



## RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO PRELIMINAR

### Aterro Sanitário “Central de Resíduos do Vale do Aço” Santana do Paraíso, Minas Gerais Brasil

Preparado para:  
Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM

Preparado com o apoio de:  
**Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (EPA)**  
**Programa de Aproveitamento do Gás Metano de Aterros Sanitários**



Preparado por:  
**SCS ENGINEERS**

Arquivo No. 02210030.04  
Abril de 2011

## Índice

Seção	Página
1.0	Resumo Executivo..... 1
2.0	Apresentação ..... 1
2.1	Propósito do Relatório de Avaliação ..... 2
2.2	Fonte de Dados..... 2
2.3	Limitações do Projeto..... 3
3.0	Descrição do Aterro Sanitário..... 3
3.1	Operações no Aterro Sanitário ..... 7
3.2	Informações sobre a Disposição de Resíduos..... 10
	Taxas Anuais de Disposição de Resíduos..... 10
	Dados sobre a Composição dos Resíduos..... 12
4.0	Projeções de Geração e Recuperação de Gás de Aterro Sanitário..... 13
4.1	Informações sobre o Modelo Internacional de GAS da SCS..... 13
4.2	Parâmetros de Entrada do Modelo ..... 14
	Valores para a Variável $k$ do Modelo ..... 14
	Fator de Correção do Metano..... 14
	Valores para a Variável $L_0$ do Modelo ..... 14
	Eficiência de Recuperação de GAS..... 15
4.3	Resultados do Modelo ..... 16
5.0	Opções de Utilização do Gás de Aterro Sanitário ..... 17
5.1	Geração de Eletricidade ..... 18
	Programas Brasileiros de Energia Renovável ..... 18
	Opções de Energia Elétrica do Vale do Aço ..... 19
5.2	Uso Direto..... 20
5.3	Queima Direta Do Metano e o Comércio de Emissões..... 21
6.0	Outras Considerações do Projeto ..... 23
6.1	Direitos do Gás de Aterro Sanitário..... 23
6.2	Segurança e Catadores ..... 23
7.0	Recomendações..... 23
7.1	Gestão do Aterro ..... 23
7.2	Implantação do Projeto ..... 23
8.0	Conclusões ..... 24

### Lista de Figuras

<b>No.</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Localização do Aterro Sanitário do Vale do Aço .....	4
Figura 2 - Frente de Trabalho .....	5
Figura 3 - Área de Compostagem.....	6
Figura 4 - Área de Esterilização de Resíduos Hospitalares.....	6
Figura 5 - Drenos de Chorume / .....	8
Poços de Dreno da Camada Base.....	8
Figura 6 - Camada Base -Geomembrana .....	8
Figura 7 - Reservatório de Coleta de Chorume.....	9
Figura 8 - Poços de Dreno.....	10
Figura - Poços de Dreno .....	10
Figura 10 - Projeções de Geração e Recuperação de GAS de Aterro Sanitário do Vale do Aço .....	17
Figura 11 - Possíveis Pontos para Uso Direto.....	21

### Lista de Tabelas

<b>No.</b>	<b>Página</b>
Tabela 1 - Estimativas de Disposição de RSMs – Aterro Sanitário do Vale de Aço .....	11
Tabela 2- Dados sobre a Composição de RSMs – Aterro Sanitário do Vale de Aço .....	12

### Lista de Anexos

Anexo A – Resultados de Modelo de GAS

# RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO

## ATERRO SANITÁRIO

### “CENTRAL DE RESÍDUOS DO VALE DO AÇO”

## 1.0 RESUMO EXECUTIVO

Este relatório, que apresenta uma avaliação sobre um único projeto de utilização ou queima de gás do aterro (GAS, ou sua sigla em inglês LFG, *Landfill Gas*), foi preparado por SCS Engineers (SCS), com o apoio da Global Methane Initiative (GMI), da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (EPA) e da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) para o Aterro Sanitário "Central de Resíduos do Vale do Aço", no Município de Santana do Paraíso, Brasil. Esta avaliação foi preparada com base nas informações fornecidas pela Vital Engenharia Ambiental, a operadora do aterro sanitário, e em observações feitas durante a visita ao local em quinta-feira, 22 de abril de 2010.

Desde 2003, o local para disposição tem servido de aterro sanitário a várias cidades do Vale do Aço no Estado de Minas Gerais. O aterro sanitário tem aproximadamente 490.000 toneladas (t) de resíduos sólidos municipais (RSMs) dispostos até a data da visita ao aterro, em abril de 2010. O fechamento do aterro está projetado para 2025 depois que atinja sua capacidade máxima de aproximadamente 2.1 milhões de toneladas.

Um modelo de geração e recuperação de GAS foi preparado com base nas taxas estimadas de disposição de resíduos, composição de resíduos, fatores climáticos, condições do aterro e possíveis eficiências de coleta estimadas. Os resultados do modelo indicam que o aterro sanitário pode ser um bom candidato a um projeto de captura e queima de GAS e possivelmente a um projeto de utilização de metano, embora o potencial modesto para a geração de eletricidade faz com que a geração de eletricidade no aterro sanitário seja provavelmente menos viável em termos econômicos do que outras opções como o uso direto ou somente a queima do metano. As reduções de emissões estimadas, com vista à possível obtenção de créditos de carbono (Reduções Certificadas de Emissões) no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo associadas à combustão de GAS totalizam aproximadamente 470.000 toneladas de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) ao longo de um período de 10 anos (2012 – 2021).

## 2.0 APRESENTAÇÃO

Este relatório de avaliação para o Aterro Sanitário do Vale do Aço foi preparado pela SCS Engineers (SCS) para o Programa de Aproveitamento de Gás Metano de Aterros Sanitários (LMOP) da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), como parte da Global Methane Initiative, uma iniciativa internacional para ajudar países parceiros a reduzirem as emissões de metano para aumentar o crescimento econômico, fortalecer a segurança energética,

melhorar a qualidade do ar, melhorar a segurança industrial e reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

## 2.1 PROPÓSITO DO RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO

O propósito geral do Relatório de Avaliação do Aterro Sanitário do Vale do Aço é realizar uma avaliação das potenciais taxas de recuperação de GAS e uma avaliação preliminar das opções para a utilização de GAS. O propósito geral é alcançado por meio da busca dos seguintes objetivos:

- Resumir e avaliar as informações disponíveis sobre o aterro de disposição, incluindo as suas características físicas, gestão do aterro e dados sobre a disposição de resíduos.
- Avaliar as considerações técnicas para o desenvolvimento de um projeto de GAS, incluindo estimativas da quantidade de GAS recuperável ao longo do período do projeto.
- Examinar as opções de utilização de GAS disponíveis, incluindo os projetos de geração de eletricidade, de uso direto e de somente queima de metano.

## 2.2 FONTE DE DADOS

As seguintes informações, que foram usadas na preparação deste relatório, são: (1) baseadas nas observações da equipe da SCS durante a visita ao aterro, realizada no dia 22 de abril de 2010; (2) fornecidas pela Vital Engenharia Ambiental S.A. (Vital) durante a visita ao aterro, (3) fornecidas em um formulário de dados próprio respondido pela Vital; e (4) fornecidas pela FEAM.

Os dados consistem de:

- Data de abertura do aterro (setembro de 2003).
- Capacidade total do aterro (3.354.655 metros cúbicos (m<sup>3</sup>)).
- Tamanho das áreas usadas para a disposição e a área total do aterro.
- Profundidades máximas atuais estimadas de resíduos e volume de resíduos no local desde outubro de 2009 (709.157 m<sup>3</sup>).
- Taxas anuais de disposição de resíduos de setembro de 2003 a abril de 2010 com base nos dados da estação de pesagem.
- Dados sobre a composição dos resíduos.
- Práticas para o tratamento e controle de chorume e compostagem.
- Custos de equipamentos, materiais e instalação estimados (médias internacionais e experiência de SCS no mercado internacional).
- Identificação de potenciais usuários de GAS na vizinhança.

## 2.3 LIMITAÇÕES DO PROJETO

As informações e estimativas contidas neste relatório de avaliação se baseiam nos dados fornecidos pela Vital. Nem a EPA, nem os seus terceirizados podem assumir a responsabilidade pela veracidade desses dados. As medidas, as avaliações e as projeções apresentadas neste relatório se baseiam nos dados e nas condições físicas do aterro sanitário conforme observado no momento da visita ao aterro. Os pareceres profissionais aqui apresentados não estão sujeitos a garantias, sejam elas expressas ou implícitas. As mudanças no uso da propriedade ou nas condições (por exemplo: variação pluviométrica, nível da água, sistemas de cobertura final ou outros fatores) podem afetar a recuperação do gás no aterro de disposição. A EPA e a SCS Engineers não garantem a quantidade ou a qualidade do gás disponível no aterro sanitário.

