

1

CTR São Mateus: Estado do Espírito Santo

1. Informações sobre o aterro

1.1 Generalidades do projeto

O novo aterro sanitário ainda não se encontra em operação e estima-se que sua operação deve se iniciar em 2013/2014. A localização e acesso às Glebas será pela ES-381, km 41, na localidade Nestor Gomes, São Mateus/ES.

O aterro sanitário atenderá em parte ao Sistema Regional de Destinação Final Adequada de Resíduos Sólidos Urbanos do Projeto “Espírito Santo Sem Lixão”, mais especificamente da unidade de destinação final da Região Norte, formada pelos municípios de Água Doce do Norte; Barra de São Francisco; Boa Esperança; Conceição da Barra; Ecoporanga; Jaguaré; Montanha; Mucurici; Nova Venécia; Pedro Canário; Pinheiros; Ponto Belo; São Mateus; Sooretama; Vila Pavão.

O Projeto “ES sem Lixão” foi concebido pelo Governo do Estado do Espírito Santo, visando a implantação de sistemas regionais de destinação final adequada – composto por Estações de Transbordo + Transporte Regional + Aterro Sanitário. O Governo do Estado do Espírito Santo arcará com a implantação da infra-estrutura e a pré-operação. Após este período o aterro será operado por uma empresa contratada em regime de concessão pública.

A área que será utilizada para a implantação do empreendimento é de propriedade do Sr. Luiz Cantaratto. O projeto prevê a implantação de um aterro sanitário nesta gleba, com vida útil superior à 20 anos.

O projeto executivo já foi executado e entregue ao Governo do Estado que deverá realizar licitações para a contratação de empresas privadas que deverão se responsabilizar pela implantação do projeto e por sua posterior operação. Prevê-se que tanto na fase de pré-operação, quanto na fase de operação, o aterro será operado por empresas privadas, porém não necessariamente serão as mesmas empresas que executarão as etapas de pré-operação e operação.

Figura 1. Localização do projeto (ES-381, km 41, na localidade Nestor Gomes, São Mateus/ES)



A precipitação anual é de aproximadamente 1.211 milímetros. A temperatura média gira em torno dos 24°C¹. Domínios morfoclimáticos: Anticiclone semifixo do Atlântico Sul e Anticiclone Polar Móvel.

Foi desenvolvido um estudo preliminar para avaliar a viabilidade de apresentar o projeto de recuperação e aproveitamento de biogas neste novo aterro CTR São Mateus sob o MDL. O estudo foi concluído em dezembro de 2011. Parte das informações apresentadas neste estudo de caso corresponde aos resultados apresentados no referido estudo.

1.2 Geração e disposição dos resíduos

De acordo com as informações obtidas durante a consulta, o aterro sanitário espera atender uma população aproximada de 397.000 habitantes de 15 diferentes municípios da região e espera receber cerca de 362 toneladas por dia para o ano de 2013. A Tabela 1 apresenta os diversos municípios que serão atendidos, a população estimada para 2010 e a projeção de resíduos gerados para cada município. É importante destacar que para o ano de 2010 se estimava uma geração diária de 310 toneladas de resíduos.

Para a projeção de resíduos que serão dispostos durante os 20 anos de vida útil, a MGM estimou um crescimento anual aproximado de 0,5%. Isto implica numa quantidade total aproximada de 2,7 milhões de toneladas dispostas em 20 anos e que ocupariam um volume estimado de 3,5 milhões de m³ (considerando uma densidade de compactação de 1,3 m³/tonelada). A tabela 2 apresenta detalhes sobre a estimativa anual e acumulada de resíduos durante a vida útil.

A base do aterro inicia-se na cota 40 e a última camada do aterro finaliza-se na cota 104. Na Figura 2 está indicada a topografia final esperada para o aterro ao final de sua vida útil.

1.3 Composição dos resíduos

Até o momento da preparação deste relatório, não existiam informações detalhadas sobre a composição dos resíduos na zona de influência do projeto. Sendo assim, foram utilizados como referência² dados relatados pelo IPCC para países da América do Sul e a MGM realizou alguns ajustes considerando as principais atividades produtivas e as condições sócio econômicas da região. Os valores estimados da composição dos resíduos estão apresentados na Tabela 3.

¹ Fonte: EIA/RIMA CTR SÃO MATEUS VEREDA 2010

² 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 5, Waste. Chapter 2: Waste generation

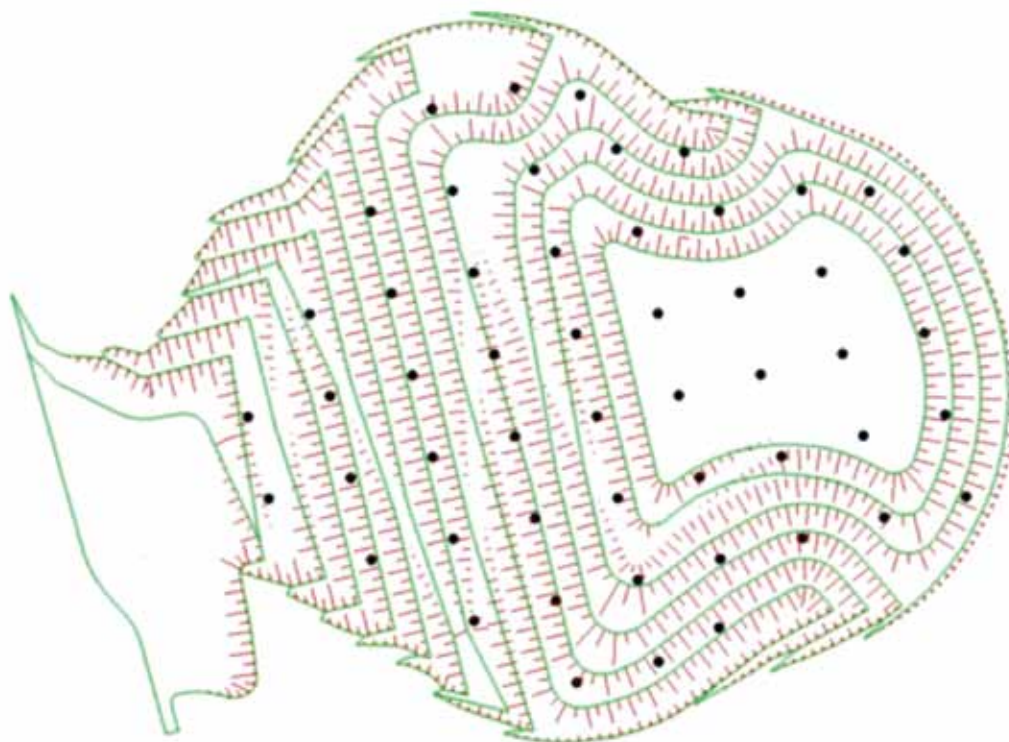
Tabela 1. Projeção de resíduos – 2010

Municípios	População Projetada em 2010 (a)	Geração Média per Capita (b)	Geração Média Diária em 2010 (c)	
	(hab)	(kg/hab.dia)	(t/dia)	(m ³ /dia)
Água Doce do Norte	11.858	0,83	9,8	21,9
Barra de São Francisco	39.630	0,74	29,3	65,2
Boa Esperança	12.910	0,83	10,7	23,8
Conceição da Barra	30.584	0,74	22,6	50,3
Ecoporanga	23.200	0,83	19,3	42,8
Jaguare	21.923	0,83	18,2	40,4
Montanha	17.983	0,83	14,9	33,2
Mucurici	5.873	0,83	4,9	10,8
Nova Venécia	43.926	0,74	32,5	72,2
Pedro Canário	23.208	0,83	19,3	42,8
Pinheiros	22.537	0,83	18,7	41,6
Ponto Belo	6.986	0,83	5,8	12,9
São Mateus	104.420	0,74	77,3	171,7
Sooretama	23.860	0,83	19,8	44,0
Vila Pavão	8.702	0,83	7,2	16,1
Total	397.600		310	689

Tabela 2. Disposição Anual de Resíduos

Ano	Disposição Anual (ton./ano)	Total Acumulado (ton.)
1	130.320	130.320
2	130.972	261.292
3	131.626	392.918
4	132.285	525.203
5	132.946	658.149
6	133.611	791.759
7	134.279	926.038
8	134.950	1.060.988
9	135.625	1.196.613
10	136.303	1.332.916
11	136.985	1.469.901
12	137.670	1.607.570
13	138.358	1.745.928
14	139.050	1.884.978
15	139.745	2.024.723
16	140.444	2.165.166
17	141.146	2.306.312
18	141.852	2.448.164
19	142.561	2.590.725
20	143.274	2.733.998

Figura 2. Topografia final – Novo Aterro CTR São Mateus



Esta composição de resíduos foi empregada para alimentar o modelo de geração de biogás. Os resultados da modelagem são apresentados na Seção 2.

1.4 Concepção do aterro, Gerenciamento do chorume e do gás de aterro

Para a cobertura inferior do aterro será realizada uma dupla impermeabilização com argila e manta de PEAD. O “liner” será composto por um solo argiloso compactado, formando uma camada de 0,7 m de espessura total, com permeabilidade igual ou inferior a 1.10^{-6} cm/s, e uma geomembrana do tipo PEAD de 2 mm, que deverá evitar todo o contato dos resíduos com o solo. Sobre a geomembrana será implantada uma camada de proteção mecânica.

O sistema de aterramento diário de lixo será executado em rampa, com inclinação nominal de 1:2,5 (vertical : horizontal), com a utilização de trator de esteira com lâmina, tipo D6 / Caterpillar ou similar (peso operacional ≥ 15 ton).

