

**VI-064 - AVALIAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE GERAÇÃO DE METANO  
REALIZADAS POR PROJETOS DE MDL NO BRASIL****Thiago A. P. Viana<sup>(1)</sup>**

Mestre em Engenharia Ambiental pela UERJ, Pós-graduado em Ciências Ambientais e Bacharel em Biologia pela UFRJ. Gerente de Projetos de MDL na EcoSecurities Brasil Ltda.

**Elisabeth Ritter**

D.Sc. em Engenharia Civil – PEC/COPPE/UFRJ e M.Sc. em Engenharia Civil – PUC/RIO. Professora Adjunta do Depto de Eng. Sanitária e do Meio Ambiente – Faculdade de Engenharia - UERJ

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua São Francisco Xavier, 524, 5029-F, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ. - e-mail: [Thiago.viana@gmail.com](mailto:Thiago.viana@gmail.com)

**RESUMO**

Para a maioria dos municípios Brasileiros, a instalação de um aterro sanitário é um desafio, já que o custo é elevado. Existem algumas formas de mitigar estes custos e uma delas é através do mercado de emissões. Com planejamento prévio suficiente, é possível queimar o metano gerado através da degradação do resíduo, podendo resultar em benefícios para o aterro tanto através do aproveitamento (geração de energia ou venda direta) quanto recebimento de algum tipo de certificado de emissões negociável. Incluído neste “planejamento prévio suficiente” está a realização da estimativa ex-ante de emissão de metano para saber previamente qual será o aproveitamento mais indicado e a eventual receita oriunda da queima. Quando analisados alguns projetos de MDL feitos em aterros sanitários, pode ser notado que estas estimativas são muitas vezes mal feitas, gerando valores estimados muito acima do realmente observado durante a operação. Este erro acarreta uma perda de credibilidade deste tipo de projeto, já que o número esperado é raramente alcançado. Este trabalho apresenta os principais problemas na realização de estimativas prévias de emissão de metano em aterros sanitários utilizando os dois projetos Brasileiros de MDL que mais emitiram créditos até hoje como estudos de caso, fornecendo base para analisar a qualidade das estimativas feitas atualmente. Observou-se que a utilização de valores de entrada no modelo utilizado para estimar a emissão de metano precisa ser criteriosamente analisada e devem ser utilizados números obtidos através de pesquisas que representem a realidade do aterro em questão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Disposição de resíduos sólidos, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, Gases de efeito estufa, Mercado de emissões, Modelagem de emissão de metano.

**INTRODUÇÃO**

Estima-se que seja depositada em aterros anualmente uma quantidade superior a 1,5 bilhões de toneladas de RSU (Themelis & Ulloa, 2007). Como não há tecnologia possível para substituição de aterros sanitários (havendo apenas um esforço para minimizar sua utilização) e em muitas cidades do mundo em desenvolvimento não há sequer aterros corretamente instalados para recebimento de resíduos, a dependência de nossa civilização a aterros sanitários deverá perdurar por bastante tempo. Um dos subprodutos dos resíduos é o gás metano (CH<sub>4</sub>) contido no biogás, gerado através da decomposição anaeróbica do material orgânico presente no aterro.

O gás metano é o mais simples dos hidrocarbonetos, é inodoro e possui um alto teor de inflamável, com grande potencial para ser utilizado como combustível. É produzido por um grande número de processos tanto naturais quanto antropogênicos. Existem várias opções para aproveitamento comercial do metano: geração de eletricidade (tanto para abastecimento da rede elétrica quanto para abastecimento apenas dos equipamentos do próprio aterro), injeção na tubulação de gás natural, geração de vapor (para secagem do lixiviado), entre outros. Entretanto, outra característica do metano é ser um dos principais contribuintes do efeito estufa e nesta característica tem origem uma diferente fonte de receita para viabilizar projetos em aterros sanitários envolvendo captura e destruição de metano: a venda de certificados de redução de emissão.

