

Manual do usuário do programa de computador



BIOGÁS

GERAÇÃO E USO ENERGÉTICO

aterros

versão 1.0

Manual do usuário do programa de computador



Governo do Estado de São Paulo
Secretaria de Estado do Meio Ambiente
Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB
São Paulo
2006

Este manual foi desenvolvido com os recursos do Programa Mudanças Climáticas Globais – “Plano Brasil de Todos” do Governo Federal. É um produto dos Convênios “*Subsídios para a recuperação e uso energético de biogás gerado em estações de tratamento anaeróbico de efluentes – ETAE*”; e “*Subsídios para a recuperação e uso energético de biogás gerado em locais de disposição de resíduos sólidos – LDRS*” [nº: 01.0053.00/2001 e 01.0054.00/2001], cumprindo as metas 8.1 e 8.3, respectivamente: “*Publicação de um guia para recuperação e uso energético do biogás*”. Estes Convênios foram firmados entre o Governo Federal e o Governo do Estado de São Paulo, por meio do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA e Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental – CETESB, publicado no Diário Oficial da União de 26 de dezembro de 2001, seção 3, página 244.

Coordenação dos Convênios

Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT

Sergio Rezende

Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento – SEPED

Luiz Antônio Barreto de Castro

Coordenação-Geral de Mudança Global do Clima – CGMGC

José Domingos Gonzalez Miguez

Coordenação Técnica

Newton Paciornik

Branca Bastos Americano

Mauro Meireles de Oliveira Santos

Gustavo Barbosa Mozzer

Coordenação Administrativa

Marcos Willian Bezerra de Freitas

Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA-SP

José Goldemberg

Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA-SP

Coordenação Geral dos Convênios

Suani Teixeira Coelho

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB

Otávio Okano

Departamento de Apoio Técnico – CETESB

Maria da Glória Figueiredo

Divisão de Questões Globais – CETESB

Coordenação Técnica dos Convênios

João Wagner Silva Alves



Governo do Estado de São Paulo
Cláudio Lembo

Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA-SP
José Goldemberg

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB
Otávio Okano

Termo de isenção de responsabilidade

A coordenação dos convênios e os seus apoiadores não se responsabilizam por quaisquer problemas advindos do uso do Programa de Computador Biogás – Geração e Uso Energético – Aterros – versão 1.0, seja pelas estimativas dos volumes de biogás geradas, estimativas de Créditos de Carbono, custos de geração energética ou por quaisquer informações geradas por este programa ou com o seu auxílio. Os valores dos produtos e os fatores empregados para estimativa de geração de biogás podem ser editados pelo usuário. Aqueles sugeridos não são necessariamente os mais corretos. Os nomes comerciais ou produtos eventualmente citados não estão sendo recomendados pelos realizadores do programa.

A viabilidade da implantação das instalações propostas pelo programa depende de confirmação posterior de todos os pressupostos de que faz uso o programa de computador. Este considera a data definida no relógio interno do computador onde for executado e a compara com a data informada pelo usuário do programa. Portanto, são somados e considerados como atividades de projeto períodos futuros, de acordo com essa comparação. Além disso, foram desconsideradas peculiaridades relativas aos projetos de Créditos de Carbono, como prazos e duração de contrato.

A coordenação dos convênios não se responsabiliza pelos aperfeiçoamentos e/ou adaptações realizadas no programa pelo usuário e respectivos resultados. Da mesma forma, a utilização do programa com as modificações introduzidas pelo usuário deve ser expressamente informada a terceiros.

Por fim, a coordenação dos convênios recomenda o aprofundamento dos estudos dessa prática, o que é possível com o livre acesso ao programa e seu respectivo “código fonte”.

Qualquer instalação de recuperação e uso de biogás gerado pela degradação anaeróbia de resíduos orgânicos em aterros sanitários deve obter os correspondentes licenciamentos, inclusive o ambiental, junto às autoridades competentes da localidade em que se encontra.

Dados internacionais de catalogação na publicação (CIP) (CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

C418m	CETESB (São Paulo) Manual do usuário do programa de computador Biogás : geração e uso energético – aterros – versão 1.0 / CETESB, Secretaria do Meio Ambiente, Ministério da Ciência e Tecnologia. -- São Paulo : SMA : CETESB : MCT, 2006. 65 p. : il. color. ; 30 cm + 1 CD ROM Conteúdo: v. 1. Aterros. Guia para recuperação e uso energético do biogás gerado por resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários. - CD ROM. Manual v. 1-2, programas executáveis e códigos fonte. Disponível também em : < http://www.cetesb.sp.gov.br > ISBN 1. Biogás - combustível 2. Digestão anaeróbia 3. Energia 4. Programas - computador - manual 5. Resíduos sólidos I. São Paulo (Estado) Secretaria do Meio Ambiente. II. Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. III. Título.
CDD (21.ed. Esp.)	005.368 2 665.776
CDU (ed. 99 port.)	662.767.2 : 004.42 (035)

Margot Terada – CRB 8.4422
Impressos 300 mil exemplares no verão de 2006.

Apresentação

Desde o início da Revolução Industrial, o desenvolvimento tecnológico em que se baseia o estilo de vida da sociedade moderna privilegiou o uso de máquinas que consomem combustíveis fósseis como o carvão, o gás natural e, especialmente, a gasolina e o diesel. Mas foi só nos anos 70, com a eclosão dos conflitos no Oriente Médio, que o mundo constatou a grande dependência que foi criada, ao longo dos anos, em relação ao petróleo e passou a procurar por fontes alternativas de energia.

Durante a crise de abastecimento de petróleo, as pesquisas apontaram para várias alternativas, merecendo destaque o biogás gerado pela digestão anaeróbia da matéria orgânica dos resíduos. Trata-se de uma mistura gasosa rica em metano, com alto poder energético, em muitos casos em quantidade suficiente para ser explorado de forma econômica.

O Brasil, como todos países em desenvolvimento, tem sérios problemas de saneamento. A coleta de resíduos sólidos urbanos em algumas regiões ainda é precária e mesmo nos Estados considerados mais desenvolvidos, a coleta é deficiente na periferia das cidades. Os projetos de aterros, em muitos casos, são executados parcialmente gerando graves problemas ambientais.

No Estado de São Paulo, a CETESB realiza anualmente, desde 1997, o inventário de resíduos urbanos. Nesse inventário, com base em vários itens, atribui-se uma nota que varia de 0 a 10, sendo as notas mais baixas atribuídas aos lixões e as notas mais altas aos aterros sanitários. Desde a realização do primeiro inventário, observa-se anualmente o aumento nota dos aterros refletindo o aumento da qualidade da sua operação. Inclui-se aí a recuperação e uso energético do biogás. Em 2000, não havia um único projeto no Estado, em 2006, além de algumas instalações em operação, há vários projetos em andamento.

Hoje, na vigência do Protocolo de Quioto, um novo aspecto deve aumentar o interesse no uso do biogás, pois o metano contido no biogás é um gás de efeito estufa com poder de aquecimento global 21 vezes superior ao do dióxido de carbono. Desta maneira, evitar o seu lançamento para a atmosfera utilizando-o como combustível em substituição a combustíveis fósseis é uma ação de proteção do meio ambiente, reduzindo a concentração de gases que contribuem para a elevação da temperatura planetária.