## 3.0 DESCRIÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO

O Aterro Sanitário do Vale do Aço está localizado na cidade de Santana do Paraíso, no Estado de Minas Gerais, Brasil. Está localizado a aproximadamente 9 km ao nordeste do centro de Ipatinga e a 218 km a nordeste do centro de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais (veja localização do aterro na Figura 1). O clima em Santana do Paraíso é tropical. A temperatura média diária é de 23°C. O nível de precipitação médio anual em Santana do Paraíso está estimado em 1.258<sup>1</sup>mm, do qual mais de 84 % cai nos meses de verão, entre outubro e março.

---

<sup>1</sup> <http://jornaldotempo.uol.com.br/climatologia.html/SantanadoParaíso-MG>



**Figura 1. Localização do Aterro Sanitário do Vale do Aço**

A Vital ganhou um acordo de concessão de 30 anos em 2001 para a disposição de resíduos dos municípios de Santana do Paraíso, Ipatinga, Coronel Fabriciano, Timóteo, Belo Oriente, Marliéria e Itanhomi. Essas cidades estão localizadas na região metropolitana do Vale do Aço, com uma população de mais de 449.340 habitantes.<sup>2</sup> Os principais centros populacionais são Ipatinga (241.000), Coronel Fabriciano (104.415) Timóteo (99.100) e Santana do Paraíso (24.105).<sup>3</sup> A Central de Resíduos Vale do Aço é propriedade da Vital e a mesma tem as obrigações e responsabilidades ambientais pelo fechamento do aterro. A área total da propriedade é de 144 hectares (ha). A Central de Resíduos ocupa 44,38 ha, 16,9 ha já licenciados para a disposição dos resíduos. A Figura 2 mostra uma vista da fase de trabalho da atual área de disposição.

<sup>2</sup> Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2008).

<sup>3</sup> Ibid



**Figura 2 - Frente de Trabalho**

As áreas restantes são usadas para compostagem (veja Figura 3), tratamento de resíduos hospitalares (veja Figura 4), escritórios administrativos, balança e estação de pesagem, estradas de acesso, estacionamento, centro de educação ambiental, auditório, campo de futebol, viveiro de árvores nativas e uma vasta reserva para proteção ambiental. O chorume é coletado na base do aterro e transportado para tratamento na ETE/COPASA, no município de Ipatinga.



**Figura 3 - Área de Compostagem**



**Figura 4 - Área de Esterilização de Resíduos Hospitalares**

### 3.1 OPERAÇÕES NO ATERRO SANITÁRIO

O aterro começou a operar no dia 12 de setembro de 2003. A Vital é responsável pela coleta de RSMs e resíduos inertes no município de Ipatinga. Todos os resíduos que entram no aterro passam pela estação de pesagem e são quantificados e registrados por meio de um sistema de informação integrado.

O aterro sanitário tem um sistema de manta na parte inferior com as seguintes especificações (debaixo para cima):

- Camada de argila, compactada a uma espessura de 60 centímetros
- Camada de geomembrana de dois mm (PEAD)
- Uma camada de argila compactada (40 cm)

O aterro está sendo construído em "camadas". Cada camada consiste de várias células. A primeira camada inclui seis células, cada uma com 5 metros de espessura. A segunda camada terá um total de sete células, também com 5 metros de espessura. Atualmente, estão enchendo a célula número 11. Os resíduos são depositados em elevadores 10-15 cm na parte superior da rampa da frente de trabalho, cuja inclinação é de 1:3 (vertical: horizontal, "VH"). Os resíduos são empurrados para baixo e compactados com um buldôzer (trator de esteira), que faz várias passadas. O aterro sanitário tem três buldôzers, mas apenas um é usado no local devido ao volume limitado. Segundo a Vital, cada célula tem uma densidade de 1,0 tonelada por m<sup>3</sup>.

Diariamente, aplica-se uma cobertura sobre a frente de trabalho e na parte superior de cada célula, pois a célula se estende. Entre cada célula, uma cobertura intermediária de argila de 20-30 cm é aplicada e compactada com a ajuda do compactador que se pode ver na Figura 6. A camada intermediária parecia não ter sido removida antes dos resíduos serem colocados na parte superior da célula, embora a Vital depois tenha esclarecido que fora removida. Se a camada intermediária de argila não for substancialmente removida antes da colocação da próxima camada de resíduos, ela pode: (1) criar uma importante barreira para o chorume, potencialmente causando poças de chorume ou pequenas lagoas na parte superior da camada de argila, impedindo que o chorume seja drenado para a base onde pode ser coletado de forma eficaz na base do aterro; e (2) causar a perda de espaço aéreo do aterro. Essas camadas intermediárias não oferecem estabilidade adicional ao aterro sanitário. A cobertura final consistirá de argila com 60 cm de espessura com uma camada de solo orgânico para suportar uma cobertura de grama.

Com base nas plantas que recebemos, parece que a base do aterro sanitário nas áreas das camadas 1 e 2 tem uma rampa de mais de 8 %. Esta rampa é íngreme o suficiente para fazer com que os resíduos e a argila na parte superior da geomembrana sejam propensos a deslizar quando os resíduos não se enchem contra uma barreira grande ou “toe”, em particular se a massa residual estiver úmida. Qualquer rampa maior do que 4 % pode ser motivo de preocupação, sobretudo quando uma geomembrana lisa (não texturizada) é usada. O “toe” ou barreira contra resíduos na parte inferior do aterro de RSMs deve ser criada pela área de disposição de resíduos inertes (escombros de construção ou demolição) separados. Segundo a Vital, os resíduos inertes estão sendo dispostos em uma área separada dos RSMs, mas SCS não podia ver os resíduos inertes sendo dispostos em uma área separada de RSMs.

As águas pluviais são manejadas usando a cobertura intermediária diária e os canais e bermas para direcionar as águas pluviais para longe da frente de trabalho, sobretudo durante a estação chuvosa. No entanto, as observações sugerem a possibilidade das águas pluviais entrarem no aterro através do sistema de coleta de chorume exposto na superfície da célula inferior próxima ao local onde os resíduos são dispostos.



**Figura 5 - Drenos de Chorume / Poços de Dreno da Camada Base**



**Figura 6 - Camada Base - Geomembrana**

O chorume é coletado por meio de drenos horizontais e verticais dentro do aterro sanitários (veja Figura 5). O primeiro conjunto de drenos horizontais de chorume foi colocado na base do aterro,

na parte superior do sistema de manta. O chorume é drenado para uma lagoa, onde é armazenado temporariamente e depois transportado para tratamento na ETE/COPASA.



**Figura 7 - Reservatório de Coleta de Chorume**

O sítio tem um sistema de drenos passivos de GAS e de drenos de chorume (veja Figuras 5, 8 e 9) que consiste de poços verticais que estão conectados aos drenos de chorume na base do aterro sanitário. Os poços de dreno, que atualmente têm cerca de 20 m de profundidade, continuarão sendo ampliado para cima à medida que camadas adicionais são acrescentadas. Os drenos são construídos com um duto de concreto com 90 cm de perfuração e contam com queimadores removíveis na extremidade superior (veja Figura 9). É possível que esses drenos de chorume / drenos de GAS integrados possam ser transformados em poços de GAS ativos. No entanto a quantidade de vácuo que pode ser aplicada ao sistema de biogás possivelmente será limitada devido à infiltração de ar que pode ser dada através dos drenos de chorume. Os poços de GAS verticais extras deverão ser perfurados para coletar o GAS não coletado com os poços existentes.

**Figura 8 - Poços de Dreno****Figura - Poços de Dreno**

### 3.2 INFORMAÇÕES SOBRE A DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS

#### **Taxas Anuais de Disposição de Resíduos**

Segundo as informações disponíveis, o aterro sanitário começou a receber resíduos na Primeira "Camada" em setembro de 2003 e tinha aproximadamente 494.000 toneladas de resíduos em abril de 2010. O aterro sanitário recebe resíduos de seis municípios e está aberto de segunda-feira a sábado, no horário das 7 às 23 horas. Aproximadamente 300 toneladas de RSMs, 600 toneladas de resíduos inertes ("entulho" ou escombros de construção e demolição), e 700 quilos de resíduos hospitalares são dispostos por dia no aterro sanitário (5.00 toneladas é a capacidade de operação do autoclave). O aterro também recebe cerca de 10 toneladas diárias de restos de poda e resíduos orgânicos de mercados públicos, parte direcionada para compostagem, e parte para aterramento.

Segundo o Panorama de Resíduos Sólidos do Brasil, realizado pela ABRELPE em 2009, o município de Ipatinga produz 0,85 kg diários por habitante. Se considerarmos Ipatinga como amostra representativa da região do Vale do Aço, portanto, podemos esperar que aproximadamente 400 toneladas diárias de RSMs sejam coletadas, incluindo os resíduos comerciais. As 100 toneladas adicionais diárias que RSMs que não são levadas para o aterro sanitário podem estar indo para lixões clandestinos a céu aberto, que eram comuns na região até recentemente. Os governos municipais e do Estado de Minas Gerais estão se esforçando para

fechar esses lixões ilegais<sup>4</sup>. Desde 2003, através do Programa Minas Sem Lixões o Estado tem apoiado os municípios na implementação de políticas públicas voltadas para erradicar esses lixões.