O tempo de vida médio do metano na atmosfera é de 12 anos (EPA, 2010). Através de uma série de reações em cadeia e *feedbacks*, é um ativo participante do efeito estufa e também do aquecimento global. De acordo com diversas fontes, o Potencial de Aquecimento Global (do inglês *Global Warming Potential* – GWP) de

uma molécula de metano em um período de 100 anos é de 21 (EB, 2008), 23 (IPCC, 2001) ou 25 (IPCC, 2007), dependendo da fonte. O valor do GWP tem como referência o GWP 1, que é o de uma molécula de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) em um período de 100 anos.

A unidade de um certificado de redução de emissão no MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) é a “tonelada de gás carbônico equivalente” (tCO<sub>2</sub>e), chamado de *Certified Emission Reduction* (RCE) ou em português “Redução Certificada de Emissão” (RCE). O “Crédito de Carbono” é meramente uma forma diferente de nomear os RCEs. Enquanto uma tonelada de carbono que deixou de ser emitida gera um certificado, uma tonelada de metano que se evitou emitir para a atmosfera gera, dentro das regras atuais para cálculos de redução de emissão de gases de efeito estufa, 21<sup>1</sup> certificados.

Além do alto investimento inicial, outro fator que influencia decisivamente na dificuldade de implementação de projetos envolvendo redução de emissão é a dificuldade de prever ex-ante a quantidade efetiva de certificados que serão emitidos e quando serão emitidos. O retorno financeiro depende da venda destes certificados. Estimativas mal feitas de redução de emissão, bem como excessiva burocratização (e consequentes atrasos) na emissão dos certificados vem sucessivamente minando a confiança de investidores. Quanto mais arriscado e incerto for o retorno de um projeto que envolva emissões em aterros sanitários, mais difícil será atrair e/ou direcionar investimentos para o setor/atividade.

De acordo com Ballik (2008), uma das principais razões para estimativas de geração de metano em aterro não condizerem com a realidade é a aplicação não apropriada de modelos de geração/emissão de gases de aterro. A abordagem utilizada pelos modelos, através de dados obtidos em laboratório, pode ser uma grande fonte de incerteza associada às estimativas de emissões. Além disso, os poucos estudos realizados *in loco* foram executados em aterros sanitários de países desenvolvidos operando em condições ótimas. Ou seja, quando os dados de laboratório e os dados obtidos em aterros praticamente perfeitos são aplicados para estimar a geração de metano em aterros de países em desenvolvimento o resultado pode não chegar próximo à realidade. Isto ocorre porque, em países em desenvolvimento, a operação dos aterros não possui o mesmo grau de eficiência; a composição do resíduo é bastante diferente entre países; as condições reais e laboratoriais podem não ser as mesmas; e as condições ambientais também diferem, já que os países desenvolvidos apresentam normalmente climas temperados enquanto países em desenvolvimento possuem clima mais próximo do tropical, o que aumenta a precipitação nos aterros. McDougall (2009) comenta que os modelos de previsão comportamental para aterros esbarram na heterogeneidade de cada local, já que resultados de experimentos controlados em bancada não podem ser integralmente extrapolados para aterros.

O objetivo deste trabalho é apresentar a eficiência de geração de metano (e consequentemente de certificados de redução de emissão) dos dois principais projetos de MDL em aterros sanitários no Brasil quanto à quantidade de créditos de carbono emitidos, sendo parte de uma dissertação de mestrado (Viana, 2011). A abordagem será através de uma análise crítica da principal forma de estimativa de emissão de metano utilizada pelo MDL, enfocando suas principais fontes de incertezas.

## METODOLOGIA

As principais fontes oficiais de informações sobre este tema foram consultadas através da internet e de experiência pessoal. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (CQNUMC ou UNFCCC) e o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (PIMC ou IPCC) são as instituições que guiam o MDL e serviram como fontes para este estudo. Foi tomado o cuidado de utilizar apenas informações oficiais e/ou disponíveis ao público com o objetivo de replicabilidade e futura expansão do trabalho.

A UNFCCC é o órgão da Organização das Nações Unidas (ONU) que regulamenta e fornece os procedimentos e guias para as ações de combate às mudanças climáticas. Uma das formas de combater este efeito adverso é através da implantação de projetos de MDL, que são um modo de flexibilização do Protocolo de Quioto.