Os resíduos, após serem descarregados na frente de serviço (cuja largura deverá ser a menor possível, da ordem de 15 m), serão espalhados (em camadas com espessura nominal de, no máximo, 30 cm de material solto) e compactados no talude. O trator de esteiras deverá executar tantas passadas quantas forem necessárias até que se verifique a “nega” (quando se atinge um determinado ponto de resistência desejada, ou coesão) do processo de adensamento.

Tabela 3. Composição dos Resíduos

Composição dos Resíduos (% m/m, base úmida)	
Matéria orgânica	60,0
Resíduos de Parques e Jardins	5,0
Papel e papelão	10,0
Plástico	3,0
Couro e Borracha	0,7
Metais ferrosos	2,9
Vidro	3,1
Madeira	4,7
Rejeito	8,0
TOTAL	100,0

A altura máxima da “célula” diária de lixo compactado não deverá exceder 5 m. Assim sendo, uma vez atingida essa altura máxima, deverá ser conformado um “patamar” ou camada horizontal no topo da “célula”. Patamar esse de largura variável (conforme a massa de resíduos disposta no aterro sanitário a cada dia). Desse modo, a forma típica da “célula diária” do aterro será a de um prisma regular de base retangular.

Concluída a operação de compactação, serão topograficamente aferidos o comprimento e a altura efetivos da “célula” assim conformada, possibilitando, portanto, determinar com precisão o volume ocupado, após o adensamento, pela referida massa de resíduos. Caso a densidade aparente dessa “célula” evidencie ser inferior àquela de referência, deverá ser alterado o processo de disposição usual dos resíduos no aterro, quer através da redução da espessura das diversas camadas, quer através do incremento do número de passadas do trator sobre cada uma dessas camadas.

Ao final do período diário de trabalho deverá ser efetuado seu recobrimento com terra, somente no topo da “célula”, com uma camada de material solto com espessura nominal de 20 cm, a ser intensamente compactada de forma a permitir o tráfego imediato dos veículos coletores sobre a mesma. No dia subsequente, os resíduos deverão ser dispostos de maneira tal que as faces inclinadas da célula de lixo compactado do dia anterior sejam recobertas com lixo “novo”. Esta cobertura operacional poderá ser “laminada”, reservada para ser reutilizada diariamente de modo a maximizar o contato lixo-lixo.

Ao final da jornada de trabalho dos sábados, assim como nas vésperas de quaisquer feriados prolongados, ou de eventos de qualquer natureza em que o aterro (ou uma determinada frente de operações) não seja operado (a) por mais de dois dias consecutivos, deverá ser feito também o recobrimento das faces inclinadas da “célula diária”, evitando a exposição do lixo ao ar livre por tempo excessivo. Essa camada de recobrimento, nesses casos específicos, deverá ter espessura nominal de 20 cm.

Na fase de encerramento, nas superfícies acabadas do aterro sanitário, em todos e quaisquer trechos que, de conformidade com o projeto executivo, não devam ser mais utilizados para a disposição final de RSU, deverá ser prontamente executado o capeamento impermeabilizante superior, destinado a minimizar a penetração de águas pluviais nessas superfícies expostas (taludes, bermas intermediárias e platôs superiores do aterro), bem como a direcionar os gases gerados no maciço para os queimadores instalados no segmento final dos drenos verticais. Constituir-se-á essa capa superior impermeabilizante de uma camada energeticamente adensada de solo argiloso, com espessura nominal final de 60cm.

Na concepção do sistema de drenagem dos líquidos percolados o sistema de drenagem de percolados associa-se ao sistema de drenagem de gases, ou seja, os drenos verticais de gases estarão interligados pela drenagem horizontal dos percolados. Estima-se que o aterro deverá produzir cerca de 1,14 l/s de chorume, de acordo com cálculos realizados segundo o método Suíço, que considera parâmetros como precipitação anual média, área do aterro e um coeficiente que depende do grau de compactação dos resíduos. O chorume coletado, será enviado para lagoas de armazenamento e evaporação.

Quanto ao manejo do gás de aterro, como comentado previamente, os poços verticais para a extração do biogás estarão interligados com o sistema de drenagem horizontal de evacuação de percolado.

2. Geração de LFG (gás de aterro) e potencial de redução de emissões pela combustão e aproveitamento do LFG

2.1 Modelo de Geração de Gás de Aterro e Método de Estimativa

Nesta seção não se apresenta uma descrição detalhada do modelo de cálculo de geração de biogás. Simplesmente se apresentam os resultados oriundos da aplicação do referido modelo. Na seção 4 do Atlas podem ser encontradas informações mais detalhadas sobre os modelos e descrição dos principais parâmetros a serem considerados na estimativa do potencial de geração de biogás em um aterro.

Neste caso específico, e como o propósito é avaliar o potencial de redução de Gases de Efeito Estufa (GEE) no CTR São Mateus, o modelo utilizado para estimar a taxa de geração de gás de aterro nos aterros sob este tipo de avaliação é o aprovado pelo Conselho Executivo (EB do inglês “Executive Board”) do MDL, o qual pode ser consultado no Anexo 10 do relatório da 61ª Reunião do Conselho do EB³ (Ferramenta para determinar as emissões de metano evitadas a partir da disposição de resíduos em um local de disposição de resíduos sólidos).

Esta ferramenta foi elaborada com o intuito de calcular as emissões de linha de base de metano decorrentes dos resíduos, que na ausência da atividade do projeto, seriam dispostos em locais de disposição de resíduos sólidos (SWDS do inglês “solid waste disposal site”). As reduções de emissões são calculadas por meio de um modelo de decaimento de primeira ordem. Apesar de tal ferramenta destinar-se ao resíduo evitado nas áreas de disposição, ainda assim é bastante útil para calcular a quantidade de metano gerada pelos resíduos aterrados no caso do projeto proposto.

³ <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-04-v5.1.0.pdf>

A ferramenta fornece um procedimento para determinar $BE_{CH4,SWDS,y} =$, dado por:

$$BE_{CH4,SWDS,y} = \varphi \cdot (1 - f) \cdot GWP_{CH4} \cdot (1 - OX) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_f \cdot MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot e^{-k(y-x)} \cdot (1 - e^{-kj})$$

Onde:

$BE_{CH4,SWDS,y}$	= Emissões de metano evitadas durante o ano y com a prevenção da destinação de resíduos no local de destinação de resíduos sólidos (SWDS) durante o período a partir do início da atividade de projeto até o fim do ano y (tCO _{2e}) ⁴
φ	= Fator de correção do modelo para considerar as incertezas do modelo (0,9) ⁵
f	= Fração de metano capturada no SWDS e queimada em flare, incinerada ou usada de outra maneira.
GWP_{CH4}	= Potencial de Aquecimento Global do metano, válido para o período de compromisso relevante.
OX	= Fator de oxidação (refletindo o volume de metano do SWDS que é oxidado no solo ou em outro material utilizado na cobertura dos resíduos)
F	= Fração de metano no gás do SWDS (fração de volume) (0,5)
DOC_f	= Fração de carbono orgânico degradável (DOC do inglês “Degradable Organic Carbon”) passível de decomposição
MCF	= Fator de correção do metano
$W_{j,x}$	= Quantidade de orgânico tipo j não depositado no SWDS no ano x (toneladas)
DOC_j	= Fração de carbono orgânico degradável (por peso) no tipo de resíduo j
kj	= Taxa de decaimento para o tipo de resíduo j
j	= Tipo de resíduo (índice)
x	= Ano desde que o aterro começou a receber os resíduos [x varia do primeiro ano de operação do aterro (x=1) até o ano para o qual as emissões foram calculadas (x=y)] Observação: esta definição representa uma correção da Ferramenta conforme ACM0001
y	= Ano para o qual foram calculadas as emissões de metano

Nos casos em que o metano do SWDS é capturado (ex.: devido a normas regulatórias de segurança) e queimado em flare, incinerado ou usado de outra forma, as emissões da linha de base são ajustadas à fração de metano capturado no SWDS.

A quantidade de gás de aterro produzida em um aterro independe do modelo utilizado. Depende sim da quantidade, composição e idade dos resíduos, bem como do clima local, dentre outros parâmetros. Do gás de aterro produzido, a fração recuperada depende do projeto e da operação do projeto de recuperação de gás de aterro.

A quantidade de redução de emissões que pode ser gerada pela captura, destruição e aproveitamento de metano em um projeto de recuperação de gás de aterro depende tanto da quantidade de LFG produzido como da fração de recuperação.

⁴ Observe que, neste caso de projeto, as “emissões de metano evitadas” significam as emissões de metano geradas pelo aterro. Assim, o período aqui considerado será desde a abertura até o fechamento do aterro.

⁵ Oonk et al. (1994) validou alguns modelos de gás de aterro com base em 17 projetos de gás de aterro realizados. O erro relativo médio dos modelos multifásicos foi estimado em 18%. Dadas as incertezas associadas ao modelo e visando a estimativa conservadora das reduções de emissões, um desconto de 10% aos resultados do modelo é aplicado.

Nesta seção, serão discutidos os detalhes da estimativa do potencial de geração e recuperação de metano.

Os parâmetros de entrada considerados para o modelo, bem como a quantidade de resíduos dispostos, idade, configuração do aterro, composição dos resíduos, condições ambientais como temperatura e precipitação, além de condições de operação como gerenciamento do gás de aterro e chorume, foram fornecidos pela empresa que realizou o projeto construtivo, com base em questionários preparados pela empresa MGM Innova.

A quantidade de redução de emissões geradas pela captura e destruição do metano depende não somente da quantidade de metano realmente capturado e destruído após a implementação do projeto, mas também de uma estimativa de captura e destruição que ocorreria na linha de base. A linha de base é determinada conforme especificado na metodologia MDL ACM0001: Flaring or use of landfill Gas. As reduções de emissões provenientes da captura e destruição do metano são calculadas através da diferença entre a destruição de metano no cenário do projeto e a destruição de metano no cenário da linha de base. Para alguns casos de projetos de aterros no Brasil, assume-se que existe queima parcial do LFG, devido às exigências que podem surgir na licença ambiental e considerando a prática comum no país.