Neste cenário, o programa de computador que está sendo distribuído junto com este manual constitui um fato auspicioso, pois promove a disseminação da tecnologia de produção e uso do biogás. Trata-se de um grande serviço que o Ministério da Ciência e Tecnologia e a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, por intermédio da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, está prestando ao país tornando acessível, ao cidadão comum, por meio de uma linguagem adequada, informações sobre os sistemas de digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, avaliando custos, investimentos e uma série de outros aspectos, especialmente a possibilidade de transformar a recuperação do metano em Créditos de Carbono.

O Brasil, que já vem se destacando no âmbito do Protocolo de Quioto, em função do domínio, de forma pioneira, da tecnologia do uso do álcool como energia automotriz, está mais uma vez mostrando o seu vanguardismo.

José Goldemberg

Apresentação

O programa de computador de que trata este manual é um dos produtos de um convênio firmado entre a CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo - SMA-SP e o Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT, cujo objetivo era a elaboração de manuais para a orientação do uso energético de biogás e fomento da formação de centros para o desenvolvimento dessa atividade no Brasil.

O convênio foi antecedido por fatos ocorridos na segunda metade da década de 90, quando a CETESB realizou, sob a coordenação do MCT, o inventário de emissões de metano gerado pela degradação anaeróbia de resíduos. Esse inventário faz parte da comunicação nacional, onde estão contabilizadas todas as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa no Brasil. A CETESB também promoveu uma série de seminários debatendo as alternativas de uso energético do biogás gerado pelos resíduos.

Além disso a CETESB, a SMA-SP e o MCT contribuem, com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas para o aperfeiçoamento dos métodos de quantificação das emissões de metano pela degradação anaeróbia de resíduos. Desta maneira, a expectativa é de que pesquisadores de todo o mundo possam estimar com maior exatidão as emissões de metano em seus respectivos países.

Estamos, agora, dando um novo passo com o lançamento deste programa de computador que vai contribuir para aumentar o interesse em torno deste tema, em todos os níveis, pois a linguagem utilizada permite que mesmo um leigo faça a estimativa da emissão de metano de aterro sanitário.

O programa de computador, escrito com o emprego da linguagem de computação Visual Basic, foi registrado em nome do convênio por duas razões. A primeira por estar disponível para consulta em CD-ROM, onde também se encontra o programa executável. Com esta medida, qualquer instituição de pesquisa ou mesmo o empreendedor poderá alterá-lo, aperfeiçoando-o de diferentes maneiras. A segunda razão visa a sua proteção e a garantia de que estará sempre disponível gratuitamente ao contribuinte, sem que seja permitida a sua exploração comercial.

Otávio Okano

Sumário

Prefácio	13
Introdução	14
Conceito geral do programa Biogás, geração e uso energético	15
Conteúdo do CD-ROM	18
Instalação do programa	19
Apresentação – telas iniciais	21
Definições e limitações do programa	22
O Estudo	25
Características do aterro	25
Estimativa de geração de biogás no aterro – entrada de dados	30
Estimativa da taxa de decaimento (k)	32
Estimativa do potencial de geração de biogás (L_0)	33
Estimativa do fluxo de resíduos (R_x)	33
Estimativa de geração de biogás no aterro – resultados	36
Energia disponível e estimativa de uso	38
Energia como gás combustível.	39
Potência elétrica disponível e período possível.	40
Geração de energia elétrica.	41
Escolha da tecnologia de uso energético	41
Uso do gás como combustível para queima direta	42
Uso do gás para geração de eletricidade	42
Dimensionamento simplificado da implantação do projeto de uso de biogás	43
Coleta	43
Tratamento	45
Compressão	45
Gasômetro	45
Queimador	46
Transporte canalizado do gás	46
Preço da tonelada de dióxido de carbono e duração do projeto de Crédito de Carbono	47
Resumo de possíveis custos e rendimentos	48
Resumo de custos e rendimentos	48
Investimentos e Créditos de Carbono	49
Quantidades	50
Geração, impressão e armazenamento do relatório	50
Identificação do responsável pelo estudo	50
Final do estudo	51
Bibliografia	52
Anexos	53
Sobre a propriedade e permissão de uso do programa	54
Sobre a propriedade e permissão de uso do programa	Erro! Indicador não definido.
Nota do programador	55
Agradecimentos	56

Lista de equações

Equação 1 – Estimativa da energia elétrica consumida no mês por diferentes equipamentos	28
Equação 2 – Estimativa do total de energia elétrica consumida ao mês no interior do aterro	28
Equação 3 – Energia elétrica consumida ao mês na vizinhança do aterro	29
Equação 4 – Energia calorífica consumida ao mês na vizinhança do aterro	29
Equação 5 – Estimativa da vazão (Q_x) de metano no ano considerado	31
Equação 6 – Soma (ΣQ_x) das estimativas das vazões de metano no ano considerado	32

Equação 7 – Estimativa de disposição de resíduos (R_x).....	34
Equação 8 – Estimativa do crescimento populacional (Pop_x)	34
Equação 9 – Potência disponível ao ano	37
Equação 10 – Energia disponível.....	38
Equação 11 – Energia útil, energia para uso como gás e energia para uso como eletricidade	39
Equação 12 – Número de drenos (N_D)	44
Equação 13 – Área de abrangência do dreno (A_D).....	44
Equação 14 – Total da tubulação de drenagem (T_D).....	44

Lista de tabelas

Tabela 1 – Demandas de energia:	22
Tabela 2 – Potência elétrica de diferentes equipamentos:	22
Tabela 3 – Custo de diferentes equipamentos para uso de gás	23
Tabela 4 – Custo de diferentes partes do sistema de reaproveitamento.....	23
Tabela 5 – Custo de diferentes equipamentos de geração de eletricidade	24
Tabela 6 – Número de drenos (N_D)	44
Tabela 7 – Lista de equações empregadas na folha de resumo.....	48
Tabela 8 – Geração média de resíduos por habitante por dia	53
Tabela 9 – Valores de k sugeridos correspondentes à precipitação anual e à degradabilidade do resíduo.....	53
Tabela 10 – Valores sugeridos L_0 e k	53

Prefácio

De acordo com a legislação vigente, o uso, o estudo, a reprodução e a distribuição deste, são livres, desde que sejam citadas as instituições realizadoras e financiadoras do programa original. Este programa teve seu registro solicitado junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI de acordo com a Lei de Software n° 9.606/98, 9.609/98 e seus regulamentos – Decreto n° 2.556/98 e na Lei de Direito Autoral n° 9.610/98.

Acompanham o programa executável, o seu “código fonte”, ou seja, cada linha de programação com todas as variáveis e fórmulas empregadas para o seu funcionamento, o auxiliar de instalação e o seu manual do usuário.