A primeira camada cobre 2,9 ha (incluindo rampas laterais) e tem aproximadamente 15 m de profundidade. A segunda camada está sobre a primeira e cobre uma área de 7,7 ha. A profundidade média de resíduos das duas camadas juntas é de 20 metros. Quando a segunda camada for preenchida, os resíduos no local terão um volume de cerca de 1,06 milhão m<sup>3</sup>. Desde outubro de 2009, um total de 704.000 m<sup>3</sup> do volume do aterro foi consumido (com base na planta feita com dados de fotografias aéreas) ou aproximadamente 21 % da capacidade total do aterro de 3.354.655 m<sup>3</sup>.

As taxas anuais históricas de disposição de RSMs de 2003 a abril de 2010 estavam disponíveis para este estudo com base nos registros da estação de pesagem. A disposição de resíduos prevista está baseada em uma taxa de crescimento anual estimada para a disposição de resíduos de 2 % (média de crescimento da população de Ipatinga desde 1991). Embora a empresa responsável planeje fechar o aterro em 2033, esta data não é consistente com a capacidade do aterro informada e as taxas previstas de disposição, não considerando também o consumo de uma grande fração do espaço do aterro sanitário com resíduos inertes. Com base em informações de fotografias aéreas que indicam que 21 % da capacidade do aterro foi consumida até outubro de 2009 e considerando que a quantidade de RSMs no local desde esse momento (446.440 toneladas), o aterro sanitário tem capacidade para aproximadamente 2,11 milhões toneladas, assumindo que a mistura relativa de RSMs e resíduos inertes continuará sendo a mesma. A Tabela 1 lista as taxas de disposição anual de RSMs histórica e projetada para o Aterro. Dadas as taxas de disposição históricas e uma taxa de crescimento futuro de 2 %, o aterro alcançará a sua capacidade máxima em 2025.

**Tabela 1 - Estimativas de Disposição de RSMs – Aterro Sanitário do Vale de Aço**

Ano	Tonelagem Disposta (t/Ano)	Tonelagem Acumulada (t)	Comentários
2003	13.300	13.300	Informado na estação de pesagem
2004	45.730	59.030	Informado na estação de pesagem
2005	64.200	123.230	Informado na estação de pesagem
2006	82.710	205.940	Informado na estação de pesagem
2007	85.250	291.190	Informado na estação de pesagem
2008	84.850	376.040	Informado na estação de pesagem
2009	88.920	464.960	Informado na estação de pesagem
2010	92.360	557.320	Projetado com base nos dados de disposição até abril de 2010
2011	94.210	651.530	Projetado com o uso de aumento

**Tabela 1 - Estimativas de Disposição de RSMs – Aterro Sanitário do Vale de Aço**

Ano	Tonelagem Disposta (t/Ano)	Tonelagem Acumulada (t)	Comentários
2012	96.090	747.620	de taxa anual de disposição de 2,0%
2013	98.010	845.630	
2014	99.970	945.600	
2015	101.970	1.047.570	
2016	104.010	1.151.580	
2017	106.090	1.257.670	
2018	108.210	1.365.880	
2019	110.370	1.476.250	
2020	112.580	1.588.830	
2021	114.830	1.703.660	
2022	117.130	1.820.790	
2023	119.470	1.940.260	
2024	121.860	2.062.120	
2025	49.880	2.112.000	

### Dados sobre a Composição dos Resíduos

A composição dos resíduos e as condições de umidade em um aterro são os primeiros aspectos a serem considerados na elaboração do modelo. Este relatório aplica os dados de composição de resíduos fornecidos pela Vital Engenharia Ambiental S.A. Essa composição de resíduos está baseada em um estudo realizado em 1992 pela Universidade Federal de Viçosa sobre os RSMs no Estado de Minas Gerais. Os percentuais estimados de composição de resíduos estão resumidos na Tabela 2. As categorias de resíduos orgânicos correspondem a 84 % do total de RSMs dispostos. Essa alta porcentagem em parte se deve à exclusão de restos de construção e demolição, que em geral se incluem em estimativas de composição de resíduos.

**Tabela 2- Dados sobre a Composição de RSMs – Aterro Sanitário do Vale de Aço**

Resíduos	% Estimado
Resíduos Orgânicos*	70,85%
Papel	11,71%
Plásticos	5,75%
Metais	3,62%
Vidros e Cerâmicas	2,77%
Outros	5,33%
Total	100,00%

Fonte: Vital Engenharia Ambiental S.A

\*Nota: Por “resíduos orgânicos” supõe-se 90% detritos de cozinha e 10% restos de poda.

## 4.0 PROJEÇÕES DE GERAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE GÁS DE ATERRO SANITÁRIO

### 4.1 INFORMAÇÕES SOBRE O MODELO INTERNACIONAL DE GAS DA SCS

A SCS desenvolveu um modelo proprietário internacional de GAS que emprega a equação de decaimento abaixo para estimar a geração de GAS com base nas taxas de disposição anual de resíduos, a quantidade de metano que uma tonelada de resíduo produz (valor  $L_0$ ) e a taxa que os resíduos se decompõem e produzem GAS (valor  $k$ ).

$$Q_{LFG} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2kL_0 \left[ \frac{M_i}{10} \right] (e^{-kt_{ij}}) \text{ (MCF)}$$

Onde:

$Q_{LFG}$	=	Vazão máxima esperada para geração de GAS ( $m^3/\text{ano}$ )
$i$	=	incremento de tempo de 1 ano
$n$	=	(ano do cálculo) – (ano inicial de recepção do resíduo)
$j$	=	incremento de tempo de 0,1 ano
$k$	=	taxa de geração de metano (1/ano)
$L_0$	=	capacidade potencial de geração de metano ( $m^3/t$ )
$M_i$	=	massa de resíduos sólidos dispostos no ano $i^o$ (t)
$t_{ij}$	=	idade de $j^o$ seção de massa de resíduo $M_i$ dispostos no ano $i^o$ (anos decimais)
MCF	=	fator de correção de metano.

As variáveis de modelo  $k$  e  $L_0$  se baseiam na composição estimada de resíduos e informações sobre o clima local. Os dados usados para a determinação dos parâmetros de entrada do modelo são discutidos em seções posteriores deste relatório (Seção 4.2).

O Modelo Internacional de GAS da SCS usa as mesmas variáveis de entrada ( $k$  e  $L_0$ ) e é em geral semelhante ao Modelo de Emissões de Gás de Aterros Sanitários da EPA (LandGEM)<sup>5</sup>. A principal diferença entre os dois modelos é a designação de vários valores  $k$  e  $L_0$  no Modelo Internacional SCS. Apesar da equação de decaimento simples ( $k$  e  $L_0$  simples) utilizada no LandGEM ser adequada para modelar aterros norte-americanos, a mesma abordagem não se aplica à geração de GAS em aterros em países na América do Sul, basicamente devido à importante diferença de composição de resíduos e condições do aterro que criam padrões diferentes de decaimento de resíduos e geração de GAS com o tempo.

O modelo internacional de GAS da SCS emprega módulos separados com diferentes valores  $k$  e  $L_0$  que calculam separadamente a geração de GAS de diferentes componentes de resíduos. Esta abordagem de modelo de decaimento com múltiplas fases reconhece que as diferenças significantes entre os tipos de resíduos dispostos em países em desenvolvimento exigem mudanças na estrutura do modelo, assim como nos valores das variáveis de entrada. Uma

<sup>5</sup> EPA, 2005. Modelo de Emissões de Gás de Aterro (LandGEM) Versão 3.02. EPA 600/R-05/047 (Maio 2005).

abordagem similar foi adotada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC), cujo modelo de geração de metano em aterros sanitários publicado em 2006 aplica módulos separados para quatro categorias de resíduos diferentes.<sup>6</sup>

As estimativas de geração de GAS produzidas pelo modelo são usadas para projetar a recuperação do mesmo por meio do sistema de coleta existente ou proposto, com base na eficiência de coleta estimada. A eficiência na coleta, definida como o percentual de GAS gerado que é recuperado pelo sistema de extração de GAS, é afetada por vários fatores, incluindo: desenho do poço e do campo dos poços, profundidade dos resíduos, tipo de camada de impermeabilização de fundo e de cobertura final, questões de gestão de chorume, práticas de gestão de aterro e operações do sistema de coleta.

## 4.2 PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO

### Valores para a Variável $k$ do Modelo

Com base na taxa de precipitação (1.258 mm por ano) e nas condições de umidade do resíduo estimadas no aterro, a SCS assumiu como valores  $k$  do modelo 0,30 e 0,06 por ano para das frações de resíduos orgânicos de decomposição rápida e média, respectivamente. Estes valores de  $k$  refletem uma clima moderadamente úmido e são comparáveis aos valores atribuídos no modelo Colombiano de biogás<sup>7</sup> para cidades nesta categoria climáticas. Nenhum material orgânico de decomposição lenta (madeira, couro, borracha) está sendo dispostos no aterro sanitário, segundo os dados de composição dos resíduos.