Além disto, será possível obter uma redução adicional de emissões no caso em que o biogás capturado seja utilizado para geração de eletricidade. Esta redução de emissões se dá no caso em que a eletricidade gerada a partir do biogás desloca uma eletricidade que seria obtida diretamente do grid ou da rede, na ausência do projeto.

Normalmente a eletricidade proveniente da rede nacional é o resultado de uma geração a partir de uma matriz energética mixta que inclui tanto energias renováveis como centrais hidroelétricas, projetos eólicos e a biomassa, como também termoelétricas que operam com combustíveis fósseis como carvão e gás natural. Esta mescla ocasiona que cada MWh entregue pela rede tenha um fator de emissão de gases de efeito estufa associado. Este fator de emissão se expressa em tCO₂/MWh.

Atualmente o fator de emissão para o Brasil é de aproximadamente 0,3095 tCO₂/MWh, de acordo com a ferramenta metodológica : “Tool to calculate the emission factor for an electricity system, versions 1, 1.1, 2, 2.1.0 and 2.2.0” aprovada pelo Conselho Executivo do MDL e calculado e reportado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)⁶

2.2 Resultados da Modelagem de Gás de Aterro

Esta seção apresenta os resultados obtidos após a execução dos modelos para determinar o potencial de geração de gás de aterro.

Nas tabelas 4a e 4b são apresentados detalhes dos parâmetros de entrada do modelo tais como, quantidade de resíduos, composição, valores de k (taxa de decaimento por tipo de resíduo), fração de carbono orgânico degradável (DOC), fração de metano no LFG, fator de oxidação (OX), projeto e condições de operação do aterro, entre outros.

Para o cálculo da estimativa de reduções de emissões (REs) do projeto, consideraram-se os resíduos dispostos a partir do ano 1 e uma vida útil de 20 anos mais 4 anos posteriores ao fechamento do aterro, ou seja um total de 24 anos.

⁶ <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/74689.html>

Tabela 4 a e b. Parâmetros e valores usados na estimativa de geração de biogás

Parâmetros e Valores Padrão do IPCC	Valores
F (fração de metano no LFG)	0,5
DOCf (fração de DOC no LFG)	0,5
MCF (fator de correção para metano)	0,8
16/12	1,33
AF (fração de CH ₄ capturado & queimado ou usado no SWDS)	5%
OX (fator de oxidação para o SWDS)	0,0
GWP metano	21
Densidade do metano, kg/m ³ (0 °C, 1 atm)	0,7168
φ (Fator de correção do modelo)	0,9

IPCC guidelines, 2006	Composição dos resíduos (% em peso, base úmida)	DOCj (% resíduos úmidos)	DOCj (% resíduos secos)
A. Madeira e Produtos de Madeira	4,7%	43%	50%
B. Celulose, Papel & Papelão (com exceção do lodo)	10,0%	40%	44%
C. Alimentos, Resíduos de Alimentos, Bebidas e Tabaco (com exceção do lodo)	60,0%	15%	38%
D. Textéis	2,6%	24%	30%
E. Resíduos de Parques, Jardins e Quintais	5,0%	20%	49%
F. Couro e Borracha (com exceção de borracha natural)	0,7%	39%	47%
G. Fraldas (fraldas descartáveis)	0,0%	24%	60%
H. Lodo	0,0%	9,0%	26%
TOTAL	83,0%		

No entanto, é importante considerar o seguinte: durante os primeiros anos as taxas de geração de biogás são baixas e estas aumentam a medida que se acumulam mais resíduos no aterro. A Tabela 5 mostra a quantidade estimada de gás metano gerada por ano entre os anos 1 e 24. A quantidade de gás depende principalmente da quantidade e da composição dos resíduos e não da configuração do aterro. Essas quantidades de gás foram calculadas pelo modelo que foi citado acima.

Segundo o modelo, a quantidade de gás metano gerada anualmente atingirá o valor máximo no ano 21, ou seja, no ano seguinte a data de fechamento prevista para o novo Aterro Sanitário.

Como se mostra na Figura 5, a quantidade de gás metano gerada anualmente diminui de maneira exponencial após o fechamento do aterro, uma vez que, à medida que o biogás é gerado, a quantidade de matéria em decomposição que permanece no local diminui.

Tabela 5. Recuperação Estimada de Gás Metano e Potência de geração de Energia Elétrica

Ano	Gás Metano Geração (t/CH ₄)	Recuperação de Gás Metano (t/CH ₄)	Taxa de Vazão do Biogás de Aterro (Nm ³ /h)	Potência de Energia Elétrica (MW)
1	-	-	-	-
2	524	-	167	-
3	976	-	311	-
4	1.368	537	436	0,3
5	1.708	838	544	0,4
6	2.005	984	639	0,5
7	2.266	1.112	722	0,6
8	2.496	1.225	795	0,6
9	2.700	1.325	860	0,7
10	2.882	1.698	918	0,9
11	3.045	1.794	970	0,9
12	3.192	1.880	1.017	1,0
13	3.325	1.958	1.059	1,0
14	3.446	2.030	1.098	1,0
15	3.557	2.095	1.133	1,1
16	3.659	2.155	1.166	1,1
17	3.754	2.211	1.196	1,1
18	3.842	2.263	1.224	1,2
19	3.924	2.312	1.250	1,2
20	4.002	2.357	1.275	1,3
21	4.074	2.400	1.298	1,4
22	3.564	2.624	1.135	0,3
23	3.130	2.305	997	0,4
24	2.761	2.033	879	0,5

É muito difícil, ou até impossível, recuperar todo o biogás gerado em um aterro, pois sua cobertura não é impermeável. O biogás pode escapar pela cobertura e pela base do aterro. Para se estimar a quantidade de gás metano que pode ser recuperada, multiplica-se um valor pressuposto de “eficiência de captação” pela quantidade de gás metano gerada. A eficiência da captação depende, entre outros fatores, da qualidade da cobertura do aterro, da parte do aterro afetada pelos poços de coleta de biogás, do projeto dos poços e da sucção aplicada aos poços.

Neste caso, estimou-se que a eficiência da coleta varia entre 40% para o primeiro ano até uns 75% para os anos finais. O valor de 40% é um valor razoável já que durante o primeiro ano de operação o projeto estará

em construção e ajuste. A medida que o tempo avança, o sistema de captura de biogás se torna mais eficiente. Este percentual de captura também reflete o fato de que o novo aterro sanitário estará em operação em paralelo ao projeto de captura e aproveitamento do biogás, o que implica na existência de zonas abertas na frente de trabalho pelas quais poderão ocorrer fugas de biogás para a atmosfera.

Na prática, a eficiência da coleta pode ser maior ou menor do que 75%. Em particular, o uso de uma cobertura de geomembrana sobre a superfície do aterro melhoraria a eficiência da coleta. A cobertura de geomembrana também reduziria a infiltração de água da chuva no aterro, diminuindo a produção de chorume. Os benefícios gerados pela melhor eficiência de coleta do biogás de aterro e pela redução da produção de chorume poderiam compensar os custos de se instalar uma cobertura de geomembrana sobre o Aterro Sanitário.

Os potenciais desenvolvedores do projeto de recuperação de biogás de aterro no Aterro Sanitário de São Mateus devem considerar a utilização da cobertura de geomembrana. Contudo, para os fins desta análise, ela não foi incluída no projeto nem na avaliação econômica. As estimativas de custo e as estimativas de recuperação do biogás de aterro se baseiam na pressuposição de que o aterro será coberto apenas pela argila depositada sobre a camada protetora do solo, que é revestida com grama ou outra vegetação de proteção.

Após executar o modelo de estimativa do LFG capturado, conclui-se que para o ano 21 o aterro possui um potencial máximo de geração de 1.298 m³/h de LFG. O potencial de geração de LFG é representado pela curva vermelha na Figura 5. O gráfico foi estendido até 2050, para mostrar a tendência geral do potencial de recuperação de LFG após o fechamento do aterro.

A energia elétrica que pode ser gerada por meio da recuperação do biogás de aterro é indicada na última coluna da Tabela 5. No ano 21, ano em que a vazão de biogás de aterro chega ao nível máximo, estima-se que o biogás será suficiente para gerar uma energia líquida equivalente a uma capacidade de cerca de 1,4 MW.

A data prevista para início da geração de eletricidade será no ano 4, quando se espera uma capacidade superior a 0,2 MW. Recomenda-se a instalação de uma única usina com capacidade de 1 MW devido às incertezas existentes quanto ao potencial efetivo de geração de biogás. Além disso, adotando-se este critério, obtêm-se uma melhor rentabilidade do projeto já que a potência máxima a ser produzida só poderá ser obtida durante um ou dois anos, assim, se fosse adotada a referência de 1,4 MW, isto redundaria em um super dimensionamento dos equipamentos.

2.3 Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)

Os projetos de recuperação de biogás de aterro podem reduzir as emissões de gases de efeito estufa de duas maneiras. A primeira, através da destruição do gás metano do biogás de aterro pela combustão. Nos mercados de crédito de carbono, considera-se que uma tonelada métrica de gás metano tem um efeito de aquecimento global equivalente a 21 toneladas métricas de dióxido de carbono. Ou seja, o potencial de aquecimento global do gás metano é igual a 21.

Em segundo lugar, o biogás de aterro pode ser usado como combustível para gerar eletricidade ou para produzir energia térmica útil. Sempre que o biogás de aterro substituir combustíveis fósseis como o carvão, o petróleo ou o gás natural, é possível evitar as emissões de dióxido de carbono que seriam causadas pela utilização dos mesmos.