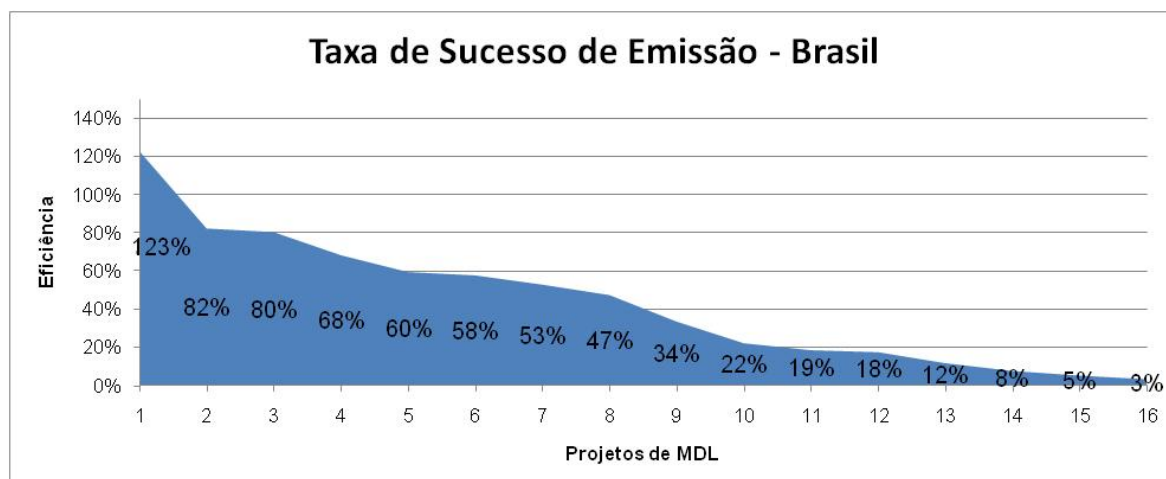
O IPCC é o braço científico da ONU sobre mudanças climáticas. Este órgão é composto por diversos cientistas espalhados pelo mundo realizando estudos nesta área e emite periodicamente relatórios de divulgação dos mais recentes descobrimentos e de previsões para o futuro de acordo com diferentes cenários.

<sup>1</sup> O valor 21 é o aprovado pela UNFCCC e será utilizado pelo protocolo de quioto até o fim de 2012, quando pode ser revisado.

Além disso, a base de dados do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA ou UNEP), realizada através do projeto “Desenvolvimento de Capacidades para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo” (CD4CDM), também forneceu informações valiosas sobre o quadro geral dos projetos de MDL.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a base de dados do CD4CDM, atualizada em 01 de Outubro de 2010, existem atualmente 25 projetos de MDL registrados no Brasil. Destes, 16 possuem créditos de carbono emitidos. A Figura 1 mostra a eficiência de emissão de créditos em comparação com os valores estimados para os mesmos projetos. Apenas 3 destes projetos possui taxa de sucesso acima de 80% de emissão de créditos. A média de sucesso entre os projetos Brasileiros é de 43%.



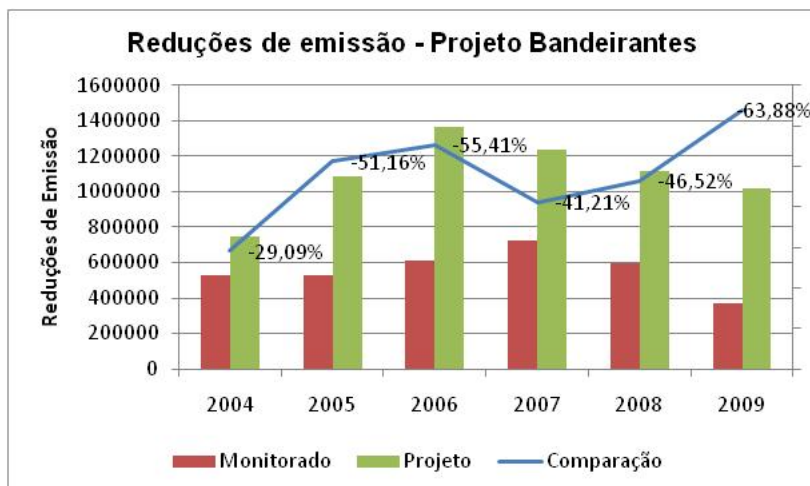
**Figura 1 – Taxa de sucesso de emissão de créditos de carbono nos projetos de MDL Brasileiros em aterros sanitários.**