Os autores dedicaram especial atenção para as estimativas elaboradas pelo programa. A seqüência de apresentação das telas, a entrada e armazenamento das informações, e a forma de apresentação do relatório, foram, dentre outros cuidados, revisados, corrigidos e reescritos até esta forma final. Todavia, acredita-se que esta primeira versão, assim como qualquer outra primeira versão de programa de computador, ainda contenha oportunidades de aperfeiçoamento e, até mesmo, erros.

Com tal preocupação e considerando a necessidade de compartilhar com as demais instituições nacionais o conhecimento desenvolvido ao longo dos últimos anos pelos técnicos do Governo do Estado de São Paulo, em parceria com o Governo Federal, optou-se por permitir o acesso ao “código fonte” deste programa. Assim, o usuário pode, empregando editores e compiladores adequados, compreender melhor e aperfeiçoar livremente este produto, adaptando-o às necessidades do seu Estado, municipalidade, instituição de pesquisa ou ensino ou empresa do setor de saneamento ou energia.

Seus criadores e financiadores solicitam que essas contribuições sejam remetidas para a CETESB para que uma eventual nova versão possa considerar a possibilidade de incorporá-las.

Introdução

Este programa tem o objetivo de auxiliar a avaliação de viabilidade do uso energético do biogás gerado pela disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros.

O biogás é uma mistura gasosa gerada pela degradação anaeróbia, ou seja, sem a presença de ar, da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos. Este programa leva em conta os processos de degradação que ocorrem em aterros sanitários com os resíduos sólidos urbanos.

Essa mistura gasosa é composta, principalmente, por metano e dióxido de carbono. Gerado em aterros, tem, em média, 60% de metano e 40% de dióxido de carbono, chegando a até 80% de metano em alguns casos. Quanto maior a fração de metano, mais energia por unidade de massa está contida no biogás. Além desses dois gases, o biogás contém dezenas de outras substâncias, dentre as quais se destacam o gás sulfídrico, que provoca mau-cheiro na vizinhança, na proporção entre 0,1 e 2%, traços de siloxinas, que assim como o gás sulfídrico, reduzem a vida útil dos equipamentos de uso energético; e o vapor d'água.

Nas décadas de 70 e 80, com as crises do petróleo, o preço internacional da energia se elevou significativamente. Além disso, as incertezas de abastecimento levaram os países de todo o mundo a adotar estratégias de racionamento, desenvolvimento de fontes alternativas de energia ou expansão da produção própria de petróleo. Desta maneira, o suprimento das necessidades mínimas de energia dos países tornou-se questão de soberania nacional naquela época.

No Brasil, vários programas de energias alternativas floresceram, dentre eles, as experiências de uso de biogás em veículos substituindo gasolina. Foram empregados, tanto o biogás gerado em aterros, quanto em reatores anaeróbios. Com o fim da crise do petróleo esses programas foram desativados, priorizando, novamente o uso de combustíveis fósseis.

Na década de 90, tratados internacionais como a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima e o Protocolo de Quioto, destacam o fato de o metano ser um gás de efeito estufa 21 vezes mais potente, em termos de aquecimento global, que o dióxido de carbono e que a sua emissão para a atmosfera deveria ser inibida.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), criado no Protocolo de Quioto, é o instrumento pelo qual os países desenvolvidos podem apoiar países não incluídos no Anexo I da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, ao mesmo tempo em que promovem reduções das suas emissões de gases de efeito estufa pelo emprego das Reduções Certificadas de Carbono, também conhecidas como Créditos de Carbono.

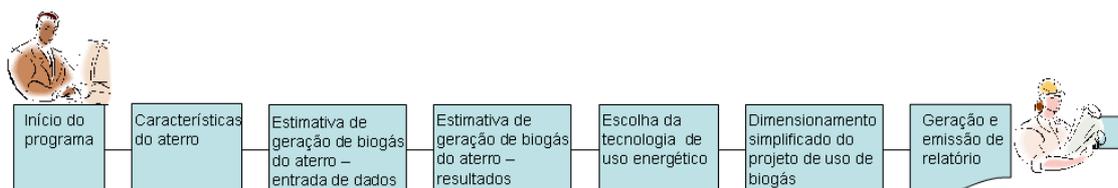
Nos Estados Unidos, o Programa de Fomento ao Uso de Gás de Aterro da Agência de Proteção Ambiental (LMOP – USEPA) enumera mais de 400 diferentes projetos desse tipo em operação e outros 600 em estudo. Na Europa, outras centenas de projetos semelhantes. Além da energia obtida a baixo custo, essa prática ressalta a boa gestão ambiental do empreendimento.

Portanto, é por este motivo que o Ministério da Ciência e Tecnologia, a Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo e a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, em sintonia com a realidade e as necessidades de desenvolvimento sustentável do Brasil, decidiram desenvolver e oferecer à sociedade este instrumento para o fomento do uso energético do biogás no país.

Conceito geral do programa Biogás, geração e uso energético

A Figura 1 representa os conceitos gerais do programa de computador Biogás, empregado para a elaboração da idéia e concepção básica de um projeto.

Figura 1 – Etapas de elaboração de um projeto



A Figura 2 representa as demais etapas para a recuperação e uso energético e seus possíveis rendimentos.

No seu início, é possível escolher entre elaborar um novo projeto e consultar um pronto, gravado anteriormente. Também no início, devem-se observar os principais parâmetros empregados durante a sua execução.

Algumas informações são solicitadas, identificando o empreendimento, a instituição responsável, seu endereço, os técnicos e administradores responsáveis e, se houver disponibilidade, mapas na escala do Estado e do município podem ser somados a essas informações.

Além disso, o programa inclui algumas perguntas sobre as distâncias entre o empreendimento e bairros vizinhos ou possíveis clientes.

Caso não se conheça o número de drenos de gases, o programa faz a estimativa da quantidade ideal desses dispositivos, considerando um raio de abrangência de 25 m por dreno. Se o usuário informar o número de drenos esse dado será comparado com uma estimativa ideal mínima. Caso o número de drenos informado seja menor, o usuário será desse fato e o programa adotará o número ideal mínimo para a realização das suas estimativas.

Devem ser respondidas as perguntas a respeito do gerenciamento do aterro. Cada item listado permite a inclusão de comentários que auxiliarão na compreensão das condições operacionais e logísticas do empreendimento avaliado.

Além desses comentários, deve-se também preencher o questionário de demandas de energia internas e externas do aterro. Os idealizadores do programa consideraram alguns pressupostos de uso dos equipamentos que devem ser listados e observados pelo usuário à medida em que preenche o questionário e, se houver divergências, providências para correção da estimativa podem ser tomadas. Procurou-se empregar as unidades de energia mais comuns e popularizadas.

Essas quantidades serão rerepresentadas ao longo do programa para que o usuário possa, levando em conta as suas necessidades de energia, escolher o uso a ser dado ao biogás.

Para a efetuar a estimativa de emissão, o usuário deve ter em mãos alguns registros da operação do aterro.