A Tabela 6 mostra a redução de emissões que resultaria do projeto de coleta de biogás. O total de reduções de emissões é expresso como a massa de dióxido de carbono, em toneladas métricas, equivalente à redução de emissão decorrente da destruição do gás metano ou da substituição do uso de combustíveis fósseis na produção de eletricidade (isto é, toneladas métricas de equivalência em dióxido de carbono, ou tCO₂eq).

Neste relatório, pressupôs-se que o biogás seria queimado em motores ou em flares enclausurados, sem um sistema de monitoramento contínuo de emissões. O monitoramento contínuo da exaustão das câmaras de combustão para concentrações de gás metano e oxigênio é caro e exige práticas muito cuidadosas tanto de operação como de manutenção.

Tabela 6. Redução Estimada das Emissões (tCO₂eq)

Ano	Destruição do Gás Metano* (A)	Substituição de Combustíveis Fósseis (B)	Redução anual (A) + (B)	Redução Acumulada
4	10.667	694	11.362	11.362
5	16.653	1.084	17.737	29.098
6	19.550	1.272	20.822	49.921
7	22.092	1.438	23.529	73.450
8	24.339	1.584	25.922	99.372
9	26.312	1.713	28.025	127.398
10	33.725	2.194	35.919	163.317
11	35.615	2.318	37.933	201.250
12	36.623	1.951	38.574	239.824
13	38.891	2.534	41.425	281.249
14	40.172	2.534	42.706	323.955
15	41.348	2.534	43.882	367.837
16	42.440	2.534	44.974	412.810
17	43.427	2.534	45.961	458.771
18	44.372	2.534	46.906	505.677
19	45.233	2.534	47.767	553.444
20	46.052	2.534	48.586	602.030
21	46.829	2.534	49.363	651.392
22	50.861	2.534	53.395	704.787
23	45.107	2.534	47.641	752.428
24	40.214	2.534	42.748	795.175

* Considera-se que ao finalizar o ano 3, serão concluídas as obras de infraestrutura para a captura e aproveitamento do biogás e que há biogás suficiente disponível, o que justifica o início de operação do projeto.

Os créditos de redução de emissões associados à combustão do gás metano só podem ser solicitados na medida em que a quantidade de gás metano queimado pelo projeto de redução de emissões é maior do que a quantidade que seria queimada caso não houvesse o projeto (isto é, na «linha de base»). No Brasil, muitos aterros incluem drenos passivos que permitem que o biogás de aterro escape pelos rachões que são instalados durante a construção do local. Caso o biogás de aterro emitido pelos citados drenos fosse queimado como prática normal no aterro sanitário, o projeto desenvolvido com a finalidade de reduzir as emissões de GEE teria de dar conta do gás metano que seria destruído em sua ausência. Em tais aterros sanitários brasileiros, pressupõe-se, ocasionalmente, que as reduções de emissões da linha de base chegam a 5% do gás metano destruído em projetos de coleta de biogás de aterro. Ou seja, as reduções de emissões na linha de base são equivalentes às reduções de emissões que resultam da queima de 5% do biogás recuperado.

A terceira coluna da Tabela 6 mostra a redução das emissões de dióxido de carbono que é atribuída à substituição de combustíveis fósseis utilizados para a geração de eletricidade.

Os créditos de redução de emissões decorrentes da geração de eletricidade dependem substancialmente do modo no qual se costuma produzir eletricidade em determinada região. Caso toda a eletricidade distribuída na rede de energia fosse gerada por projetos hidrelétricos, que não emitem dióxido de carbono, o uso do biogás de aterro para substituir parte da referida eletricidade não reduziria as emissões pela substituição de combustíveis fósseis. Por outro lado, cerca de uma tonelada métrica de dióxido de carbono seria evitada por cada megawatt-hora de energia produzida pela queima de carvão que fosse substituído pela energia gerada pelo biogás de aterro.

O Governo Brasileiro reajusta periodicamente o valor do fator de emissão de carbono para a eletricidade distribuída na rede de energia, o qual é usado nos mercados internacionais de créditos de carbono. Atualmente, o valor corresponde a aproximadamente 0,3 toneladas métricas de dióxido de carbono por MWh, podendo ser alterado no futuro. Este relatório usou o valor de 0,3 para toda a duração do projeto.

Um dos principais problemas enfrentados pelas usinas de energia alimentadas por biogás de aterro é que o suprimento de biogás varia à medida que o aterro envelhece. Com frequência, os projetos de geração de energia de biogás de aterro não são concebidos para utilizar a taxa de vazão máxima do biogás.

As reduções de emissão estimadas durante o período de 21 anos, totalizam 0,79 milhões de tCO₂e. Os resultados gráficos, relativos a quantidade de reduções de emissão que seriam geradas anualmente assim como as reduções de emissão acumuladas durante o período do 21 anos, estão indicadas nas Figura 4 e 5.

Figura 3. Potencial de geração e de recuperação de LFG – Aterro Sanitário São Mateus

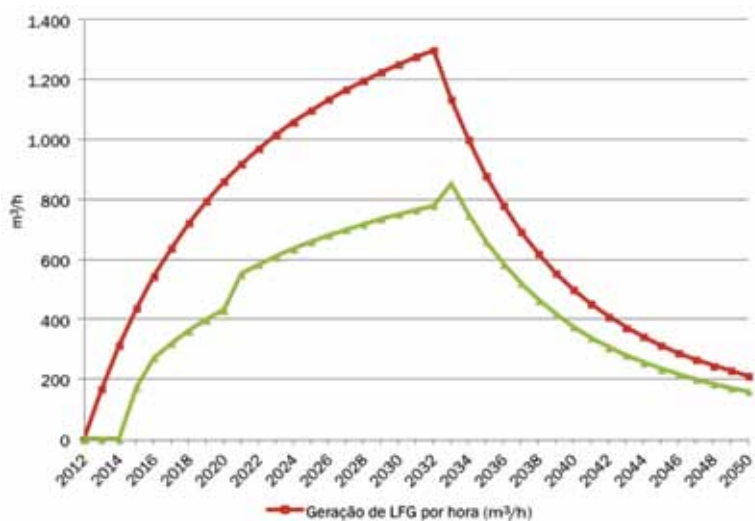


Figura 4. Total de reduções de emissões – Aterro São Mateus (tCO₂e)

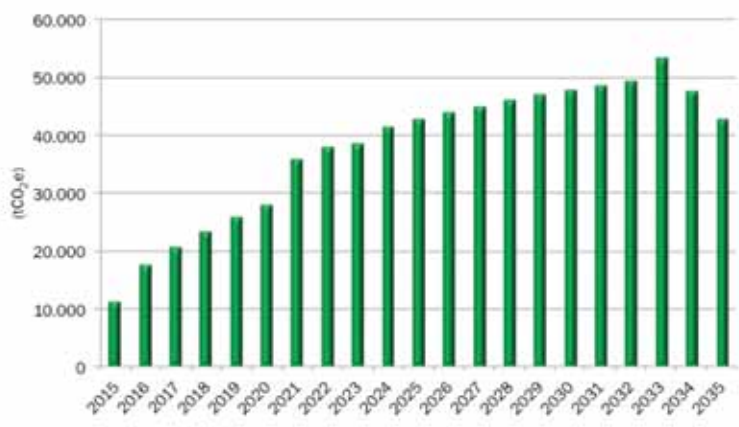
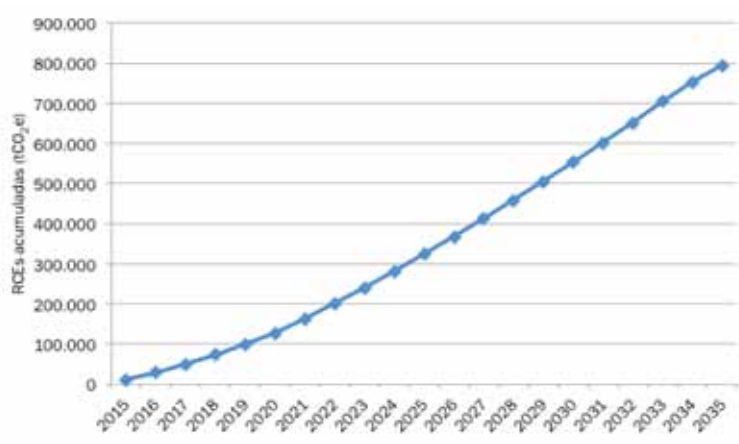


Figura 5. Reduções de emissão acumuladas – Aterro Sanitário São Mateus (tCO₂e)



3. Concepção

Num projeto de recuperação de biogás em aterros sanitários existe a possibilidade de se desenvolver diferentes configurações de aproveitamento, dependendo do uso final que se queira dar ao biogás. Estas opções incluem:

- Queima do LFG para combustão;
- Purificação e venda do biogás como sendo um combustível com alto poder calorífico;
- Geração de eletricidade;
- LFG como uma fonte de calor (LFG como combustível de baixo poder calorífico, evaporador de chorume, caldeiras, etc).

A melhor alternativa dependerá de vários fatores que devem ser levados em conta, como por exemplo:

- Quantidade e disponibilidade de biogás capturado;
- Distância entre o aterro e os usuários finais do biogás. Por exemplo, indústrias ou existência de tubulações de gás natural localizadas próximas a área de influência do projeto;
- Preços de eletricidade e outros combustíveis na região do projeto;
- Condições regulatórias do mercado de energia e de combustíveis;
- Incentivos do governo;
- Custos de tratamento do chorume;
- Etc.