### Fator de Correção do Metano

Os aterros não administrados são geralmente rasos ou não contam com cobertura no solo adequada, enfrentando condições aeróbicas nas camadas mais altas dos resíduos expostos que inibem a produção de metano. O Vale de Aço é um aterro administrado com uma boa cobertura de solo, portanto aplicou-se um “fator de correção de metano” (MCF) de 1 (sem ajustes).

### Valores para a Variável $L_0$ do Modelo

Os dados de composição de resíduos foram usados para estimar valores  $L_0$  para as categorias de resíduos orgânicos de decomposição rápida, média e lenta, com base em um conteúdo orgânico seco dos resíduos dispostos (se comparados com a média dos resíduos norte-americanos). O cálculo do valor de  $L_0$  para Vale do Aço a partir do valor padrão do inventário norte-americano no LandGEM (100 m<sup>3</sup>/t) e a razão de conteúdo orgânico seco dos resíduos de Vale do Aço em relação aos resíduos médios norte-americanos estão descritos na tabela abaixo.

---

<sup>6</sup> IPCC, 2006. Planilha do IPCC para a Estimação de Emissões de Metano em Aterros de Disposição de Resíduos Sólidos.

<sup>7</sup> <http://www.epa.gov/lmop/international/tools.html>

	Aterros EUA	Aterro de Vale do Aço	Razão Vale do Aço / EUA
% Orgânica (base peso seco)	Resíduo Total: 43,5%	Orgânicos Rápidos: 31,6% Orgânicos Médios: 86,1% Orgânicos Lentos: Nenhum presente	Orgânicos Rápidos: 0,73 Orgânicos Médios: 1,98
Valor L <sub>o</sub>	Resíduo Total: 100 m <sup>3</sup> /t	Orgânicos Rápidos: 73 m <sup>3</sup> /t Orgânicos Médios: 198 m <sup>3</sup> /t Orgânicos Lentos: Nenhum presente	Orgânicos Rápidos: 0,73 Orgânicos Médios: 198

Foram calculados valores para L<sub>o</sub> separados para as diferentes categorias de resíduos que resultaram nos seguintes valores:

- Resíduos de decomposição rápida (alimentos e uma parte dos restos de poda): 73 m<sup>3</sup>/t.
- Resíduos de decomposição média (papel, material têxtil e uma parte dos restos de poda): 198 m<sup>3</sup>/t.
- Resíduos de decomposição lenta (madeira, borracha e couro): não houve disposição.

A fração de RSMs que consiste de materiais inertes (ex.: metais, plásticos, vidro e cerâmicas e outros orgânicos) recebeu um valor L<sub>o</sub> igual a zero, uma vez que não se espera que contribuam para a geração de GAS.

### **Eficiência de Recuperação de GAS**

Foram desenvolvidos três cenários de recuperação de GAS para refletir uma variedade de eficiências de coleta possíveis que variam conforme o nível de esforço e quantidade de recursos disponíveis para operar os sistemas de coleta. Todos os três cenários presumem o seguinte:

- A coleta de GAS e o sistema de controle serão instalados e começarão a operar em 2012.
- O sistema de coleta será mantido e ampliado anualmente em novas áreas de disposição para proporcionar uma cobertura abrangente de todos os resíduos dentro de dois anos da deposição dos resíduos.
- Uma cobertura final será instalada em 2026 para acompanhar o momento em que se chegará aos níveis máximos de eficiência de coleta a partir de 2027.

Os três cenários de recuperação são descritos a seguir:

- O cenário de recuperação baixa presume que um nível moderado de habilidade e esforço seja empregado na operação e na manutenção do sistema de coleta (ex.: incluindo o monitoramento e o ajuste do aterro do poço cerca de uma vez por mês). Presume-se que a eficiência na coleta será de 35 em 2012 e aumentará progressivamente até 2027, quando a eficiência na coleta deverá chegar a um máximo de 60 depois de completar a cobertura

final. A SCS considera que as estimativas de baixa recuperação devem ser conservadoras e devem ser empregadas apenas se uma ampla margem de segurança é necessária.

- O cenário de recuperação média presume que um nível moderado de habilidade e esforço seja empregado na operação e na manutenção do sistema de coleta (ex.: incluindo o monitoramento e o ajuste do aterro do poço pelo menos 2 ou 3 vezes por mês). A eficiência na coleta deverá ser de 50 em 2012, o que exige a coleta de aproximadamente 70 do GAS gerado a partir dos resíduos depositados até o fim de 2010. Depois de 2012, a eficiência na coleta deverá aumentar progressivamente até 2027, quando chegará a um máximo de 75 depois de completar a cobertura final. A SCS considera que as estimativas de recuperação média devem ser as melhores estimativas de possível recuperação e recomenda o seu uso em uma avaliação econômica.
- O cenário de recuperação alta presume que o nível mais alto possível de habilidade e esforço seja empregado na operação e na manutenção do sistema de coleta (ex.: incluindo o monitoramento e o ajuste semanal ou mais frequente do aterro do poço). Presume-se que a eficiência na coleta será de 60 em 2012 e aumentará progressivamente até 2027, quando a eficiência na coleta deverá chegar a um máximo de 85 depois de completar a cobertura final. A SCS considera que as estimativas de alta recuperação devem ser ambiciosas e atingíveis apenas se a manutenção de um sistema de recuperação de GAS mais eficiente seja considerada prioritária.

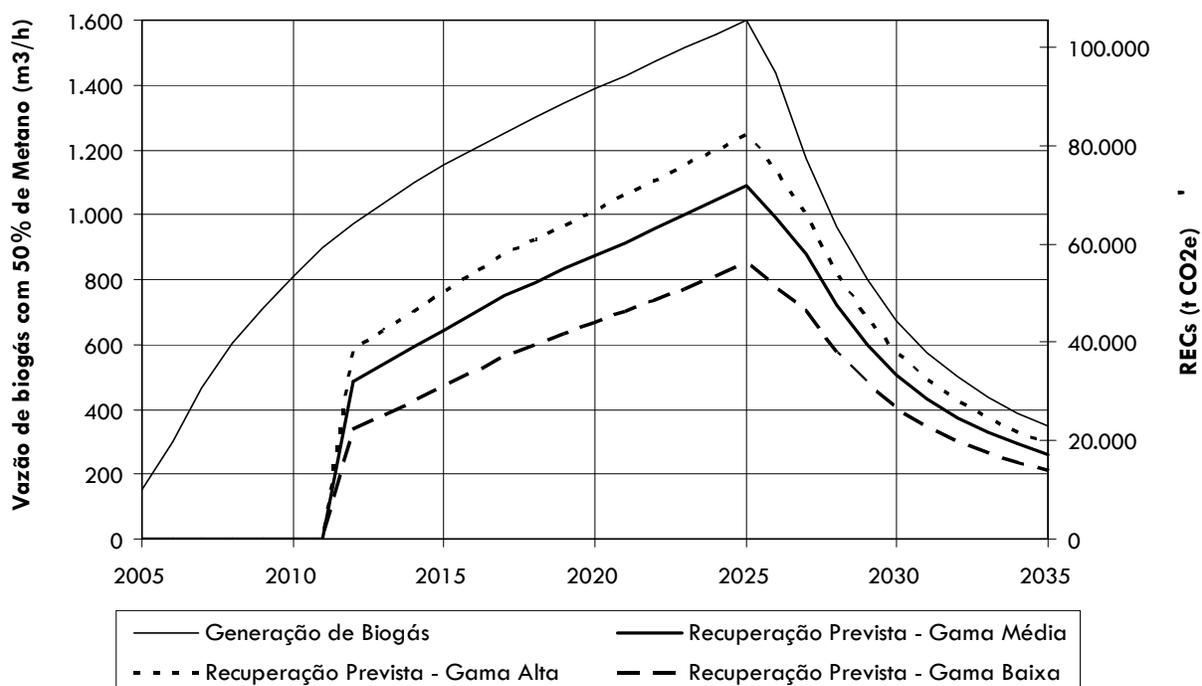
Deve-se observar que, além da possível variabilidade na eficiência na coleta e o nível de operação e de manutenção, o modelo matemático de GAS apresenta incertezas intrínsecas que afetam o resultado geral das estimativas.

### 4.3 RESULTADOS DO MODELO

As projeções de geração de GAS para o Aterro Sanitário do Vale do Aço, nos diferentes cenários de eficiência de sistema de coleta alternativa (baixa, média e alta), podem ser vistas na Figura 10 abaixo e nas Tabelas A-1 e A-2 no Anexo A.