Deve ser conhecido o histórico de disposição de resíduos no aterro. Caso não haja tais dados, pode ser feita uma estimativa a partir do fluxo atual de resíduos e de uma taxa média de variação da geração (crescente no tempo), desde a sua abertura até o fechamento. Como terceira alternativa, caso não se conheça nem o fluxo atual de resíduos, pode-se fazer a estimativa da geração de resíduos, a partir da população atendida pelo serviço de coleta de resíduos e da taxa de geração individual de resíduos.

Com esses e outros dados, a estimativa das emissões de metano no período considerado é apresentada em duas formas: gráfico ou planilha. Os dados da planilha podem ser exportados para uma planilha eletrônica. O gráfico pode ser alterado, copiado e incluído em um editor de textos.

Essa estimativa será mais precisa, quanto melhores forem as informações empregadas. Todavia, a escassez de pesquisas no Brasil acerca das emissões de metano pelos processos de degradação anaeróbia de resíduos, sugere que outros meios devem ser procurados para confirmar essas primeiras estimativas.

Quando se converte a quantidade de gás em potência disponível no aterro, são considerados os vários tipos de perdas nesse processo.

A fase de escolha da tecnologia de uso energético é dividida em duas:

1. escolha das quantidades de energia que serão utilizadas,
 2. escolha da tecnologia de conversão e uso da energia.
1. Para definir as quantidades de energia, o usuário pode experimentar diferentes usos, que são limitados pela quantidade de gás disponível. O período de viabilidade do empreendimento é um importante fator de tomada de decisão.
 2. A escolha da tecnologia de conversão conclui o processo de concepção do projeto. São listadas algumas tecnologias e suas estimativas de preços, que devem incluir os custos de investimento, operação e manutenção.

É feito um projeto simplificado do sistema de coleta e tratamento do biogás, que inclui quantidades e custos de diferentes componentes desse sistema.

Finalmente, o programa apresenta uma análise que inclui o custo da geração energética, potenciais ganhos pela venda de Créditos de Carbono e várias outras informações.

O programa ainda permite gravar o estudo feito ou imprimi-lo, gerando um relatório desse potencial empreendimento.

Com esse estudo, o usuário deu um importante passo para compreender um outro aspecto do empreendimento sanitário em questão.

Deve-se, a partir desse ponto, ampliar as discussões, rever os valores empregados nas estimativas e expandir o leque de informações de alternativas de emprego do biogás.

Alerta:

Este programa não incluiu, nos seus pressupostos, considerações tributárias, que variam no país, diferindo entre Estados e municípios. Não foram incluídas considerações de depreciação ou atualização financeira nas estimativas de valores e nas suas somas. Não foram consideradas, ainda, limitações legais de transporte de gás ou inserção de energia elétrica na rede.

Figura 2 – Etapas para implantação de um projeto



Se o usuário deste programa ficou satisfeito com as perspectivas de rendimentos e, também com a idéia e a concepção básica do projeto de uso energético, deve passar para as fases seguintes desta simulação.

Estas atividades são, seguramente, mais onerosas e demandam um tempo de dedicação maior. Os idealizadores deste programa têm a esperança de que, com os exercícios propostos, encontre-se a motivação necessária para o esforço adicional que deve ser feito nos próximos estágios de desenvolvimento.

Todas as informações usadas, desde o fluxo dos resíduos, sua composição e consumos energéticos, entre outras, devem ser verificadas, confirmadas e detalhadas. Para essa fase é necessária a contratação de uma ou mais empresas de consultoria que farão as avaliações necessárias, assumindo, inclusive responsabilidades contratuais a esse respeito.

As providências nessa fase devem incluir, não só as verificações para a avaliação de viabilidade energética, mas também as que contabilizam os Créditos de Carbono que poderão ser gerados.

A correção dos dados e o dimensionamento do empreendimento não bastam para garantir o seu sucesso. O empreendedor deve estudar, também, os possíveis arranjos comerciais que viabilizarão o empreendimento. Critérios técnicos, financeiros, políticos e legais se somam para definir o arranjo com maior probabilidade de sucesso.

Instituições financeiras nacionais e internacionais procuram por bons projetos de Créditos de Carbono no Brasil. Um arranjo financeiro pode antecipar os recursos gerados pela venda de Créditos de Carbono de alguns anos de atividades, gerando recursos suficientes para financiar todo ou parte do projeto. A seleção dos equipamentos levará em conta os custos de eventuais importações e custos associados à sua manutenção. Também se deve levar em conta o tempo de vida útil do equipamento, seus períodos de manutenção e eventuais necessidades de reposição, seja parcial ou total.

Por fim, o que se espera com este programa é que a atividade de uso energético do biogás torne-se cada vez mais uma realidade, gerando receita, racionalizando o uso de energia e melhorando as condições sanitárias e ambientais no Brasil.

Especial atenção deve ser dada para a obtenção das licenças ambientais em âmbito Municipal, Estadual e Federal. Por se tratarem de projetos com explícito apelo ambiental, todos os cuidados exigidos pela lei devem ser rigorosamente observados.

Conteúdo do CD-ROM

Além do programa executável, este CD-ROM contém as seguintes pastas:

- Aterros
 - o Código Fonte,
 - o Manual,
 - o Instalação e
 - o Help.
- Efluentes e resíduo rural
 - o Código Fonte,
 - o Manual,
 - o Instalação e
 - o Help.
- Adobe

O arquivo executável que inicia a instalação automática do programa está na raiz do CD, o que faz com que toda vez que o CD-ROM é introduzido no computador, se inicie a rotina de instalação. Esta rotina necessita ser executada uma única vez.

Os arquivos do Visual Basic que compõem este programa de computador estão na respectiva pasta Código Fonte e suas pastas: imagens em bin e temp, TemPE em Debug e Release em obj.

A via digital deste manual encontra-se na respectiva pasta Manual.

Os arquivos executáveis que instalam o programa em seu computador estão na respectiva pasta Instalação.

Instalação do programa

Este programa foi desenvolvido no Brasil e seus realizadores preocuparam-se em viabilizar o seu uso pelo o público em geral, mesmo entre os não familiarizados com os métodos de estimativa de geração de biogás em aterros. A sua concepção foi inspirada nos programas de computador produzidos por instituições de pesquisa americanas e européias.

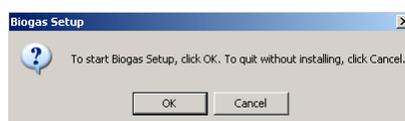
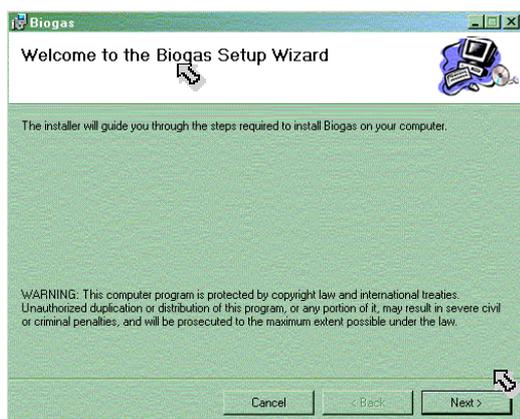
Quaisquer comentários sobre o seu uso e sugestões devem ser encaminhados para o endereço eletrônico: biogas@cetesbnet.sp.gov.br.