De acordo com nossa experiência na avaliações de projetos de recuperação e aproveitamento de biogás, consideramos que para este projeto a melhor alternativa seria a captura, queima e geração de eletricidade em diferentes etapas. Isto basicamente se deve pela quantidade de biogás que se estima que estará disponível, os valores a serem investidos para as diferentes alternativas, a falta de usuários finais, como parques industriais, no entorno do aterro e por experiências anteriores de outros projetos no Brasil.

Por esta razão, a única opção que foi analisada em detalhes sob o ponto de vista econômico foi a geração de eletricidade e a queima do biogás.

Esta seção relata as principais características de concepção de um possível projeto de geração de energia a partir de biogás de aterro que possa vir a ser viabilizado no Aterro sanitário de São Mateus. As concepções e critérios de concepção são relatados somente na medida do necessário, com a finalidade de se oferecer uma base para a avaliação econômica inicial na Seção 4.

3.1 Visão Geral da Concepção

O desenho conceitual do sistema de captura e aproveitamento de biogás para este aterro inclui uma rede de poços e um sistema para a destruição e aproveitamento do biogás. De maneira geral, este desenho conceitual inclui os seguintes componentes.

- a) Um campo composto por poços verticais e, possivelmente, alguns poços horizontais, conectados através de tubos que ligam os poços à estação de combustão, com aprimoramento na cobertura do aterro, com equipamentos de monitoramento e de controle, além de um sistema de gerenciamento de condensados.

- b) A estação de combustão é composta por um flare enclausurado, sopradores para aspirar o biogás no aterro, e equipamentos auxiliares de segurança, controle de processos e monitoramento. A estação de combustão seria projetada para lidar com a taxa de vazão de biogás máxima esperada de 500 Nm³/h.
- c) Uma usina elétrica composta por um motor, gerador e equipamentos auxiliares abastecidos com biogás do aterro. A capacidade da unidade é considerada como sendo 1,0 MW. Considera-se que esta usina será instalada em 2015. As concepções finais devem incluir uma análise criteriosa dos compromissos entre ajustar o projeto de energia para utilizar todo o biogás do aterro disponível, ou investir na capacidade que não será aproveitada plenamente durante parte da vida útil do projeto.

Quando o biogás do aterro é usado para gerar energia elétrica, não se faz necessário a instalação do flare para a queima do biogás. No entanto, dadas as condições deste projeto, durante os primeiros anos o biogás deverá ser queimado até que seja alcançada uma taxa suficiente de recuperação que justifique a instalação da usina elétrica.

3.2 Concepção do Campo de Poços

O novo Aterro de São Mateus incluirá cerca de 53 poços de biogás, que ficarão a uma distância aproximada de 40 m entre si. Esta distância é adequada considerando que estes poços serão construídos desde a base do aterro até a superfície, o que garante um amplo raio de influência. Estes poços poderão ser modificados para a construção de poços coletores para o projeto de MDL.

É importante considerar que o campo de poços será construído a medida que se avança com a operação do aterro.

Caso não sejam convertidos em poços coletores, os drenos devem ser selados para impedir a sucção de ar no aterro. Para obter uma boa eficiência de coleta, o sistema de coleta de biogás do aterro pode tanto incluir drenos convertidos, quanto novos poços instalados em locais que não tenham drenos no momento. No entanto, para nossa análise se considerou que não seriam instalados novos poços e simplesmente se fariam modificações nos poços previamente previstos.

Um dreno de biogás existente no aterro pode ser convertido em poço vertical através da remoção e reconstrução das partes superiores que compõem o dreno. Primeiramente, rocha e solo são removidos até cerca de quatro metros ou mais de profundidade. O duto perfurado é completado com pedras ou cascalho. O duto próximo à superfície do aterro não é perfurado, mas envolto em argila ao invés de rochas. O duto de cada dreno modificado e convertido em poço vertical estende-se desde a parte superior do poço original até a superfície do aterro e é conectado ao restante do sistema de captação.

Pelo fato dos drenos que serão construídos no novo Aterro de São Mateus serem conectados a drenos de chorume horizontais abaixo da superfície, a eficiência de coleta do biogás na área afetada pelos drenos convertidos e pelos drenos horizontais tem grandes chances de ser muito boa.

A profundidade do poço, o raio de influência de cada poço e a distância entre e os poços estão relacionados entre si e dependem da profundidade do aterro, da compactação e permeabilidade dos resíduos, entre outros fatores. As escolhas ideais de profundidade do poço, distância, etc. são melhor determinadas por testes de bombeamento quando diferentes profundidades e distâncias de separação dos poços são comparadas.

Na prática, os poços no Aterro Sanitário de São Mateus cruzariam os drenos de chorume em várias elevações. Para os novos poços, é possível utilizar tubulações plásticas (Polietileno de Alta Densidade – PEAD) ao invés de tubos de concreto, para penetrar a superfície do aterro.

Além dos parâmetros de concepção, um sistema de captura de gás de aterro necessita de operação e manutenção adequada. A operação adequada de um sistema de captura de gás de aterro envolve os seguintes passos:

1. Monitoramento do nível de chorume nos poços;
2. Conexão apropriada das cabeças de poços;
3. Instalação de dutos e tubulações de comunicação horizontal, incluindo declives apropriados.

Na superfície do aterro, ou próximo a ele, uma válvula de controle e uma porta de monitoramento são instaladas para cada poço. Cada poço é conectado a uma rede de tubos que conduz o biogás do aterro à estação de combustão. A rede de tubos pode ser subterrânea, ou instalada na superfície do aterro.

Os tubos de biogás do aterro geralmente são ajustados para que a velocidade não ultrapasse 15 m/s. Geralmente, os tubos originados de poços individuais e do agrupamento de alguns poços teriam de 63 milímetros à 110 milímetros (cerca de 2 a 4 polegadas) de diâmetro. O duto que conduz a vazão total de biogás do aterro teria cerca de 160 milímetros de diâmetro. Entretanto, poderia ser conveniente utilizar um duto maior para dar conta de uma taxa de vazão de biogás do aterro maior que a estimada.

Em pontos baixos na rede de tubos, sifões de condensado são instalados para drenar a água condensada que de outra forma obstruiria os canos. Os sifões são projetados para permitir que a água seja drenada da rede, ao mesmo tempo em que impedem a intrusão do ar.

3.3 Concepção da Estação de Combustão

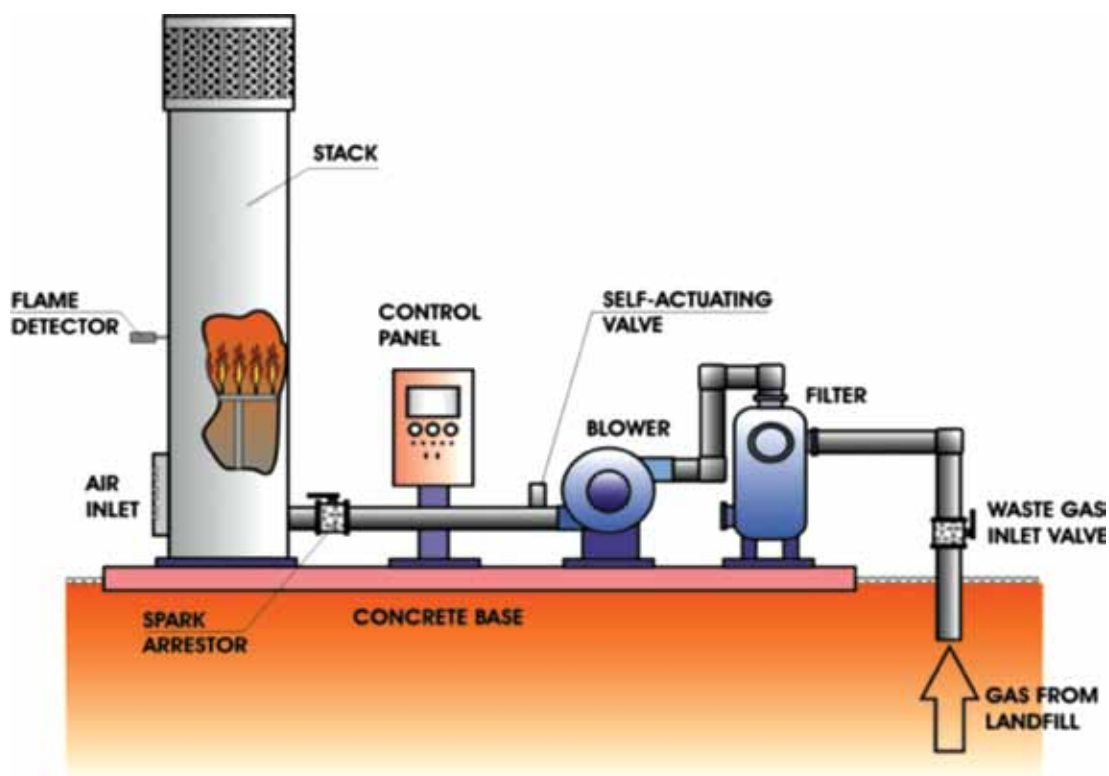
A estação de combustão idealizada para este projeto inclui componentes e processos típicos de muitas estações existentes, conforme descrito abaixo.

- O biogás do aterro originado no campo é inserido no separador de umidade para a remoção de gotículas de condensado.
- O biogás do aterro passa por uma válvula de desligamento que fecha automaticamente quando o sistema é desligado, e abre através do sistema de controle, somente depois que uma chama piloto estiver queimando na câmara.
- Um ou mais sopradores aplicam uma sucção de cerca de 100 milibares ao tubo que se estende no campo. Essa sucção faz com que o fluxo de biogás seja retirado do aterro. Os sopradores aplicam uma pressão positiva sobre o biogás captado, impulsionando-o para o flare e para o projeto de valorização do biogás. As válvulas controladas manualmente são usadas para controlar a pressão do biogás, a montante e a jusante dos sopradores. Mecanismos de frequência variável são muitas vezes utilizados para controlar a velocidade dos motores e proporcionar maior controle sobre a pressão e a vazão.
- O biogás de aterro passa para o flare e para a usina através da tubulação que contém os instrumentos para a medição da taxa de vazão, composição, pressão e temperatura do biogás.
- Logo antes de chegar à câmara e a outros equipamentos, o biogás de aterro passa por um corta-chamas, nome dado ao dispositivo de segurança destinado à prevenção de retorno das chamas aos sopradores.