Como apresentado na Tabela A-1, a geração de GAS está projetada para crescer de aproximadamente 810 m<sup>3</sup>/h em 2010 para um máximo de cerca de 1.600 m<sup>3</sup>/h em 2025, e decrescer a partir daí. No cenário de eficiência de coleta média, a recuperação de GAS está projetada para crescer de cerca de 490 m<sup>3</sup>/h em 2012 para cerca de 650 m<sup>3</sup>/h em 2015, 870 m<sup>3</sup>/h em 2020, e finalmente chegar ao máximo de cerca de 1.090 m<sup>3</sup>/h em 2025, depois da qual começa a decrescer devido à redução de geração de GAS. As estimativas para o potencial de geração de energia a partir de GAS apresentam valores aproximados de 0,8 MW em 2012, 1,1 MW em 2015, 1,4 MW em 2020, e 1,8 MW (valor máximo) em 2025. Os créditos estimados de redução de emissão de gases de efeito estufa (Reduções de Emissões Certificadas ou RECs) deverão ser alcançados por meio da combustão de metano do aterro sanitário nas projeções de recuperação média de aproximadamente 470.000 t de emissões CO<sub>2</sub>e durante o período de 2012 a 2021.

**Figura 10 - Projeções de Geração e Recuperação de GAS de Aterro Sanitário do Vale do Aço**



## 5.0 OPÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO GÁS DE ATERRO SANITÁRIO

As opções de projeto de GAS examinadas neste estudo incluem: (1) geração de eletricidade no aterro; (2) uso direto como combustível de aquecimento/boiler (aplicação média-Btu), e (3) unicamente queima de metano. Todas as três opções requerem a instalação de um sistema ativo de coleta e controle de gás (GCCS), incluindo um queimador para assegurar a combustão de todo o metano coletado quando o GAS não estiver sendo utilizado. Todas as três opções também devem gerar retorno com a venda dos créditos de redução de emissão no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) ou outro mercado do carbono voluntário.

Os custos de capital para um GCCS dependerão em grande parte dos fluxos de GAS, do tamanho do aterro e da profundidade dos resíduos. Uma faixa típica para os custos de GCCS, incluindo o início da queima, teste de fonte e custos relacionados com a engenharia e a contingência, é de cerca de US\$70 mil a US\$120 mil por hectare de terra de aterro. Os custos anuais de operação e manutenção (O&M) de GCCS variam em média de 7 a 10 % dos custos de capital, sem incluir os custos com eletricidade ou expansão de sistemas.

## 5.1 GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

### Programas Brasileiros de Energia Renovável

Os projetos de energia renováveis contam com apoio no Brasil como uma maneira de diversificar o fornecimento de energia nacional. Esta foi uma das estratégias que o governo buscou em virtude da crise energética de 2001. A outra estratégia foi a reformulação do modelo energético, que o governo realizou ao dividir os mercados de comércio de energia em um mercado regulado e um mercado aberto. Para promover as fontes de energia alternativas e renováveis, o governo criou dois programas, o Proeólica<sup>8</sup> e o Proinfa<sup>9</sup>. O Proeólica tinha como objetivo específico o desenvolvimento de energia eólica. O Proinfa tinha como objetivo aumentar a participação de fontes de energias renováveis como eólica, pequenas hidrelétricas e biomassa<sup>10</sup>.

O Proinfa foi projetado em duas fases. A primeira fase visava a aumentar a geração de energia a partir de energias renováveis em 3.300 MW (1.100 MW de cada uma das categorias escolhidas de energias renováveis). Depois de duas licitações públicas em janeiro de 2006, 144 projetos foram contratados para gerar os 3.300 MW, mas não na mesma proporção que se pretendia inicialmente. Os projetos eólicos e de pequenas hidrelétricas deveriam fornecer 79 % da capacidade. A primeira fase do Proinfa terminará com a instalação de todos os projetos inscritos, mas até 2010 ainda havia alguns projetos que enfrentavam importantes atrasos na construção e operação. Durante a primeira fase nenhum projeto de gás de aterro para energia (LFGE) foi implantado.

A segunda fase do Proinfa estava inicialmente projetada para garantir que a energia de fontes renováveis fornecesse 10 % da demanda de energia elétrica anual do Brasil por um período de 20 anos. A segunda fase foi originalmente baseada em tarifas de injeção, mas isso foi modificado em 2003 para poder ser baseada em leilões para energias renováveis. Esses leilões têm "tetos-preços" para limitar o seu impacto na tarifa final de eletricidade. O Ministério das Minas e Energia realizou uma série de leilões públicos para projetos de energias renováveis visando obter contratos para a compra de energia (PPA). O último leilão de energias renováveis foi realizado nos dias 25 e 26 de agosto de 2010. No total, 56 usinas comercializaram a sua energia neste leilão, incluindo 50 usinas de turbinas eólicas, uma usina de biomassa e 5 pequenas centrais hidrelétricas. As usinas começarão a fornecer energia elétrica em 2013. Os preços médios de venda foram: R\$134,1/MWh para eólica, R\$ 146,99/MWh para pequena hidrelétrica, e R\$137,92/MWh para biomassa.<sup>11</sup>

A maioria dos projetos de energia renováveis pode comercializar a sua energia em um ambiente de mercado aberto ao buscar "consumidores especiais". A Lei 10.762 de 2003 criou a categoria "consumidores especiais". Os consumidores especiais podem ser um consumidor de eletricidade

---

8 Programa Emergencial de Energia Eólica (Resolução CGE 24 de 5 de julho de 2001)

9 Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Lei 10.438 de 26 de abril de 2002)

10 A biomassa se refere aos produtos de origem vegetal (como produtos agrícolas e pedaços de madeira), animal ou humano (resíduos urbanos). No Brasil, a biomassa inclui o bagaço da cana de açúcar, casca de arroz, madeira, gás de aterros sanitários, etc.

11 ANEEL ([http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=3541&id\\_area=](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=3541&id_area=))

único ou um grupo de consumidores unidos por um interesse comum, com uma carga de consumo igual ou superior a 500 kW. Esses consumidores têm a permissão para comprar eletricidade, em qualquer nível de tensão, de fontes alternativas de eletricidade dentro de um ambiente de mercado aberto. As fontes de energia alternativas permitidas para o comércio com os consumidores especiais são projetos de energia convencional com capacidade de instalação inferior ou igual a 1MW e projetos de energia renovável (pequena central hidrelétrica, solar, eólica ou biomassa) com capacidade instalada inferior ou igual a 50 MW.

Como outras formas de incentivar o desenvolvimento de energia renovável, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL<sup>12</sup>) decretou a Resolução N° 77 que estabelece os procedimentos relacionados com a redução das tarifas de transmissão da rede elétrica para fontes de energia renovável. As fontes de energia renováveis que se qualificam para aproveitar essa iniciativa incluem pequenas hidrelétricas, solar, eólica, biomassa (que inclui biogás (GAS)) e a combinação de calor e energia (CHP), com capacidades instaladas igual ou inferiores a 30 MW. A resolução deu o incentivo agregado de reduzir as tarifas, de pelo menos 50 %, para acesso a sistemas de transmissão e distribuição para geradores de energia renovável Além disso, para minimizar os impactos ambientais causados pelos resíduos urbanos e promover as orientações contidas no Protocolo de Quioto, a ANEEL fez uma emenda no Artigo 3° da Resolução 77 para dar aos negócios que utilizam os resíduos como fonte de geração de eletricidade uma redução de 100 % das tarifas para os sistemas de transmissão e distribuição. A emenda se tornou oficial na Resolução 271 de 3 de julho de 2007.

### **Opções de Energia Elétrica do Vale do Aço**

Segundo os resultados do modelo GAS, o Aterro Sanitário do Vale do Aço poderia suportar um projeto de LFGE de 1,0 MW em 2012 operando com 80% da sua capacidade total, chegando a esta em 2014 por um período de até 16 anos (2014-2029). Considerando a pequena capacidade de geração projetada, o projeto provavelmente se tornaria economicamente inviável, caso não obtenha um alto preço para a energia renovável. Com base nos mais recentes leilões da fase II do Proinfa, um projeto deste porte apresentaria dificuldades para ser implantado, dependendo dos custos de interconexão, da tecnologia selecionada e do fabricante de grupo gerador escolhido. Como alternativa, a energia poderia ser vendida para um usuário final qualificado permitido, segundo a Lei 10.762, onde um preço mais alto é possível. Se a demanda de eletricidade no aterro pudesse ser aumentada substancialmente (para sopradores, bombas de chorume ou outros usos), a capacidade de 1,0 MW poderia ser usada para atender esta demanda no aterro (autogeração).

Atualmente, o aterro é abastecido por meio de linhas de distribuição de 34,5 kV de tensão e a subestação mais próxima está localizada a 5 km do aterro sanitário. Linhas de distribuição da fase três com uma voltagem superior de 12 kV normalmente tem capacidade suficiente para suportar um projeto de geração de eletricidade em excesso de 2 MW, sem aumentar a capacidade da infraestrutura de distribuição. No entanto, um estudo de interconexão teria que ser realizado pelo distribuidor de energia elétrica na região, a CEMIG.