**Fonte: Modificado de CD4CDM**

De todos os projetos de MDL Brasileiros registrados apenas um foi no ano de 2009 (em Fevereiro). Todos os demais foram registrados entre 2008, 2007 e 2006. Além disto, o projeto que mais recentemente solicitou registro o fez em Novembro de 2007. O objetivo deste levantamento temporal é mostrar que todos os projetos Brasileiros utilizam o modo antigo de estimativa de emissão de metano, baseado no relatório do IPCC de 1996, que ficou em uso até Julho de 2008. O modelo atualmente utilizado para realização de estimativas, baseado no relatório do IPCC de 2006, foi aprovado pela UNFCCC em Novembro de 2007, mas só realmente entrou em vigor a partir de Julho de 2008.

Deste modo, a realização da estimativa de produção de metano entre todos os projetos é similar, com pequenas alterações. Serão utilizados como estudos de caso neste trabalho dois dos projetos que mais emitiram créditos: o projeto do aterro Bandeirantes, em São Paulo, e o projeto do aterro de Tremembé, também em São Paulo.

O projeto de MDL do aterro Bandeirantes foi registrado na UNFCCC em 20 de Fevereiro de 2006, mas obteve os créditos retroativamente a partir do início de operação do queimador, em 2004. Como pode ser visto na Figura 2, a eficiência de emissão média gira em torno de 50%. A redução de emissão é expressa em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e). O ano de 2009 inclui apenas até o mês de Outubro. Como “monitorado” se expressa o número de créditos efetivamente emitido e como “projeto” mostra-se o número de créditos estimado em projeto.



**Figura 2 – Comparação entre a estimativa de projeto e os valores efetivamente monitorados de redução de emissão do projeto Bandeirantes.**

Fonte: Modificado do website da UNFCCC.

Com exceção da primeira emissão de créditos, todas as subsequentes foram realizadas envolvendo um período relativamente curto por verificação, apresentando períodos de 6, 3 e até 2 meses. Como o projeto é bem grande, viabiliza a periodicidade curta de cada verificação. Isto resulta em uma quantidade relativamente grande de emissões, conforme pode ser visto na Tabela 1, onde são apresentados os dados monitorados (representados pela sigla “RCEs”) comparados com os dados estimados (representados pela sigla “DCP”).

**Tabela 1 – Informações sobre RCEs do Projeto Bandeirantes de gás de Aterro e Geração de Energia em São Paulo, Brasil**

Ano	RCEs (tCO <sub>2</sub> e)	DCP (tCO <sub>2</sub> e)	Status	Quando
2004	530836	748624	Emitido	18/04/2007
2005	530836	1086919	Emitido	18/04/2007
2006	608635	1364960	Emitido	18/04/2007
			Emitido	27/12/2006
			Emitido	25/05/2007
2007	726764	1236153	Emitido	14/12/2007
			Emitido	13/02/2008
			Emitido	21/04/2008
2008	599052	1120186	Emitido	07/08/2008
			Emitido	27/10/2008
			Emitido	28/11/2008
			Emitido	26/06/2009
			Emitido	20/07/2009
2009	366875	1015780	Emitido	20/07/2009
			Emitido	17/12/2009
			Emitido*	14/04/2010
			Aguardando	28/10/2010

\* até Setembro.

Fonte: Informações públicas disponível nos históricos de monitoramento do projeto no website do Conselho Executivo do MDL da CQNUMC.

O aterro Bandeirantes pode ser classificado como tendo uma performance próxima de 50%, o que os caracteriza como apresentando resultados médios para bom. Apresenta, além de problemas de estimativas, algumas questões técnicas e/ou operacionais. Houve um problema com o monitoramento do projeto que lhe custou quase 40.000 RCEs na primeira emissão, mas isto não é suficiente para explicar as diferenças na estimativa, levando a crer que os cálculos estimados sejam o principal fator para a diferença.