- Sempre que a usina elétrica não estiver operando, o biogás é inserido no flare, onde é queimado. O flare de chama enclausurada foi idealizado para este projeto, pois flares enclausurados são considerados capazes de produzir efeitos de combustão mais eficazes que flares de chamas abertas, e tal processo resulta em maior número de créditos comercializáveis de reduções de emissões. Uma análise criteriosa das decisões econômicas, porém, pode levar à escolha de um flare aberto.
- O flare, os sopradores e outros equipamentos são controlados por um sistema que inicia, interrompe e ajusta o sistema para manter a segurança e otimizar a operação.
- Um sistema de monitoramento automático registra os dados de operação, tais como o volume de biogás de aterro que segue para a câmara, a composição do biogás do aterro sanitário, a temperatura da câmara, etc.

A estação de queima deve incluir uma área de controle, fornecimento de eletricidade, fundações para os principais equipamentos, e uma pequena oficina para armazenar peças de reposição e realizar consertos. Um desenho esquemático de uma estação de queima típica é apresentado na Figura 6.

Figura 6. Desenho esquemático de uma estação de queima



3.4 Concepção da Usina Elétrica

Um projeto de usina elétrica no aterro de São Mateus seria projetado de modo a produzir 1,0 MW de energia.

Geralmente, as usinas elétricas abastecidas com biogás de aterro utilizam motores de combustão interna (CI) alternativos com ignição por faísca, os quais geram energia mecânica para acionar o gerador elétrico. As usinas que utilizam turbinas a gás, motores a diesel, turbinas a vapor e células de combustível também podem ser abastecidas total ou parcialmente pelo biogás do aterro. Neste relatório, as análises de concepção e econômicas são baseadas no uso de motores de CI alternativos com ignição por faísca em função de sua confiabilidade comprovada, e do seu uso predominante neste tipo de aplicação.

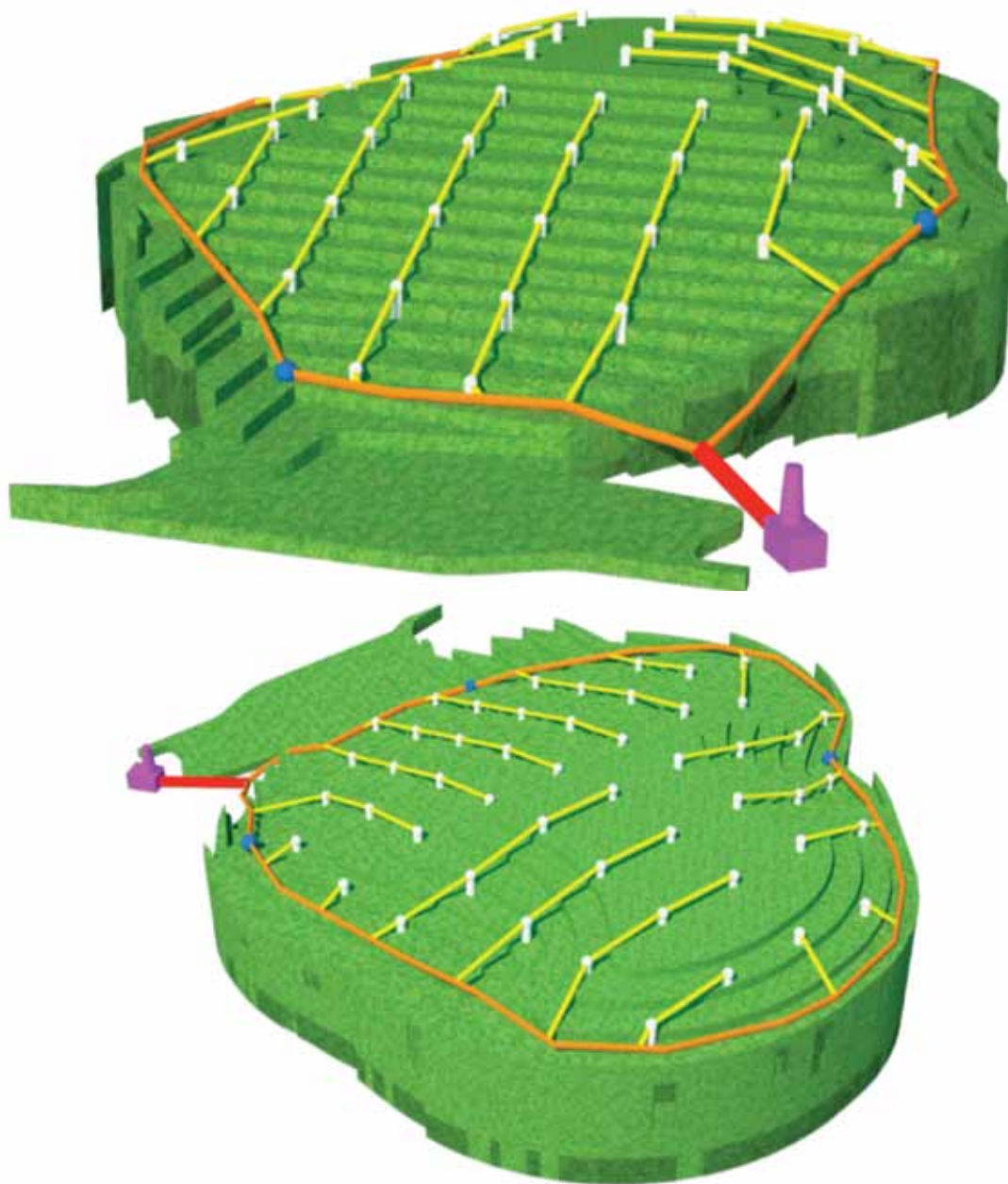
Muitos dos principais fabricantes de motores oferecem sistemas de módulos montados sobre chassis, geradores a motor (“gensets”), que utilizam o biogás de aterro e produzem energia elétrica. Além do genset, a concepção da usina considerada inclui os seguintes equipamentos auxiliares.

- A jusante do soprador e dos instrumentos expostos acima, uma válvula que direciona o gás do aterro para o flare ou para os gensets.
- Um sistema de condensação do gás. Alguns motores exigem que o biogás seja fornecido a uma pressão de cerca de 3.000 milibares (45 libras por polegada quadrada). Independente da necessidade de biogás comprimido para o motor, um compressor mostra-se útil na limpeza e na secagem do biogás. A limpeza e a secagem ajudam a manter o bom desempenho do motor, minimizam a manutenção, e prolongam a vida útil do motor.
- Um sistema de condensação de biogás simples inclui um compressor de gás e um resfriador que utiliza a água circulante como meio de resfriamento. Esse sistema remove a água condensável e outros contaminantes condensáveis do biogás de aterro. Após ser resfriado, o biogás é levemente aquecido, utilizando o calor de escape do motor, para impedir condensação nos dutos a jusante e no motor.
- Sistemas mais abrangentes de condicionamento do biogás do aterro, que não estão incluídos nesta concepção, incluem sistemas de remoção de umidade a partir de glicol, refrigeração mecânica para promover a remoção de compostos condensáveis, e sistemas baseados em absorção química ou membranas seletivas para limpar o dióxido de carbono e outros gases do biogás do aterro sanitário.
- Sistemas de lubrificação, resfriamento e exaustão. Gensets modulados podem incluir esses sistemas no mesmo chassi do motor e do gerador. Porém, frequentemente existem vantagens em ter um radiador montado externamente para melhorar a eficácia do resfriamento, uma extensão do sistema de exaustão para afastar o calor do gerador de energia até uma elevação adequada, além do suprimento de óleo lubrificante e sistema de circulação.
- Um sistema de monitoramento. O fluxo de biogás para o motor deve ser monitorado de acordo com a taxa de vazão a fim de determinar as reduções de emissões de GEE. A produção de energia elétrica também deve ser mensurada. A concentração de metano do biogás seria determinada a partir do mesmo medidor adotado para determinar a composição da vazão de biogás para a câmara.
- Um equipamento de condicionamento de energia. A eletricidade gerada pelo genset deve ser ajustada para a voltagem apropriada por meio de um transformador, antes de ser enviada à rede de distribuição local. Disjuntores e outros equipamentos de proteção são exigidos para proteger a rede de distribuição.

- Obras civis. Os geradores de energia devem ser colocados em um local que abrigue os equipamentos e a equipe de operações e manutenção. Os gensets de energia devem ser montados sobre fundações de concreto.

Os layouts futuros detalhados da rede de poços de captação e do sistema de bombeamento deverão ser determinados após um estudo de engenharia. No entanto, a título orientativo, é apresentado a seguir um layout conceitual sobre como seria um projeto de captura e aproveitamento de biogás no aterro de São Mateus.

Figura 7. Projeto conceitual – Aterro São Mateus



4. Análise econômica

4.1 Investimento inicial

A MGM estima em cerca de **US\$ 2,0 milhões o investimento inicial** em um projeto de recuperação e aproveitamento de LFG no aterro sanitário de São Mateus. Soma esta que inclui US\$ 269 mil para o rede de captação mostrada na Tabela 7; US\$ 450 mil para a estação de queima indicada na Tabela 8; US\$ 1,2 milhões para a estação da usina eléctrica indicada na Tabela 9. Esta estimativa de custo inclui os equipamentos principais, interligação de rede eléctrica e outros serviços profissionais, bem como o custo de compra, entrega e instalação dos equipamentos; e US\$ 160 mil para os serviços de suporte administrativo e de engenharia apresentados na Tabela 10.

