede. Neste caso, o fator de emissão deve ser sempre calculado *ex-post* à geração do projeto MDL.

Note que a segunda alternativa é equivalente ao método **OM Médio**, anteriormente descrito na seção 4.2.1.4 para o cálculo do Fator de Emissão da Margem Operacional. Analogamente, pode-se concluir que esta alternativa não é vantajosa para o caso brasileiro, pois a mesma considera toda a energia nuclear e a hidroeletricidade existente no sistema.

Cabe ressaltar que, em todas as versões anteriores da metodologia AMS-I.D, as fontes de baixo custo operacional não eram consideradas no cálculo do Fator de

Emissão da Margem Operacional, o qual era determinado pelo método **OM Aproximado**<sup>25</sup>. Os projetos brasileiros que fizeram uso dessas versões tiveram a sua linha de base estimada em, aproximadamente:

- 0,5258 tCO<sub>2</sub>e/MWh para os projetos instalados no subsistema S/SE/CO [33];
- 0,3850 tCO<sub>2</sub>e/MWh para os projetos instalados no subsistema N/NE [34].

Apesar da última versão desta metodologia está em vigor desde 28 de Julho de 2006, nenhum projeto brasileiro foi aprovado desde então.

Neste trabalho, a metodologia AMS-I.D será utilizada para determinar a linha de base dos projetos de pequena escala. Como já se sabe, estes projetos possuem uma capacidade reduzida para gerar créditos de carbono, o que põe em dúvida a possibilidade dos custos de transação serem recuperados com a receita proveniente desse mercado [11].

Para determinar a viabilidade econômica do mercado de carbono, este trabalho considera que investir em um projeto de geração de energia elétrica que utilize fontes renováveis traz consigo outra oportunidade de investimento, ou seja, a oportunidade de registrar este projeto no Comitê Executivo e comercializar as RCEs que porventura venham a ser geradas pela sua atividade. A literatura especializada denominada esta oportunidade como uma opção real (vide Dixit & Pindyck [35]), uma vez que o seu ativo objeto não é um ativo financeiro, e sim um ativo real. A importância das opções reais para a análise de investimentos, assim como os métodos empregados para a sua avaliação, serão os objetos de discussão do próximo capítulo.

---

<sup>25</sup> A metodologia de cálculo de  $EF_{OM,y}$  pelo método **OM Aproximado** é a mesma metodologia empregada quando o método **OM Simples** é utilizado (vide seção 4.2.1.1).