O projeto de MDL do aterro Tremembé foi registrado na UNFCCC em 24 de Novembro de 2005, mas obteve os créditos retroativamente a partir do início de operação do queimador, em 2003. Como pode ser visto na Figura 3, a eficiência de emissão média gira em torno de 30%. A redução de emissão é expressa em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e).

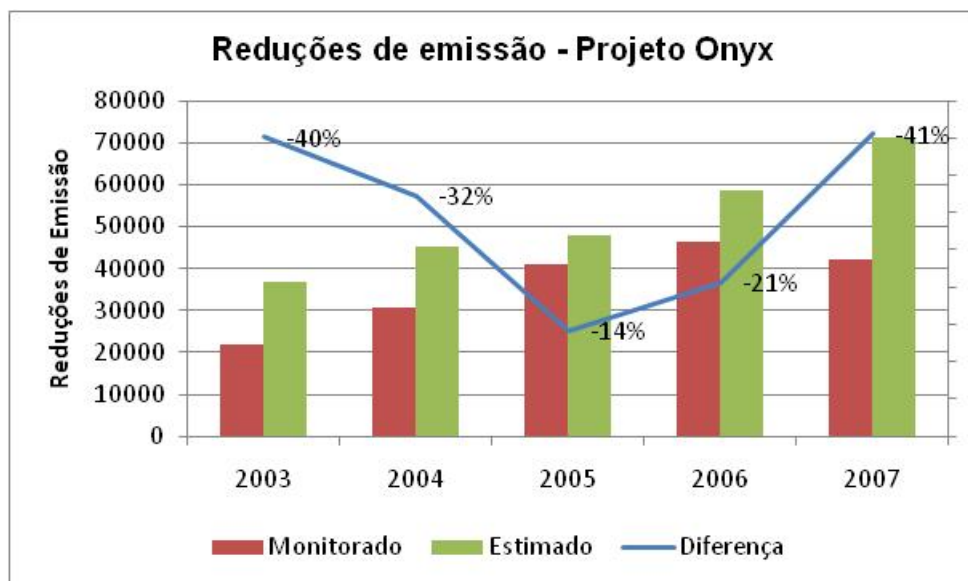


Figura 3 – Comparação entre a estimativa de projeto e os valores efetivamente monitorados de redução de emissão do projeto Tremembé.

Fonte: Modificado do website da UNFCCC.

Informações básicas sobre a geração de créditos de carbono por ano podem ser encontradas na Tabela 2, onde são apresentados os dados monitorados (representados pela sigla “RCEs”) comparados com os dados estimados (representados pela sigla “DCP”).

Tabela 2 – Informações sobre RCEs do Projeto Onyx de Recuperação de Gás de Aterro.

Ano	RCEs (tCO <sub>2</sub> e)	DCP (tCO <sub>2</sub> e)	Status	Quando
2003	21.954	36.661	Emitido	15/3/2007
2004	30.656	45.267	Emitido	15/3/2007
2005	40.988	47.764	Emitido	15/3/2007
2006	46.320	58.407	Retirado	3/10/2008
2007	42.319	71.153	Aguardando	26/9/2010

Fonte: Informações públicas disponível nos históricos de monitoramento do projeto no website do Conselho Executivo do MDL da CQNUMC.

O aterro de Tremembé (Onyx) foi um dos aterros brasileiros do MDL que apresentou historicamente o melhor desempenho de emissões. O DCP disponível não estabelece claramente como foi realizada a estimativa de redução de emissões, mas dá a entender que valores de campo, obtidos através de experiências anteriores com este aterro, foram utilizados na fórmula de decaimento de primeira ordem para obtenção do número estimado. Além disso, o projeto de créditos de carbono envolve duas áreas do aterro e uma delas já estava fechada na época de elaboração do DCP, reforçando a possibilidade de utilização de informações reais do aterro.

A média de eficiência de geração de créditos para todos os projetos deste tipo no Brasil é de 43% (Viana, 2011). Se observados todos os projetos de MDL do mundo, a média continua próxima da Brasileira, em torno de 45% (PNUMA, 2010). De acordo com Stege (2009), utilizando dados de projetos de MDL desde 2003 até 2009, a performance média encontrada foi de 50,2% para todos os projetos do mundo e 59% para o Brasil<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> A performance média obtida para este trabalho foi realizada através da média das performances de emissão de créditos constante em PNUMA (2010). A diferença observada entre o presente estudo e o trabalho desenvolvido por Stege (2009) deve-se a possível diferença metodológica entre os dois trabalhos.