A rede de captação do aterro controlado inclui a modificação de 53 poços que estão previstos para serem construídos. Os poços deverão ser conectados a uma rede de dutos auxiliares de (110 mm). Os dutos auxiliares serão conectados a um duto principal (160 mm) instalado no entorno da área efetiva de captação do aterro. Um duto único de 200 mm levará o gás deste circuito externo até a estação de queima e aproveitamento.

Considera-se um adicional do 10% dos custos relacionados para contingências e custos diversos. Para o aterro de São Mateus, justifica-se um valor elevado para contingências dada a possibilidade de ocorrência de problemas não previstos ao modificar os poços existentes e evitar a sucção de ar para o interior destes.

Na Tabela 8, o custo do flare, sopradores e equipamentos auxiliares se baseia em várias estimativas de preços fornecidas pelos diversos fornecedores que a MGM consultou recentemente para projetos anteriores. Geralmente, o custo instalado de um flare, sopradores e equipamentos auxiliares é de aproximadamente US\$ 600 mil para um sistema de 5 mil metros cúbicos por hora. A MGM aplica um fator de escala de 0,7 para a estimativa do custo de sistemas de outros porte. Isto é, o custo do sistema varia conforme a razão da taxa de fluxo real comparada com a taxa de fluxo de referência (5 mil metros cúbicos por hora), elevada à potência 0,7.

Este fator de escala foi considerado consistente com as cotações de orçamento obtidas junto aos fabricantes de flare. No aterro de São Mateus, o sistema deve ser dimensionado para operar com 500 metros cúbicos de LFG por hora. Assim sendo, o custo é calculado da seguinte forma:

$$\text{Custo do sistema de } 500 \text{ m}^3/\text{h} = \text{Custo do sistema de } 5.000 \text{ m}^3/\text{h} \times (500 \text{ m}^3/\text{h}/5.000 \text{ m}^3/\text{h})^{0,7}$$

Os custos estimados com instrumentação (incluindo obras eléctricas) e obras civis foram considerados de forma conservadora. O aterro receberá energia do grid, mas será necessário instalar uma linha de transmissão de média tensão até a estação de queima. Considera-se 5% de contingências, como padrão adequado para a estimativa de custos abaixo descritos.

O custo estimado da usina eléctrica abastecida com biogás do aterro (Tabela 9) para este projeto é de US\$ 1,2 milhões. Esta estimativa de custo inclui os equipamentos principais, interligação de rede eléctrica e outros serviços profissionais, bem como o custo de compra, entrega e instalação dos equipamentos.

Os investimentos para a aquisição da estação de queima e para a usina de geração de energia eléctrica estão previstos para 2014.

Os custos de serviços ambientais e de engenharia são indicados na Tabela 10. A base de cada custo é descrita na própria tabela.

Tabela 7. Custo estimado da rede de captação

Item	Base	Custo (US\$)
Novos Poços	53 poços a US\$ 2.000 por poço (adequação dos poços propostos para o novo aterro)	106.000
Dutos Auxiliares	1.800 metros de dutos de 110 mm a US\$ 32/metro	35.200
Dutos Principais	910 metros de dutos de 160 mm a US\$ 55/metro	57.600
Drenos de Condensado	6 drenos a US\$ 2.000/dreno	12.000
Subtotal	Soma dos itens acima	245.350
Contingências e diversos	10% do subtotal	24.535
TOTAL		269.885

Tabela 8. Custo estimado da estação de queima

Item	Base	Custo (US\$)
Flare, Sopradores e Equipamentos Auxiliares	Ver texto explicativo	239.431
Instrumentação	Estimativa	80.000
Obras civis	Estimativa	110.000
Subtotal	Soma dos itens acima	429.431
Contingências e Diversos	5% do subtotal	21.472
TOTAL		450.903

Tabela 9. Custo estimado da usina elétrica

Item	Custo (US\$)
Equipamentos principais	780.000
Mão de obra de instalação mecânica	180.000
Instrumentação e monitoramento	80.000
Custo de engenharia civil & Conexões elétricas	120.000
Sub-Total	1.160.000
Contingências (5%)	58.000
Custo Total para a Usina Elétrica	929.250

Tabela 10. Custo estimado dos serviços

Item	Base	Custo (US\$)
Licenças e estudos	Aprovação da licença + estudo de viabilidade do MDL	30.000
Registro do MDL	Preparação do DCP, validação e taxas de registro	50.000
Engenharia e Gerenciamento do Projeto	Custo estimado do projeto detalhado, serviços de suporte para aquisição de equipamentos, especificações e assistência contratual, acompanhamento da construção, treinamento e comissionamento	80.000
TOTAL		160.000

4.2 Operações, Manutenção e Monitoramento (OM&M)

Os custos anuais estimados de operação, manutenção e monitoramento dos projetos são mostrados na Tabela 11. Tais custos somam aproximadamente US\$ 155 mil para o primeiro ano. Adicionalmente aos custos fixos de OM&M, foi incluído um valor de O&M variável da usina elétrica de US\$ 0,015 por kWh a partir de 2015. Este custo de O&M da usina elétrica varia anualmente, dependendo da quantidade de eletricidade gerada.

Tabela 11. Custos anuais de OM&M estimados

Item	Base	Custo (US\$)
Mão-de-obra	2 ajudantes (1 ajudante e um Líder de operação)	80.000
Eletricidade	6 kW para sopradores e 2 kW para outras aplicações. Preço estimado em US\$ 0,14/kWh, 8760 horas anuais.	11.283
Manutenção dos equipamentos	3% do custo do flare, sopradores, acessórios e instrumentação	9.583
Manutenção da rede	5% do custo total da rede de captação	13.494
Verificação e Certificação do MDL	Estimativa	10.000
Laboratório, testes e calibrações	Estimativa	8.000
Seguro	Estimado em US\$ 4.000, mais 1% do custo da estação de queima	8.509
Segurança	Estimativa	15.000
TOTAL		140.350

4.3 Receitas do Projeto

O projeto em questão teria suas receitas originadas da venda de eletricidade e da venda dos créditos de redução de emissões.

Na ocasião em que foi realizada a avaliação inicial do projeto (fins de 2011, início de 2012), a situação do mercado de carbono era muito diferente da atual. Naquela ocasião, considerou-se um preço conservador para os créditos de redução de emissões de US\$ 8,5 por tCO₂eq⁷. A situação atual mostra que os preços alcan-

⁷ Preço em 20 de outubro de 2011. <http://www.pointcarbon.com/>

çaram um de seus valores mais baixos na história. Por esta razão, apresentamos também uma análise sem considerar receitas pela venda de créditos de carbono, embora seja importante mencionar que apesar da situação atual do mercado, ainda existem alguns outros padrões, sob os quais se poderia desenvolver o projeto e também empresas e governos dispostos a pagar por créditos provenientes de projetos atraentes, como por exemplo, geração de eletricidade a partir de biogás, já que estes incorporam significativas componentes de contribuição para o desenvolvimento sustentável.

Por outro lado, considera-se que a eletricidade tenha o preço, no atacado, de US\$ 75 por MWh. Este preço é baseado em recentes leilões de energia promovidos no Brasil⁸. Existe uma incerteza significativa com relação aos valores que poderiam de fato ser obtidos, considerando que os programas de incentivo do governo estão sujeitos a mudanças. Os desenvolvedores do projeto devem verificar o preço, impostos e taxas associados a venda de energia antes de tomar qualquer decisão de investimentos. De qualquer maneira, na sequência do relatório consta uma análise de sensibilidade na qual se inclui uma variação nos preços de venda da eletricidade.

4.4 Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR)

A receita líquida para cada ano é calculada subtraindo os custos da receita bruta. Aplicou-se uma taxa de desconto de 11,75%⁹ por ano. O VPL é calculado através da adição das receitas líquidas de cada ano, descontadas pela taxa de juros até o ano de referência, incluindo o mesmo.

A TIR é igual à taxa de desconto que resulta em um VPL nulo.

Foram considerados impostos sobre o lucro da ordem de 34%. No entanto, dado que a questão tributária sobre créditos de carbono ainda não está claramente definida no Brasil e portanto está sujeita a consultas ao órgão regulador bem como a diferentes interpretações por parte dos advogados tributaristas e, dado que neste estudo não se conhece qual será o regime tributário ao qual estará sujeito o empreendimento, recomendamos fortemente que quando da eventual tomada de decisão de ir adiante ou não com o projeto, seja consultado e definido com o escritório de contabilidade contratado quais serão os tributos aos quais o projeto estará efetivamente submetido.

4.5 Análise de sensibilidade

Os métodos e hipóteses discutidos acima geram uma TIR estimada de 12,9% para um projeto que iniciaria seu período creditício em 2015 e terminaria em 2035. Cerca de 38% da receita derivam dos créditos de redução de emissões, e 62% derivam da venda de eletricidade.

Esta seção apresenta uma análise de sensibilidade sobre os parâmetros-chave a fim de determinar o impacto que a variação destes tenha sobre os indicadores financeiros do projeto (TIR, VPL).