A instalação, confecção de cópias, distribuição e uso são livres, bastando apenas que sejam citados os seus realizadores e apoiadores.



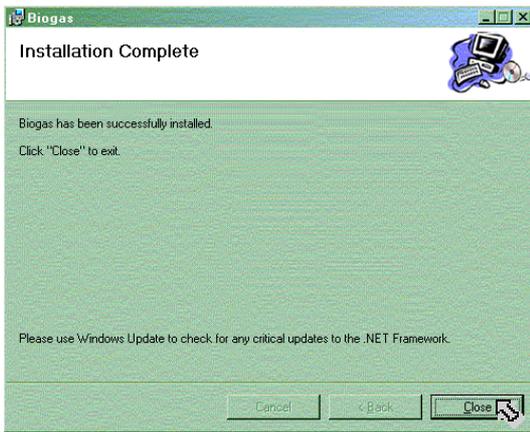
O programa de computador “Biogás, geração e uso energético” é de uso livre, elaborado em Visual Basic. Necessita da seguinte configuração mínima para sua instalação e funcionamento adequados:

- Computador Pentium II ou superior,
- Com pelo menos 400 MHz,
- 64 MB de memória RAM,
- Leitor de CD,
- 50 MB de espaço livre na memória,
- Sistema operacional Windows 98 ou superior e
- Impressora.



Ao clicar em instalar inicia-se o assistente de instalação do programa. Este auxiliar, em língua inglesa, demanda do usuário conhecimentos básicos desse idioma.

Ao identificar uma versão anterior deste programa, o instalador solicita que esta seja removida. Isso deve ser feito com o auxílio do aplicativo de instalar e remover programas em seu computador.



Em um período inferior a 5 minutos, o assistente de instalação deve atingir seu objetivo. Quando a mensagem “*Installation Complete*” é apresentada, deve ser encerrado.



Ao final, é instalado, na área de trabalho do computador, o ícone que permitirá iniciar o programa. Também será encontrada, na lista de programas, uma nova linha “BIOGÁS”, que também permite o seu início.

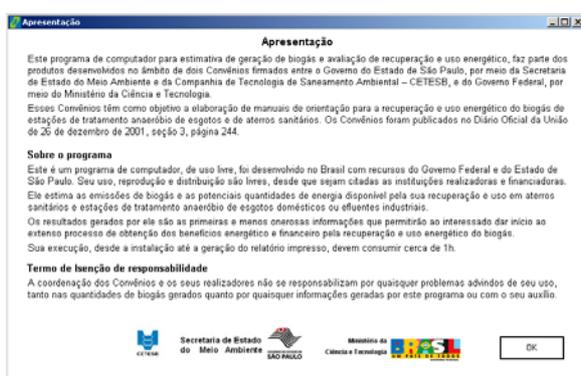
A sua melhor visualização foi planejada para computadores com a configuração 800 x 600 pixels.

Sua execução, desde a instalação até a geração do relatório impresso, deve consumir cerca de uma hora.

Apresentação – telas iniciais



Biogás, geração e uso energético –aterros, versão 1.0 é um programa de computador e faz parte dos produtos desenvolvidos pelos convênios firmados entre o Governo Federal, por intermédio do Ministério da Ciência e Tecnologia e o Governo do Estado de São Paulo, por intermédio da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB.



Esses convênios têm como objetivo a elaboração de manuais de orientação para uso de biogás de estações de tratamento anaeróbio de esgotos e de aterros e foram publicados no Diário Oficial da União de 26 de dezembro de 2001, seção 3, página 244.

Definições e limitações do programa

Este programa não incluiu nos seus pressupostos as considerações tributárias. Elas variam no país, diferindo entre os Estados.

Não estão incluídas considerações de depreciação ou atualização financeira nas estimativas de valores e nas suas somas.

Também não foram considerados todos os elementos de preparação de projetos no âmbito do Protocolo de Quioto. Trata-se de um mercado em formação, com decisões e regras ainda em construção no período de elaboração deste produto.



Para alterar algumas das definições do programa, o usuário deve clicar em **Ferramentas** e **Opções...**. Em seguida se tornarão acessíveis telas que permitirão a redefinição de alguns dos mais importantes parâmetros do programa.



Na tela **Demandas de Energia**, o usuário pode redefinir os pressupostos considerados pelos autores para estimar as demandas internas e externas de energia, alterando os valores nesses quadros. Cada nova instalação do programa deve ser acompanhada de uma revisão dos valores considerados nessa tela.

Tabela 1 – Demandas de energia:

Equipamento	Unidade	Quantidade
Energia elétrica consumida por unidade residencial	(kWh/mês)	200
Energia elétrica consumida por unidade comercial	(kWh/mês)	1.000
Energia calorífica consumida de GLP ¹ em residências	(Botijão P13 ² /mês)	1
Energia calorífica consumida de GLP em comércio	(Botijão P13/mês)	5

Tabela 2 – Potência elétrica de diferentes equipamentos:

Equipamento	Unidade	Potência
Geladeira	W	50
Lâmpada fluorescente	W	20
Ar condicionado de parede	W	1.500
Ventilador	W	130
Torneira elétrica	W	5.400

¹ GLP – Gás liquefeito de petróleo

² Botijão P13 – Botijão comum de GLP com 13 quilos

Aerador	W	73.500
Microondas	W	1.300
Lâmpada incandescente	W	100
Ar condicionado split	W	1.000
Chuveiro elétrico	W	3.200
Aquecedor elétrico	W	3.000

ALERTA:

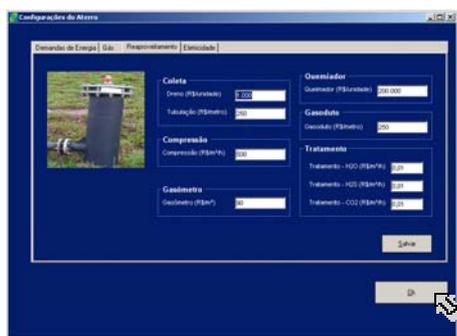
Antes da realização de um novo projeto é interessante que o usuário verifique as quantidades estimadas. Todavia, caso isso não seja feito, correções podem ser feitas, mesmo durante a execução do programa.



A tela **Gás** permite que sejam redefinidos os custos de uso final da energia do biogás na forma direta. Uma boa pesquisa de mercado pode elevar significativamente a qualidade das informações geradas por este programa.