Ambos os projetos utilizam para estimativa de geração de metano (e, consequentemente, de créditos de carbono) a equação (1) de Decaimento de Primeira Ordem descrita pelo IPCC em 1996, com pequenas variações.

$$Q_x = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (1)$$

Onde:

$Q_x$  = Quantidade total de metano liberada no ano x (m<sup>3</sup>/ano)

$L_0$  = Quantidade potencial teórica de metano gerado (m<sup>3</sup>/ton). Esta quantidade depende da composição do resíduo e pode variar de menos de 100 a mais de 200 m<sup>3</sup> de metano por tonelada de resíduo.

$R$  = Taxa de disposição do resíduo no aterro (ton/ano)

$t$  = Tempo passado desde a abertura do aterro (anos)

$c$  = Tempo passado desde o fechamento do aterro (anos)

$k$  = Taxa de geração do gás de aterro (ano<sup>-1</sup>). Os valores podem variar de menos de 0,005 a 0,4 por ano. Valores mais altos de  $k$  são associados com maior umidade.

Atualmente, este modelo evoluiu para o descrito pelo IPCC em 2006, conforme mostra a equação (2), mas manteve a mesma lógica.

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \varphi * (1 - f) * (1 - OX) * \frac{16}{12} * F * DOC_f * MCF * \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} * DOC_j * e^{-k_j * (y-x)} * (1 - e^{-k_j}) \quad (2)$$

Onde:

$BE_{CH_4,SWDS,y}$  Emissões de metano que deixaram de ser emitidas durante o período do ano x ao ano y

$\varphi$  Fator de correção devido a incertezas do modelo (0,9)

$f$  Fração de metano capturado no aterro e que já não seria emitido para a atmosfera

$OX$  Fator de oxidação – quantidade de metano oxidado no solo ou cobertura do aterro

$\frac{16}{12}$  Conversão de Carbono (12) para Metano (16)

$F$  Fração volumétrica de metano no biogás (0,5)

$DOC_f$  Fração de Carbono Orgânico Degradável (DOC) a ser decomposto (0,5)

$MCF$  Fator de correção de metano

$\sum_j W_{j,x}$  Quantidade de resíduo orgânico tipo j que não gerou metano no aterro no ano x

$DOC_j$  Fração de Carbono Orgânico Degradável no resíduo orgânico tipo j

$k_j$  Taxa de decomposição para o resíduo tipo j

$j$  Tipo de resíduo, categorizado

$x$  Ano durante o período: x vai desde o primeiro ano do projeto (x=1) até o ano y para o qual as emissões estão sendo calculadas (x=y)

$y$  Ano para o qual as emissões de metano estão sendo calculadas

Através de uma simulação utilizando o método Bayesiano associado com a técnica de Monte Carlo, Lo *et al.* (2005) avaliou as incertezas dos parâmetros na fórmula de estimativa de geração de metano em aterros sanitários. Como pode ser visto na Tabela 3, os parâmetros que apresentaram a maior contribuição de incerteza na variância total foram: Fração de Carbono Orgânico Degradável (DOC – 65,5%), Fração volumétrica de metano no biogás (F – 20,2%) e Fator de correção de metano (MCF – 6,5%). Quando comparados com a avaliação de incertezas feita pelo IPCC, se observa que é possível haver espaço para melhorias e ajustes na percepção de incerteza sobre estes parâmetros. Viana (2011), em um estudo mais abrangente envolvendo entrevistas com profissionais da área, obteve também indícios de que um dos principais pontos fracos desta equação seja a utilização de valores de referência (ou seja, valores sugeridos através de pesquisas que normalmente não refletem a realidade de um aterro no Brasil) nos parâmetros DOC e MCF.