⁸ CCEE: Camara de Comercialização de Energia Elétrica. <http://www.ccee.org.br/cceointerds/v/index.jsp?vgnextoid=b01b9f733d60b010VgnVCM1000005e01010aRCRD>

⁹ Baseado na última versão do guia de investimentos para projetos de MDL, no qual se estabeleceu um default value de 11,75%. para projetos de resíduos sólidos no Brasil: http://cdm.unfccc.int/Reference/Guidclarif/reg/reg_guid03.pdf

Os principais parâmetros utilizados são:

- a) Preço de venda das RCEs (Reduções Certificadas de Emissões);
- b) Preço de venda da energia;
- c) Investimento total do projeto;
- d) Custos de operação e manutenção;

A faixa de variação para cada um dos parâmetros foi de +/- 10% e +/- 20%. Os resultados da análise de sensibilidade são apresentados a seguir:

Tabela 12. Análise de sensibilidade: Preço das RCEs

	-20%	-10%	0%	+10%	+20%
VPL	(\$70.343)	\$64.313	\$198.969	\$332.970	\$464.687
TIR	11,3%	12,1%	12,9%	13,6%	14,3%

Tabela 13. Análise de sensibilidade: Preço de venda da energia

	-20%	-10%	0%	+10%	+20%
VPL	(\$253.253)	(\$27.142)	\$198.969	\$422.177	\$643.102
TIR	10,3%	11,6%	12,9%	14,0%	15,2%

Tabela 14. Análise de sensibilidade: O&M

	-20%	-10%	0%	+10%	+20%
VPL	\$489.586	\$345.419	\$198.969	\$48.988	(\$100.993)
TIR	14,4%	13,6%	12,9%	12,0%	11,2%

Tabela 15. Análise de sensibilidade: Investimento

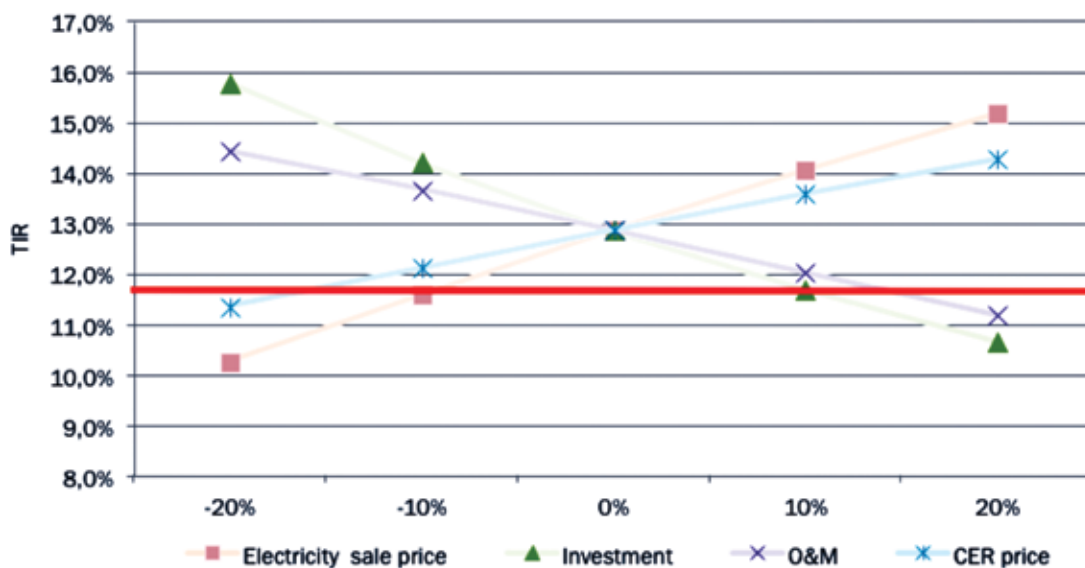
	-20%	-10%	0%	+10%	+20%
VPL	\$618.727	\$408.848	\$198.969	(\$10.910)	(\$220.788)
TIR	15,8%	14,2%	12,9%	11,7%	10,7%

De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 12 a 15 e conforme indicado na Figura 10, é possível concluir que de acordo com as premissas básicas adotadas, o projeto possui uma TIR de 12,9% e um VPL de US\$ 198.969.

No caso da ocorrência de uma das condições abaixo, o projeto se torna inviável:

- Redução superior a 15% no preço das RCEs (Reduções Certificadas de Emissões).
- Redução superior a 9% no preço de venda da eletricidade.
- Aumento dos investimentos em mais de 9%.
- Aumento dos custos de O&M em mais de 14%.

Figure 8. Análise de sensibilidade – MDL aterro Sanitário São Mateus



A análise financeira mostra que o projeto está no limite e será necessário um gerenciamento adequado dos recursos para que o mesmo permaneça financeiramente atraente.

Também realizamos uma análise sobre os resultados financeiros sem considerar as receitas de venda das RCEs.

No caso de se considerar somente a venda da energia, sem desenvolver o projeto de créditos oriundos de reduções de emissões de GEE, não seria necessário considerar o investimento num flare de alta eficiência, pois o único propósito a considerar seria o de geração de energia. Eliminado este componente, obtemos que a TIR do projeto é de 6,0% e o VPL de (US\$ 686.352). Caso o projeto não consiga obter seu registro junto à CQNUMC e se queira, ainda assim, gerar energia, poderiam ser feitos alguns ajustes quanto ao dimensionamento dos equipamentos, a fim de se obter uma TIR mais atraente. O sucesso do projeto neste caso dependerá também das tarifas de energia.

Outra alternativa seria implementar somente um projeto de captura e queima de biogás sem incluir a geração de eletricidade. Neste caso, o projeto necessariamente deverá ser registrado como projeto de redução de emissões para produzir os créditos de carbono já que esta seria a única receita do projeto. Para esta opção, a TIR seria de 5,6% e o VPL de (US\$ 459.757).

É importante ressaltar que este modelo de análise de investimento conta com um nível razoável de incertezas quanto ao dimensionamento do sistema, devido ao fato de que não se possui alguns detalhes sobre as condições do novo aterro. Estes cálculos se baseiam em um desenho conceitual, o qual pode demandar ajustes. No entanto, os resultados são relevantes no sentido de se obter uma perspectiva do potencial de negócio que o projeto possa gerar.

5. Conclusões

A Tabela 16 mostra um resumo das reduções de emissões de gás de efeito estufa e dos resultados da análise econômica preliminar para este aterro.

Tabela 16. Redução das Emissões e Resultados Econômicos

Cenários	Duração do Projeto (2015-2036)
Geração de Energia de 1,0 MW + créditos de redução de emissões	
Redução das Emissões (tCO ₂ e)	795.175
Taxa Interna de Retorno	12,9%
VPL	US\$ 198.969
Geração de Energia de 1,0 MW sem flare e sem créditos de redução de emissões	
Redução das Emissões (tCO ₂ e)	NA
Taxa Interna de Retorno	6,0%
VPL	(US\$ 686.352)
Somente queima de LFG em flare sem geração de eletricidade + créditos de redução de emissões	
Redução das Emissões (tCO ₂ e)	750.521
Taxa Interna de Retorno	5,6%
VPL	(US\$ 459.757)

Seguem abaixo as conclusões e recomendações relacionadas ao desenvolvimento de um projeto de geração de energia com 1,0 MW de potência, a partir de biogás no novo aterro São Mateus.

1. Avalia-se que a destruição do metano, em flare com 90% de eficiência de queima, deve resultar em cerca de 11.362 tCO₂e de reduções de emissões de GEE em 2015. A redução anual de emissões aumentaria para cerca de 50.861 tCO₂e em 2033, uma vez que, quanto mais resíduos são lançados no aterro, mais aumenta a geração anual de metano. Durante o período de 21 anos que se inicia em 2015 e vai até 2035, a redução de emissões estimada a partir da queima controlada de gás equivale a 750.521 tCO₂e.
2. Caso o biogás seja queimado em motores, a eficiência da combustão passa a ser 100%, e as emissões de 0,3 toneladas de dióxido de carbono por MWh produzido serão evitadas pela substituição da combustão de combustível fóssil na geração de eletricidade. Se considerarmos que o biogás de aterro não usado nos motores terá uma eficiência de queima de 90%, teremos que as reduções de emissões estimadas durante o período de 2015-2035 serão de 795.175 tCO₂e. A potência gerada estimada a partir

do projeto de energia de biogás do aterro será de 1,0 MW. Estima-se que a geração do biogás alcançará a taxa máxima em 2033.

3. A TIR estimada de um projeto de energia de biogás de aterro com 1,0 MW de capacidade, operando de 2015 a 2035, é 12,9%.
4. Caso o biogás do aterro fosse queimado, mas não usado para gerar eletricidade, a TIR estimada seria 5,6% ao ano.
5. Uma vez terminado o período creditício em 2035, ainda existirá um potencial interessante para a geração de reduções de emissões de GEE e para a geração de eletricidade, independentemente da continuidade dos mercados de carbono. Estima-se que, por pelo menos 5 anos depois do encerramento do aterro, este ainda teria biogás disponível e que aportaria receitas adicionais. Desta maneira, se ampliarmos o período de análise de investimento, os indicadores financeiros do projeto melhorariam consideravelmente.
6. Para garantir um desempenho adequado do projeto de captura e aproveitamento de biogás, é desejável que este seja integrado desde o princípio dentro dos projetos de engenharia e de construção do aterro. Além disto, quanto maior for a sinergia entre a operadora do aterro e a empresa responsável pelo projeto de aproveitamento de biogás, maior será a probabilidade de sucesso deste. Em muitas ocasiões, projetos desta natureza acabaram fracassando pelo fato de não existir uma articulação adequada entre as partes envolvidas. Este é um aspecto bastante interessante para o caso de São Mateus, já que o mesmo encontra-se em sua etapa inicial de desenvolvimento.
7. O aumento no preço dos créditos oriundos da redução de emissões melhoraria consideravelmente a viabilidade econômica tanto do projeto de energia quanto do projeto de queima controlada de gás. O mesmo sucederia com um aumento no preço de venda da eletricidade.