Tabela 3 – Custo de diferentes equipamentos para uso de gás

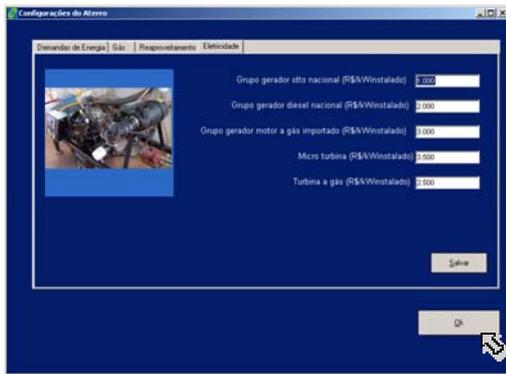
Equipamento	Custo de adaptação (R\$)	Custo de um novo (R\$)
Fogão	200	1.000
Caldeira a vapor	50.000	150.000
Evaporador de choroço	Não disponível	Não disponível
Iluminação a gás	3.000	5.000
Kit de uso de gás veicular	2.000	3.000



A tela **Reaproveitamento** permite que sejam redefinidos os valores estimados dos elementos de custo de reaproveitamento.

Tabela 4 – Custo de diferentes partes do sistema de reaproveitamento

Equipamento	Unidade	Valor
Dreno	R\$/unidade	1.000
Tubulação	R\$/m	250
Compressão	R\$/m ³ /h	500
Gasômetro	R\$/m ³	90
Gasoduto	R\$/m	250
Remoção de H ₂ O	R\$/m ³ /h	0,01
Remoção de H ₂ S	R\$/m ³ /h	0,01
Remoção de CO ₂	R\$/m ³ /h	0,01
Queimador	R\$/unidade	200.000



Assim como para o uso direto do gás, na tela **Eletricidade** é possível redefinir os custos de geração de energia elétrica por diferentes alternativas disponíveis no mercado no momento da sua execução.

Tabela 5 – Custo de diferentes equipamentos de geração de eletricidade

Equipamento	Valor (R\$/kW instalado)
Grupo gerador Otto nacional	1.000
Grupo gerador diesel nacional	2.000
Grupo gerador a gás importado	3.000
Micro-turbina	3.500
Turbina a gás	2.500

ALERTA:

Não foi considerado o tempo de vida do equipamento nem seu custo de operação e manutenção. Tais estimativas podem ser incluídas nos custos dos equipamentos, de forma simplificada.

O Estudo



O usuário deve escolher entre duas alternativas:

Novo Projeto, se deseja fazer um novo estudo ou

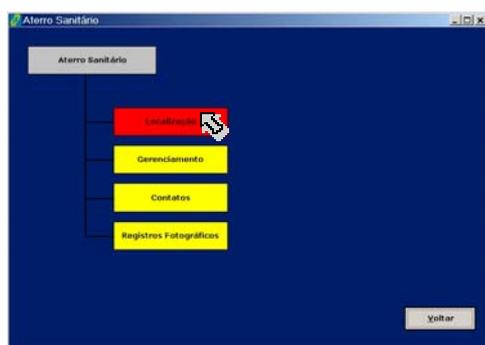
Abrir Projeto, para rever um feito anteriormente.

A opção **Sair** do programa encerra o aplicativo.

Características do aterro



Clicando em **Novo Projeto**, inicia-se a rotina de elaboração de um novo projeto. Deve-se executar o programa de computador na seqüência sugerida, de cima para baixo, iniciando em **Características do aterro**.



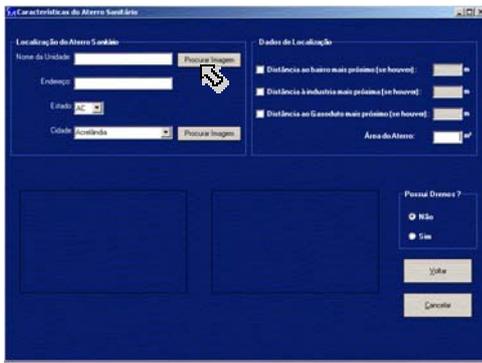
Para definir as características do aterro são necessárias informações de³:

- localização,
- gerenciamento,
- contatos e
- registros fotográficos

Acerca das informações sobre localização, recomenda-se o preenchimento de todos os campos, todavia, apenas as de localização do aterro são obrigatórias.

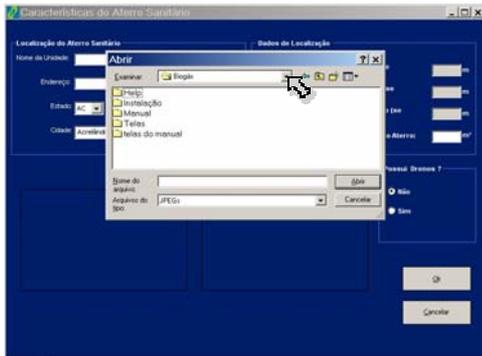
³ Legenda:

- Informação de preenchimento obrigatório
- Informação de preenchimento facultativo
- Informação já fornecida

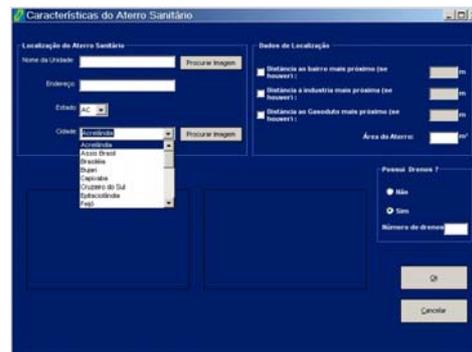
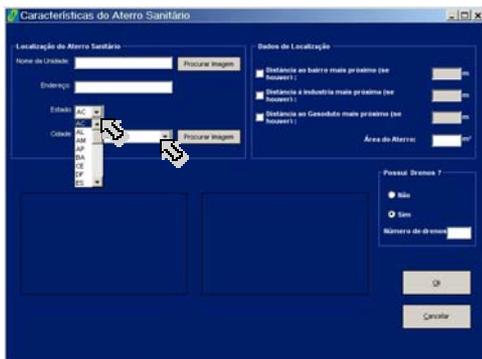


Algumas informações identificando o empreendimento são solicitadas:

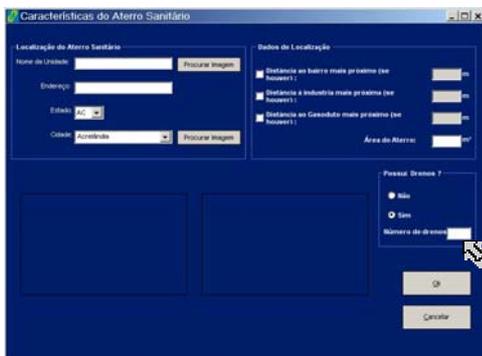
- a instituição responsável,
- distâncias entre o empreendimento e possíveis usuários da energia do gás, endereço e
- se houver disponibilidade, mapas na escala do Estado e do município podem ser somados a essas informações⁴.



Clicando em **Procurar imagem**, o aplicativo procura nas pastas e periféricos do computador o local onde se encontra instalado o arquivo da imagem correspondente ao mapa ou foto aérea.



Os arquivos internos do programa também oferecem ao usuário uma lista de municípios e Estados, para facilitar e dar consistência ao conjunto das informações do projeto.



Ainda na mesma tela, caso a resposta para a pergunta:

Possui drenos? seja **Não**, será feita uma estimativa do número ideal desse dispositivo⁵ considerando a área do aterro e a área de abrangência de cada dreno equivalente à área de raio igual a 50 m.