---

12 Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)

## 5.2 USO DIRETO

A venda de GAS para uso direto às instalações industriais próximas pode gerar um importante retorno, ao mesmo tempo em que exige menos custos iniciais do que a venda de GAS para uma empresa de energia. A menos que o cliente de uso direto esteja localizado muito perto do aterro sanitários, será necessário um duto para a transmissão de GAS. Se o projeto de uso direto exigir o transporte de GAS a uma longa distância para o usuário final, em geral será necessária a compressão do gás e o *skid* de tratamento (filtro, compressor ou soprador e unidade de desidratação). As exigências para o tratamento do GAS também são influenciadas pelo equipamento que utilizará o GAS. Dependendo do nível de tratamento necessário, a compressão do gás e o skid de tratamento de gás custam aproximadamente US\$400 a US\$500 por m<sup>3</sup>/h de GAS tratado. A construção de um duto configura-se como item de maior custo, ao redor de US\$150 mil a US\$175 mil por km (considerando trincheiras abertas e sem incluir o pagamento para a facilitação de direito de passagem), portanto a viabilidade do projeto é em grande parte determinada pela distância dos usuários finais. Os custos de O&M anuais são de cerca de US\$100 a US\$150 por m<sup>3</sup>/h de GAS. Além disso, se o duto de GAS puder ser construído sobre a superfície, os custos podem ser reduzidos de maneira significativa.

As indústrias localizadas nas redondezas do aterro sanitário que configuram-se como potenciais usuários finais do GAS incluem as seguintes:

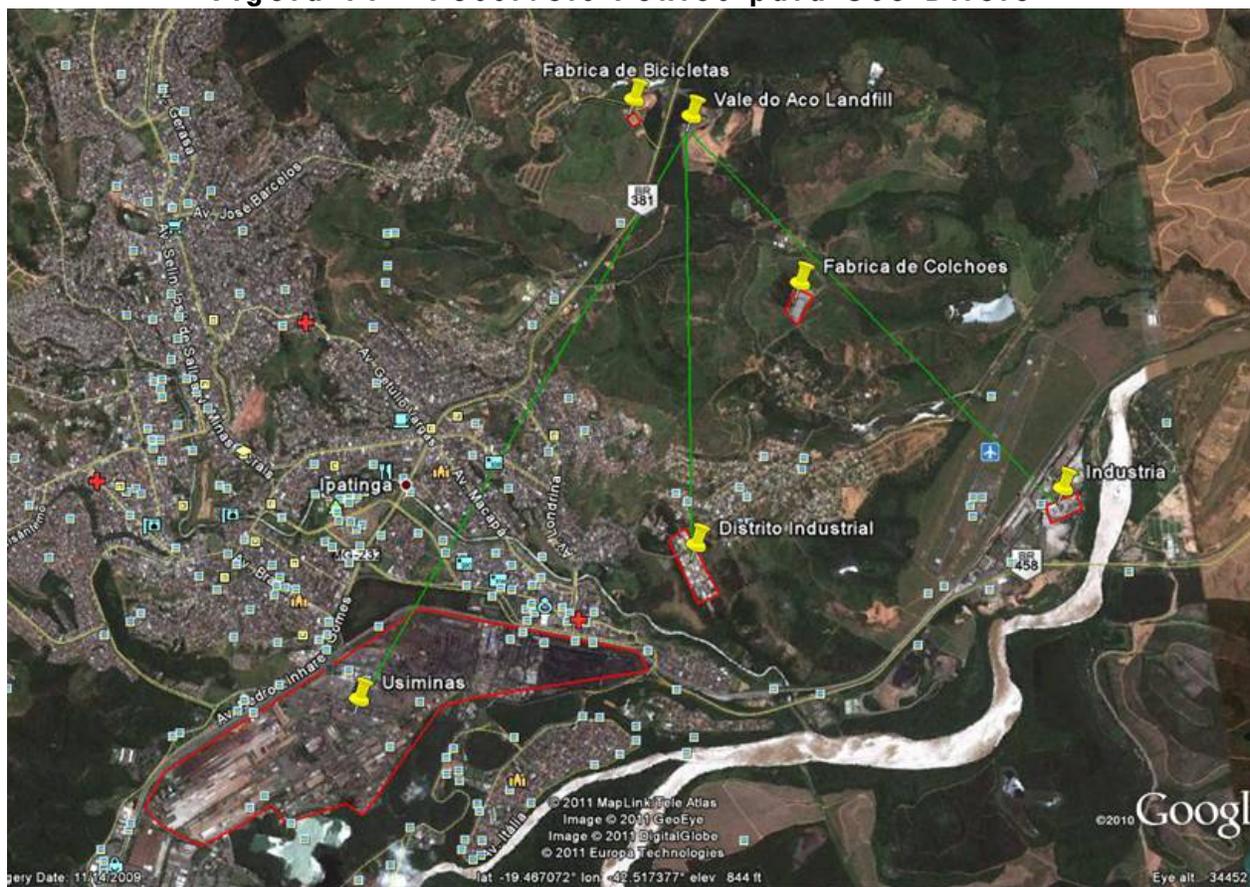
1. Fábrica de bicicletas localizada a 0,2 km do aterro;
2. Fábrica de colchões localizada a 1,5 km do aterro;
3. Bairro industrial localizado a 3,85 km do aterro;
4. Indústrias pesadas localizadas a 4,7 km a SE do aterro próximo ao Aeroporto de Ipatinga;
5. Complexo da Usiminas localizado a cinco km a sul do aterro em Ipatinga.

As informações preliminares indicam que as fábricas de bicicletas e de colchões não usam uma quantidade significativa de energia térmica. No entanto, é altamente provável que um usuário final adequado possa ser encontrado entre as outras indústrias potenciais identificadas. O complexo da Usiminas é claramente um usuário final muito grande, mas a distância é relativamente grande, considerando as atuais quantidades de GAS disponíveis e a localização da estrada que conecta o aterro ao complexo (passa pelo centro de Ipatinga). Seria necessário avaliar as necessidades energéticas das indústrias, assim como as vias para dutos, para determinar se o GAS pode ser usado em qualquer uma desses estabelecimentos. Além disso, há muitas outras indústrias em um raio de 6 km que poderiam ser objeto de estudo.

A viabilidade do projeto de uso direto será orientada pelos seguintes fatores: (1) distância entre o usuário final e o aterro; (2) qualidade da demanda do usuário final de energia térmica (demanda

alta e estável); (3) custo do combustível atual do usuário final (ex.: custo do gás natural,<sup>13</sup> carvão, petróleo, etc. no mercado); (4) complexidade e custo de conversão dos sistemas existentes para a utilização de GAS; e (5) qualidade de GAS que o usuário final necessita para os seus processos.

**Figura 11 - Possíveis Pontos para Uso Direto**



### 5.3 QUEIMA DIRETA DO METANO E O COMÉRCIO DE EMISSÕES

Devido a fato que o metano gerado a partir da disposição de resíduos sólidos na terra é uma das maiores fontes de emissões de gás de efeito estufa<sup>14</sup>, a sua captura e a sua oxidação para dióxido de carbono resultam em um benefício para o meio ambiente. Esse benefício pode ser medido e comercializado segundo vários programas mundiais diferentes de comercialização de redução de

13 . O custo de gás natural para um usuário industrial é calculado pelo distribuidor de gás natural local. A tarifa final consiste de custo fixo mais um custo variável. A companhia GASMIG, uma subsidiária da companhia elétrica estadual, a CEMIG, é a distribuidora de gás natural para a região. As tarifas da GASMIG para grandes consumidores (>10.000 m<sup>3</sup>/dia) estavam em média igual a US\$ 0,12/m<sup>3</sup> para custo variável ou cerca de US\$3,32 / MMBtu.

14 O Relatório sobre o Meio Ambiente (2008) da Agencia de Proteção Ambiental dos EEUU

emissões, incluindo as vendas de Reduções de Emissões Certificadas (RECs) do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas.

Para atender às exigências da comercialização de reduções de emissão, o projeto deve ter condições de provar que não tem nenhum requisito previsto na lei ou demandado pelas licenças para a disposição de resíduos ou outras regulamentações, para controlar a emissão do gás de efeito estufa específico relacionado ao projeto. Considerando a legislação nacional e do Estado de Minas Gerais, o Aterro Sanitário do Vale do Aço não necessita coletar e queimar o GAS.

Enquanto a queima é um método normal para a oxidação térmica de gás de aterro sanitário, qualquer processo que evite a emissão de metano na atmosfera também corresponderia às exigências para a comercialização de reduções de emissão (como a queima de GAS em um grupo gerador de energia ou um boiler de uma indústria que use o GAS).