**Tabela 3 – Contribuições de cada parâmetro para a variância na estimativa.**

Parâmetros e entradas do modelo	Incerteza (%)	
	Lo <i>et al.</i> (2005)	IPCC (2006)
Fração de Carbono Orgânico Degradável (DOC)	65,5	20
Fração do CH <sub>4</sub> no biogás (F)	20,2	Baixa
Fator de Correção do Metano (MCF)	6,5	10-30
Fração do DOC a ser decomposto (DOC <sub>f</sub> )	3,7	Alta
Fator de Oxidação (OX)	0,2	Alta

Além da incerteza associada diretamente aos parâmetros do modelo, o próprio modo de cálculo utilizado pelo IPCC é descrito como assumindo conversão total do resíduo e reatividade química espacial homogênea (Meraz *et al.*, 2004). Existem sugestões de modelos modificando o modelo inicial proposto por Hoeks (1983 *apud* IPCC, 2006) e utilizado pelo IPCC através de uma abordagem fractal, ou seja, considerando a natureza heterogênea da fermentação (levando em conta o transporte ineficiente de nutrientes hidrolisados através da zona de reação da metanogênese e a interface sólido-líquido). Meraz *et al.* (*op. cit.*) afirma que não há dados de campo disponíveis que permitam uma validação quantitativa de nenhuma equação para cálculo de metano devido a:

- ✖ Ninguém foi capaz de determinar convincentemente a eficiência final de fermentação em um aterro; a hipótese de 100% de conversão não é aceitável porque em aterros muito compactados é comum encontrar resíduos em sua forma original após anos.
- ✖ Não há uma determinação satisfatória da eficiência dos sistemas de captação de gases; geralmente é assumido, sem nenhuma justificativa, que apenas metade do gás produzido é captada.

A Tabela 4 resume as informações disponíveis existentes sobre ambos os aterros pesquisados neste trabalho. Nota-se que os aterros possuem escalas diferentes e também que os valores de entrada no modelo apresentam bastante diferença.

**Tabela 4 – Comparação entre as informações básicas utilizadas para realização de estimativa nos aterros citados e seus resultados.**

Informações	Símbolo	Unidade	Tremembé (Onyx)	Bandeirantes
Metodologia	-	-	AM0011	ACM0001
Versão	-	-	1	2
Geração de Eletricidade	-	Sim/Não	Não	Sim
Data de Registro	-	Data	24/11/2005	20/02/2006
Início do Período de Obtenção de Créditos	-	Data	01/01/2003	23/12/2003
Período emitido ou em fase de emissão	-	Meses	60	82
Quantidade média anual esperada de créditos	ER <sub>y</sub>	tCO <sub>2</sub> e/ano	70.063	1.070.629
Tamanho Total do Aterro	-		2.550.000 m <sup>3</sup>	1.350.000 m <sup>2</sup>
Taxa de deposição média de resíduos no aterro	-	ton/dia	493	5.068
Taxa de geração de CH <sub>4</sub>	k	1/ano	0,005 a 0,4	0,105
Potencial de geração de CH <sub>4</sub>	L <sub>0</sub>	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton resíduo	100 a 200	77*
Percentual de CH <sub>4</sub> no gás	F	%	50	n/a
Eficiência de captura do gás	-	%	50 a 80	80
Diferença média aproximada entre emitido e estimado	-	%	-30%	-50%

## CONCLUSÕES

Em ambos os projetos, bem como na grande maioria dos projetos de MDL envolvendo aterros sanitários, as estimativas de geração de metano ficam relegadas ao segundo plano. Isto ocorre devido à contabilização dos créditos efetivos, após o registro, ser dada puramente através do monitoramento real dos gases que estão sendo queimados. Ou seja, a estimativa possui uma utilização restrita e é utilizada apenas durante a confecção do projeto.

Entretanto, para o balanço financeiro do aterro, esta estimativa é essencial para cálculo da taxa de retorno do projeto de MDL. Tanto a receita da venda dos créditos de carbono quanto a receita da venda de energia podem representar um aporte significativo de recursos para o aterro, minimizando os custos do tratamento de resíduos como um todo. A realização de estimativas fora da realidade acarreta a perda de confiança no tipo de projeto, dificultando futuros investimentos, e também altera o fluxo de caixa do projeto, comprometendo o planejamento financeiro. Pode ser notado, pelos resultados obtidos, que de uma maneira geral as estimativas realizadas para geração de metano em aterros sanitários estão superdimensionadas. Um acerto médio de 50% entre estimado e real não é o ideal e dificulta bastante o planejamento.