Caso a informação da existência de drenos no aterro seja **Sim**, será solicitado que seja

⁴ Há inúmeras fontes de obtenção dessa informação. Recomenda-se o uso do Servidor de Mapas da página de Internet da Fundação IBGE (www.ibge.gov.br). Com o auxílio de um editor de imagens pode-se produzir um mapa destacando o município onde se localiza o empreendimento no Estado.

Imagens de satélite do empreendimento, se disponíveis na Internet também podem ser usadas. Por fim, outra imagem recomendada, é a foto aérea do empreendimento. Esta pode ser obtida diretamente com o seu proprietário ou na correspondente página de Internet do empreendimento, se houver.

⁵ Veja a Equação 12 – Número de drenos (N_D), na página 44 deste manual.

informada a sua quantidade.

Veja mais na Equação 12 – Número de drenos (N_D), na página 44.

Apenas as informações da localização do aterro são obrigatórias. Todavia, o preenchimento das demais conferirá maior qualidade ao estudo.

Destacam-se as informações do gerenciamento, onde dados de usos de energia são solicitados.

A avaliação de gerenciamento é dividida em:

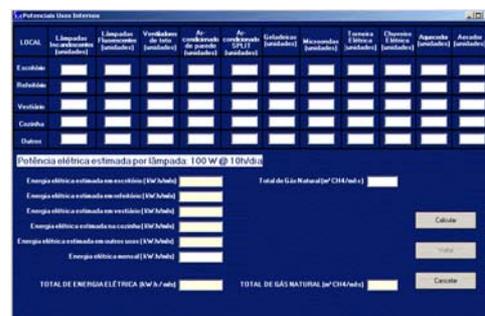
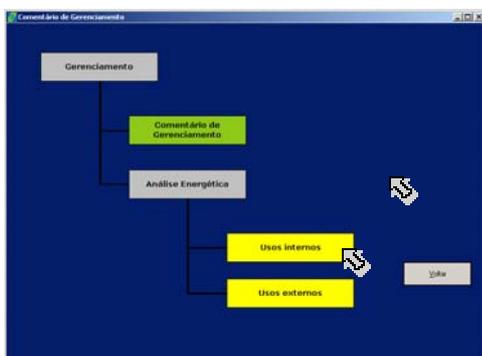
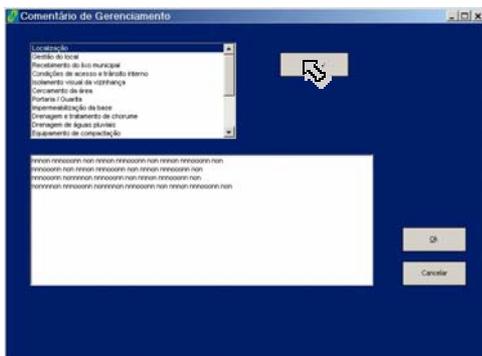
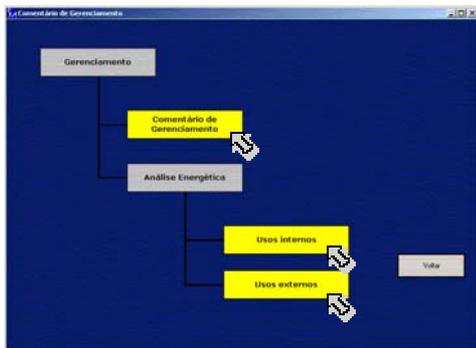
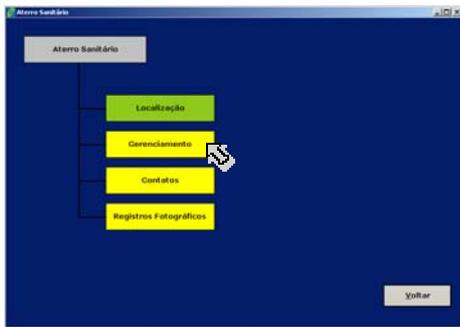
- **comentário de gerenciamento** e
- análise energética
 - **usos internos** e
 - **usos externos**

A análise das demandas de energia considera duas formas básicas:

- energia elétrica e
- gás

Para que sejam feitos os comentários sobre gerenciamento, foram listados 19 tópicos facultativos que poderão ser desenvolvidos. Parte desses tópicos foi inspirada no método empregado pela CETESB para a definição do Índice de Qualidade de Resíduos (IQR)⁶.

Cada comentário deve ser gravado para que, em seguida, se passe ao seguinte. Esses comentários comporão o corpo do relatório do empreendimento e permitindo a avaliação da consistência do conjunto das informações.



Caso o usuário não disponha de dados sobre consumos energéticos internos do

⁶ Veja a publicação utilizada na bibliografia deste manual.

empreendimento, uma planilha pode ser preenchida para a realização de uma estimativa desse consumo.

Caso o usuário disponha da informação totalizada por mês, basta preencher os campos correspondentes, deixando de lado todos os demais.

A informação sobre consumo de gás deve ser dada em $m^3CH_4/mês$ no campo reservado para esse fim.

Note que para cada equipamento e local são apresentadas as estimativas das condições de uso como potência elétrica, em W, e tempo de uso diário, em h. A totalização corresponde à soma das estimativas de energia consumida no mês.

Equação 1 – Estimativa da energia elétrica consumida no mês por diferentes equipamentos

$$Ec_{local.equipamento} = P.Qt.t.30$$

onde:

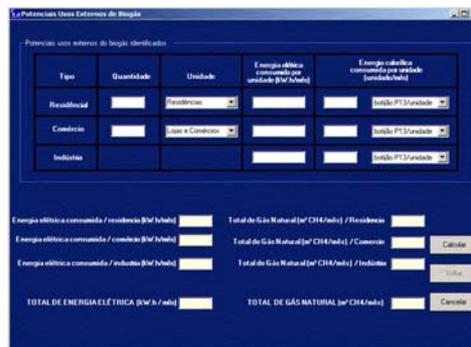
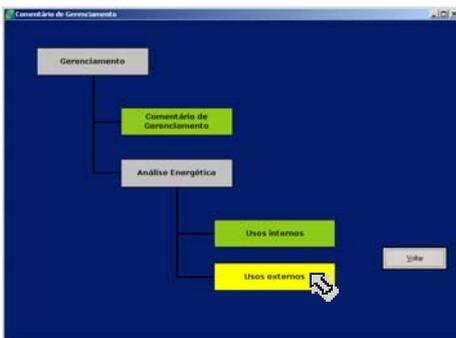
- $Ec_{local.equipamento}$: Energia elétrica consumida por mês no interior do aterro, por diferentes equipamentos e em diferentes locais [kWh/mês]
- P : Potência elétrica do equipamento no interior do aterro [W/unidade]
- Qt : Quantidade do equipamento no interior do aterro [unidades]
- t : Tempo de uso do equipamento por dia [h/dia]
- 30: Dias no mês [dias/mês]

Equação 2 – Estimativa do total de energia elétrica consumida por mês no interior do aterro

$$Et = \sum_{local} \cdot \sum_{equipamento} Ec$$

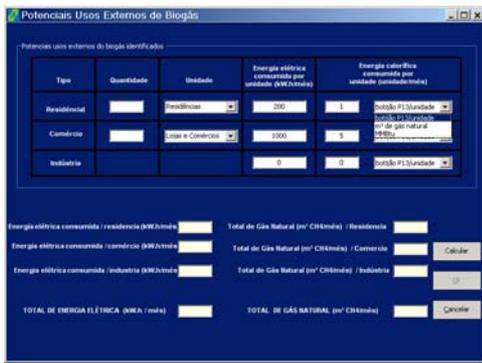
onde:

- Et : Energia total [kWh/mês]
- Ec : Energia consumida no mês [kWh/mês]



Os potenciais usos de energia externos ao empreendimento prevêem usos residenciais e industriais.