Se a produção de energia elétrica estiver incluída também, e essa energia for exportada para a rede de distribuição local ou usada para deslocar outra eletricidade gerada pela combustão de combustíveis fósseis, é possível obter reduções de emissão adicionais como resultado do deslocamento do uso de combustível fóssil. No entanto, dado que a energia hidrelétrica abastece a maioria da rede elétrica brasileira, consideramos que a quantidade de carbono e de gases de efeito estufa criado a partir do deslocamento da eletricidade derivada do combustível fóssil seria irrelevante.

Embora não seja uma opção de utilização, queimar o GAS coletado produziria, portanto, importantes benefícios para o meio ambiente e possíveis retornos com a venda de RECs. Pelo fato das RECs serem geralmente a única fonte de retorno de um projeto de queima de metano unicamente, os preços pagos pelas RECs determinarão em grande parte a viabilidade econômica do projeto. Um projeto de queima direta de metano produzirá menos retorno do que outras opções de projeto, mas pode ser mais economicamente viável para se desenvolver no aterro devido aos menores custos de investimento. Além disso, um projeto de queima direta de metano não impede que o aterro desenvolva e implemente um projeto subsequente de utilização do GAS. Uma abordagem por fases pode reduzir os riscos do projeto, ao permitir: (1) a quantificação de GAS estimado (provas); (2) recuperar o custo do sistema de coleta de GAS (e, desta forma, não sobrecarregar o projeto de utilização com o financiamento do sistema de coleta); e (3) proporcionar uma base de retorno que ajude a apoiar o desenvolvimento e o financiamento do projeto de utilização. Caso uma abordagem em fases seja escolhida, é muito importante que o conceito para uma segunda fase do projeto de utilização de GAS seja incluída no documento de elaboração de projeto (PDD, *Project Design Document*). Mesmo que todos os detalhes sejam conhecido, um conceito geral deve ser introduzido para permitir a modificação do PDD em lugar de uma rerepresentar um PDD completo.

## 6.0 OUTRAS CONSIDERAÇÕES DO PROJETO

### 6.1 DIREITOS DO GÁS DE ATERRO SANITÁRIO

Para que qualquer projeto de GAS seja implementado, a propriedade dos direitos do gás precisa ser claramente definida. As disputas sobre os direitos do gás precisam ser estabelecidas antes que se tomem decisões quando á prosseguir com um projeto, negociações de contrato ou a divisão de retorno.

O Aterro Sanitário do Vale do Aço é propriedade da Vital Ambiental e corresponde a jurisdição do Município de Santana do Paraíso. Entendemos que a Vital é proprietária exclusiva dos direitos sobre o GAS.

### 6.2 SEGURANÇA E CATADORES

A segurança no aterro é adequada para o desenvolvimento de um projeto de utilização de GAS e o aterro não tem catadores.

## 7.0 RECOMENDAÇÕES

Esta seção apresenta recomendações gerais que visam a aumentar as chances de desenvolver um projeto bem-sucedido de utilização de GAS ou unicamente queima de metano.

### 7.1 GESTÃO DO ATERRO

O aterro sanitário é muito bem administrado e operado. Segundo os desenhos (planos) do aterro, a base do aterro sanitário tem uma importante inclinação para baixo; portanto, os resíduos devem ser colocados com cuidado e deve-se evitar ao máximo que a massa se sature. Os resíduos deverão continuar sendo coletados diariamente e as águas pluviais deverão continuar sendo direcionadas para longe da massa de resíduos. Deve-se evitar ao máximo que o chorume acumule na massa de resíduo. Futuramente, um grande sistema de drenagem de chorume deve ser considerado. Por exemplo, em vez de apenas drenos de cascalho com formato de espinha de peixe, a empresa responsável poderia considerar cobrir a camada de base toda com uma camada de drenagem (ex.: cascalho).

### 7.2 IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

Abaixo seguem etapas recomendadas para a implantação de um projeto de utilização de GAS ou unicamente queima de metano.

- *Direitos sobre o GAS:* Confirmar se empresa responsável tem os direitos sobre o gás do aterro sanitário. Caso a questão não esteja clara, deve se discutir com os acionistas legítimos como dividir de maneira igualitária os benefícios e registrar qualquer acordo em documento legítimo. Como orientação geral, recomendamos que qualquer benefício

recebido como resultado do GAS dever ser comensurado com o nível de risco incorrido. Por exemplo, a entidade responsável pelas obrigações ambientais do aterro deverá receber a maior parte dos benefícios ambientais do projeto (ex.: atributos ambientais/verdes).

- *Solicitar Ofertas:* Uma vez que as questões referentes ao direito sobre o gás tenham sido resolvidas, o dono dos direitos sobre o GAS (Vital) deve solicitar ofertas para desenvolver o projeto. Se o licitante vencedor for obrigado a aplicar um importante capital, então os direitos sobre o GAS provavelmente serão transferidos para o licitante vencedor em troca de algum tipo de benefício (em geral, o pagamento com base na quantia de GAS disponível ou usada). Se a os donos do direito sobre o GAS preferirem desenvolver por conta própria o projeto de somente queima de metano ou de redução de gases de efeito estufa, então deve começar o processo do projeto de implantação, incluindo as seguintes etapas.
  - Contratar uma entidade qualificada com experiência na implantação de projetos de redução de gases de efeito estufa para apoiar no desenvolvimento do projeto.
  - Preparar um projeto e um orçamento para o sistema de extração de GAS.
  - Preparar um Documento de Elaboração de Projeto (PDD).
  - Conseguir a aprovação do órgão nacional pertinente.
  - Conseguir que uma terceira parte qualificada valide o projeto.
  - Enviar o projeto para o cartório selecionado ou programa de carbono e gases de efeito estufa para o registro e aprovação.
- *Outras Considerações:* Se uma abordagem em fases for adotada, certificar-se de que há a possibilidade de utilização de GAS seja preservada. Incluir a previsão para um projeto de utilização de GAS em segunda fase no PDD. Mesmo que todos os detalhes sejam conhecidos, um conceito de projeto de utilização geral deve ser introduzido para permitir a modificação do PDD ao invés de reapresentar um PDD completo. Dar ao licitante vencedor um período de tempo razoável para implantar o projeto de utilização; após este período, eles perderão os direitos sobre o projeto. Se o licitante ganhador não tiver a intenção de desenvolver ou não lhe forem concedidos os direitos de um projeto de utilização de GAS, os donos dos direitos sobre carbono e gases de efeito estufa devem preservar esses direitos de desenvolver um projeto de utilização no futuro, junto com atributos ambientais associados com o projeto de utilização (ex. RECs).

## 8.0 CONCLUSÕES

Um projeto de recuperação de GAS no Aterro Sanitário do Vale do Aço está projetado para render uma quantia modesta de GAS nos próximos anos que aumentará de cerca de 490 m<sup>3</sup>/h em 2012 a um máximo de cerca de 1.090 m<sup>3</sup>/h em 2025. Com base nas projeções de recuperação de

GAS contidas neste relatório, há combustível suficiente para operar uma usina de elétrica de 1,0 MW de 2014 até 2029. As opções de projetos alternativos incluem a queima direta única de metano para créditos de redução de emissão ou uso direto em instalações industriais próximas. Os créditos de redução de emissão projetados associados à combustão de GAS totalizam cerca de 470.000 toneladas de CO<sub>2</sub>e ao longo de um período de 10 anos (2012 – 2021), segundo as projeções de recuperação de GAS. Um estudo mais detalhado é necessário para avaliar as opções de projetos específicos identificados, incluindo uma análise dos retornos, custos de capital e de operação, financiamento, localização do usuário final e demanda do mesmo, considerações tecnológicas e determinação da viabilidade econômica das várias opções de projeto.