A forma de estimativa utilizada pelos projetos Brasileiros possui alguns problemas, sendo o principal deles a utilização de valores de laboratório ou obtidos in situ em países temperados desenvolvidos para aplicação em condições in situ de países tropicais em desenvolvimento. É importante que a utilização de valores projeto-específicos seja cada vez mais aplicada para minimizar os erros de estimativas. O desenvolvimento de modelos regionais, que considerem as particularidades de cada local, é primordial para o avanço na quantidade e qualidade de projetos de redução de emissão de metano em aterros sanitários. Informações como temperatura ambiental e composição do resíduo podem variar muito de uma região para outra e, devido a isso, a utilização de valores de entrada padrão no modelo precisa ser desencorajada.

O potencial de obtenção de receita para projetos de redução de emissão em aterros sanitários é grande e extremamente necessário não podendo ser esta tipologia de projeto relegada ao segundo plano como é atualmente. É altamente recomendável a realização de novas pesquisas para tanto atualizar os dados obtidos por este trabalho quanto na contribuição para evolução do modelo de estimativa, adaptando-o para a realidade Brasileira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ballik, I. (2008). CDM Landfill Gas Projects – A piece of cake? Retrospective on four years of LFG Project Implementation in the Carbon Market. CDM Investment Newsletter 1: 4-6. 3p.
2. EB. (2008). Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site. Ferramenta metodológica preparada pelo Painel de metodologias do Conselho Executivo do MDL (EB). Disponível online em [http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-04-v5.pdf/history\\_view](http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-04-v5.pdf/history_view). 9p.
3. EPA. (2010). Methane and Nitrous Oxide Emissions From Natural Sources. Relatório preparado pela Agência Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), Departamento de Programas Atmosféricos. Disponível na página da internet <http://www.epa.gov/methane/sources.html>. Acesso em Janeiro de 2011. 194p.
4. IPCC (1996). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Manual de Referência. Capítulo 6: Resíduos. Versão revisada. 22p.
5. IPCC (2001). IPCC Third Assessment Report. Disponível na página da internet [http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_tar/?src=/climate/ipcc\\_tar/](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/).
6. IPCC (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 5: Resíduos. Capítulo 3: Disposição de Resíduos Sólidos. 40p.
7. IPCC (2007). IPCC Fourth Assessment Report. Capítulo 10: Gerenciamento de Resíduos. Disponível na página da internet [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg3/en/ch10.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch10.html). 34p.
8. Lo, S.-C., Ma, H.-W., Lo, S.-L. (2005). Quantifying and reducing uncertainty in life cycle assessment using the Bayesian Monte Carlo method. Science of the Total Environment 340: 23-33. 11p.
9. McDougall, J.R. (2009). Waste heterogeneity: an obstacle to models? Anais do Sardenia 2009 (décimo-segundo Simpósio Internacional em Gerenciamento de Resíduos e Aterro Sanitário), S. Margherita di Pula, Cagliari, Itália. 5-9 de Outubro de 2009. 11p.
10. Meraz, R.-L., Vidales, A.-M., Domínguez, A. (2004). A fractal-like kinetics equation to calculate landfill methane production. Fuel 83: 73-80. 8p.



11. PNUMA (2010). CDM Pipeline Overview. Banco de dados preparado por Jørgen Fenhann, do UNEP Risø Centre. Programa das Nações Unidas sobre Meio Ambiente (PNUMA). Banco de dados atualizado até 01 de Março de 2010. Disponível na página da internet <http://cdmpipeline.org/publications/CDMpipeline.xlsx>
12. Stege, G.A. (2009). Methane emission reductions achieved by landfill gas projects in developing countries. Anais do WASTECON 2009. Long Beach, Califórnia, EUA. 21-24 de Setembro de 2009. 6p.
13. Themelis, N.J. & Ulloa, P.A. (2007). Methane generation in landfills. Renewable Energy 32: 1243-1257. 15p.
14. Viana, T.A.P. (2011). Análise das estimativas de emissão de metano por aterros sanitários em projetos de MDL no Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 88p.