ANEXO A

RESULTADOS DO MODELO GAS

---

**TABELA A-1**  
**PROJEÇÃO DA GERAÇÃO E RECUPERAÇÃO DO GÁS DO ATERRO EM CENÁRIO DE RECUPERAÇÃO MÉDIA**  
**ATERRO VALE DO AÇO, SANTANA DO PARAISO, MG**

Ano	Taxa de Disposição (t/ano)	Resíduo Acumulado (t)	Geração de Biogás (m <sup>3</sup> /h) (cfm) (mmBtu/h)			CENÁRIO DE RECUPERAÇÃO MÉDIA							
						Eficiência Sistema de Coleta (%)	Recuperação de Biogás Prevista			Máxima de Geração* (MW)	Linha Base** Vazão de Biogás (m3/h)	Redução de Emissões de Metano Estimadas**	
							(m <sup>3</sup> /h)	(cfm)	(mmBtu/h)			(t CH4/ano)	(tCO2eq/ano)
2003	13.300	13.300	0	0	0,0	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2004	45.730	59.030	36	21	0,6	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2005	64.200	123.230	154	91	2,8	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2006	82.710	205.940	300	177	5,4	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2007	85.250	291.190	467	275	8,3	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2008	84.850	376.040	605	356	10,8	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2009	88.920	464.960	713	420	12,7	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2010	92.360	557.320	809	476	14,5	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2011	94.210	651.530	896	528	16,0	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2012	96.090	747.620	971	572	17,4	50%	486	286	8,7	0,8	0	1.525	32.026
2013	98.010	845.630	1.038	611	18,5	52%	540	318	9,6	0,9	0	1.694	35.582
2014	99.970	945.600	1.098	646	19,6	54%	593	349	10,6	1,0	0	1.861	39.077
2015	101.970	1.047.570	1.152	678	20,6	56%	645	380	11,5	1,1	0	2.026	42.548
2016	104.010	1.151.580	1.204	708	21,5	58%	698	411	12,5	1,2	0	2.192	46.023
2017	106.090	1.257.670	1.252	737	22,4	60%	751	442	13,4	1,2	0	2.358	49.524
2018	108.210	1.365.880	1.298	764	23,2	61%	792	466	14,2	1,3	0	2.486	52.215
2019	110.370	1.476.250	1.343	791	24,0	62%	833	490	14,9	1,4	0	2.615	54.906
2020	112.580	1.588.830	1.387	816	24,8	63%	874	514	15,6	1,4	0	2.743	57.612
2021	114.830	1.703.660	1.430	842	25,6	64%	915	539	16,4	1,5	0	2.874	60.344
2022	117.130	1.820.790	1.473	867	26,3	65%	957	563	17,1	1,6	0	3.005	63.112
2023	119.470	1.940.260	1.515	892	27,1	66%	1.000	589	17,9	1,7	0	3.139	65.922
2024	121.860	2.062.120	1.557	916	27,8	67%	1.043	614	18,6	1,7	0	3.275	68.781
2025	49.880	2.112.000	1.599	941	28,6	68%	1.087	640	19,4	1,8	0	3.414	71.693
2026	0	2.112.000	1.439	847	25,7	69%	993	584	17,7	1,6	0	3.116	65.446
2027	0	2.112.000	1.171	689	20,9	75%	879	517	15,7	1,5	0	2.758	57.923
2028	0	2.112.000	960	565	17,2	75%	720	424	12,9	1,2	0	2.261	47.488
2029	0	2.112.000	799	470	14,3	75%	599	353	10,7	1,0	0	1.881	39.491
2030	0	2.112.000	674	397	12,0	75%	505	297	9,0	0,8	0	1.586	33.316
2031	0	2.112.000	576	339	10,3	75%	432	254	7,7	0,7	0	1.357	28.505
2032	0	2.112.000	500	294	8,9	75%	375	221	6,7	0,6	0	1.177	24.718
2033	0	2.112.000	439	258	7,8	75%	329	194	5,9	0,5	0	1.033	21.703
2034	0	2.112.000	390	229	7,0	75%	292	172	5,2	0,5	0	918	19.272
2035	0	2.112.000	350	206	6,2	75%	262	154	4,7	0,4	0	823	17.284

**PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO:**

Conteúdo de metano estimado no Biogás:	50%		
	<u>Dec.Ráp.</u>	<u>Dec.Med.</u>	<u>Lo Total</u>
Taxa constante de decaimento (k):	0,300	0,060	
Potencial de Geração de CH4 (Lo) (ft3/ton):	2.325	6.339	2.532
Metric Equivalent Lo (m3/t):	73	198	79

**NOTAS:**

\* Capacidade máxima de geração assume índice de calor total de 10.800 Btus por kW-hr (hhv).  
 \*\*Linha base de vazão não assume recuperação de biogás (sem combustão). RECs não contam para geração de energia, diminuição do tempo de vida útil ou destruição pressuposta do metano.  
 Total de RECs para o período de 2012-2021 = **469.858 t CO2e**  
 Média anual de RECs período > 10 anos = **46.986 t CO2e**

**TABELA A-2**  
**PROJEÇÃO DA GERAÇÃO E RECUPERAÇÃO DO GÁS DO ATERRO EM CENÁRIOS DE ALTA E BAIXA RECUPERAÇÃO**  
**ATERRO VALE DO AÇO, SANTANA DO PARAISO, MG**

Ano	CENÁRIO DE RECUPERAÇÃO ALTA								CENÁRIO DE RECUPERAÇÃO BAIXA							
	Eficiência Sistema de Coleta (%)	Recuperação de Biogás Prevista			Capacidade Máxima de Geração* (MW)	Linha Base** Vazão de Biogás (m3/h)	Redução de Emissões de Metano Estimadas**		Eficiência Sistema de Coleta (%)	Recuperação de Biogás Prevista			Capacidade Máxima de Geração* (MW)	Linha Base** Vazão de Biogás (m3/h)	Redução de Emissões de Metano Estimadas**	
		(m <sup>3</sup> /h)	(cfm)	(mmBtu/h)			(t CH4/ano)	(tCO2eq/ano)		(m <sup>3</sup> /h)	(cfm)	(mmBtu/h)			(t CH4/ano)	(tCO2eq/ano)
2003	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2004	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2005	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2006	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2007	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2008	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2009	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2010	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2011	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
2012	60%	583	343	10,4	1,0	0	1.830	38.431	35%	340	200	6,1	0,6	0	1.068	22.418
2013	62%	643	379	11,5	1,1	0	2.020	42.425	37%	384	226	6,9	0,6	0	1.206	25.318
2014	64%	702	413	12,6	1,2	0	2.205	46.314	39%	428	252	7,6	0,7	0	1.344	28.223
2015	66%	761	448	13,6	1,3	0	2.388	50.146	41%	472	278	8,4	0,8	0	1.483	31.151
2016	68%	818	482	14,6	1,4	0	2.569	53.958	43%	518	305	9,2	0,9	0	1.625	34.120
2017	70%	876	516	15,7	1,4	0	2.751	57.778	45%	563	332	10,1	0,9	0	1.769	37.143
2018	71%	922	543	16,5	1,5	0	2.894	60.775	46%	597	352	10,7	1,0	0	1.875	39.375
2019	72%	967	569	17,3	1,6	0	3.036	63.762	47%	631	372	11,3	1,0	0	1.982	41.622
2020	73%	1.013	596	18,1	1,7	0	3.179	66.757	48%	666	392	11,9	1,1	0	2.090	43.895
2021	74%	1.058	623	18,9	1,8	0	3.323	69.773	49%	701	412	12,5	1,2	0	2.200	46.201
2022	75%	1.104	650	19,7	1,8	0	3.468	72.821	50%	736	433	13,2	1,2	0	2.312	48.547
2023	76%	1.151	678	20,6	1,9	0	3.615	75.910	51%	773	455	13,8	1,3	0	2.426	50.940
2024	77%	1.199	706	21,4	2,0	0	3.764	79.046	52%	810	477	14,5	1,3	0	2.542	53.382
2025	78%	1.247	734	22,3	2,1	0	3.916	82.236	53%	848	499	15,1	1,4	0	2.661	55.879
2026	79%	1.137	669	20,3	1,9	0	3.568	74.931	54%	777	457	13,9	1,3	0	2.439	51.219
2027	85%	996	586	17,8	1,6	0	3.126	65.646	60%	703	414	12,6	1,2	0	2.207	46.339
2028	85%	816	480	14,6	1,4	0	2.563	53.820	60%	576	339	10,3	1,0	0	1.809	37.991
2029	85%	679	400	12,1	1,1	0	2.131	44.757	60%	479	282	8,6	0,8	0	1.504	31.593
2030	85%	573	337	10,2	0,9	0	1.798	37.758	60%	404	238	7,2	0,7	0	1.269	26.653
2031	85%	490	288	8,8	0,8	0	1.538	32.305	60%	346	204	6,2	0,6	0	1.086	22.804
2032	85%	425	250	7,6	0,7	0	1.334	28.014	60%	300	177	5,4	0,5	0	942	19.774
2033	85%	373	220	6,7	0,6	0	1.171	24.596	60%	263	155	4,7	0,4	0	827	17.362
2034	85%	331	195	5,9	0,5	0	1.040	21.841	60%	234	138	4,2	0,4	0	734	15.417
2035	85%	297	175	5,3	0,5	0	933	19.589	60%	210	123	3,7	0,3	0	658	13.828

**NOTAS:**

\* Capacidade máxima de geração assume índice de calor total de 10.800 Btus por kW-hr (hhv).  
 \*\*Linha base de vazão não assume recuperação de biogás (sem combustão). RECs não contam para geração de energia, diminuição do tempo de vida útil ou destruição pressuposta do metano.  
 Total de RECs para o período de 2012-2021 = **550.118 t CO2e**

**NOTAS:**

\* Capacidade máxima de geração assume índice de calor total de 10.800 Btus por kW-hr (hhv).  
 \*\*Linha base de vazão não assume recuperação de biogás (sem combustão). RECs não contam para geração de energia, diminuição do tempo de vida útil ou destruição pressuposta do metano.  
 Total de RECs para o período de 2012-2021 = **349.467 tonnes CO2e**