É apresentada uma estimativa inicial do consumo típico de energia elétrica de residências e estabelecimentos comerciais urbanos. Essa estimativa pode ser alterada pelo usuário.



Os campos de entrada de informação de energia calorífica por mês, permitem a escolha de três diferentes unidades. As conversões dessas informações são feitas automaticamente.

Essas quantidades de energia serão lembradas pelo programa, apoiando o usuário para que este, levando em conta suas necessidades de energia, escolha o melhor uso que fará do biogás de que dispõe.

Equação 3 – Energia elétrica consumida por mês na vizinhança do aterro

$$Ec_e = Q_R \cdot Ee_{cm}$$

onde:

- Ee_e : Energia elétrica consumida nas residências externas ao aterro [kWh/mês]
- Q_R : Quantidade de residências externas ao aterro [residência]
- Ee_{cm} : Energia elétrica consumida por residência [kWh/mês.res]

Equação 4 – Energia calorífica consumida por mês na vizinhança do aterro

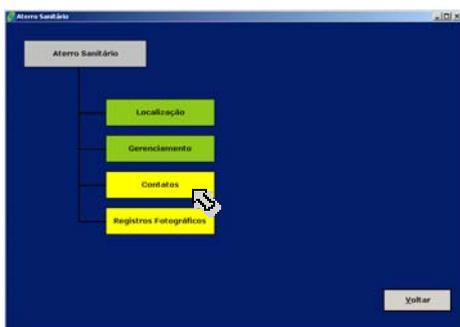
$$Ecc_e = Q_R \cdot Ec_{cm}$$

onde:

- Ecc_e : Energia calorífica consumida nas residências externas ao aterro [m^3CH_4 /mês]
- Q_R : Quantidade de residências externas ao aterro [residência]
- Ec_{cm} : Energia calorífica consumida por residência [m^3CH_4 /res.mês]

e

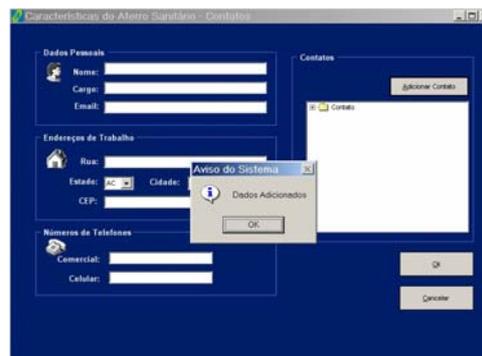
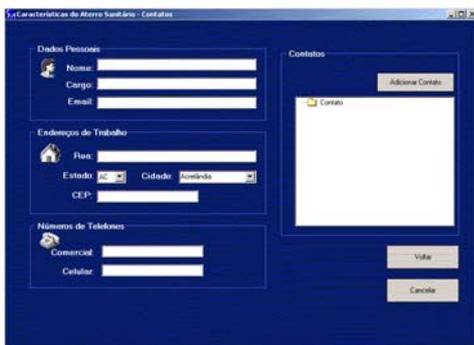
- 1 Botijão P13 = 16,456 m^3CH_4
- 1 MMBtu = 30,303 m^3CH_4



Informações sobre:

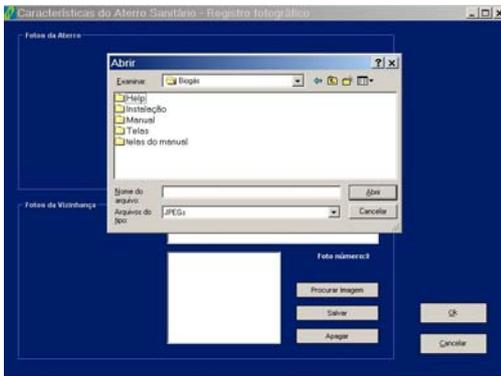
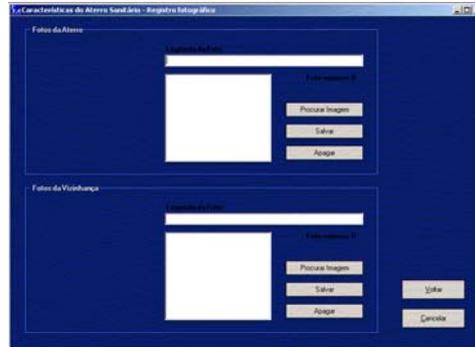
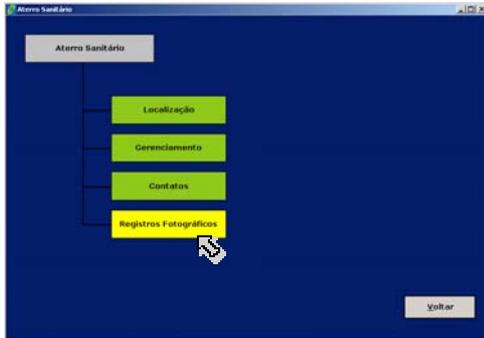
- contatos e
- registros fotográficos

são facultativas. Todavia, recomenda-se o seu preenchimento.



Os dados acerca dos técnicos e administradores responsáveis pelas informações podem ser armazenados pelo programa. Eles constarão do relatório do projeto.

Ao final de cada inclusão clique em **Adicionar Contato**. Em seguida será exibida a mensagem **Dados Adicionados**.



Até oito fotos digitais de áreas internas e outras oito fotos digitais de áreas externas podem ser incluídas na análise da ETAE.

As fotos que podem ter legendas, deverão ser armazenadas em disquetes, cartões de memória, CD ou no disco rígido do computador. Seu acesso se dá clicando em **Procurar imagem**.

Estimativa de geração de biogás no aterro – entrada de dados



Este programa emprega um modelo matemático muito usado pela United States Environmental Protection Agency – USEPA⁷ para estimar a geração de metano nos aterros nos Estados Unidos.

⁷ $\int \frac{dQ}{dt} = kR_x L_0$ é equação diferencial de primeira ordem, cuja integral é igual a $Q_x = k.R_x.L_0.e^{-k(x-T)}$

Como se sabe, vários outros modelos podem ser empregados para esse mesmo fim. A escolha deste se deveu à simplicidade para a aplicação e à desejada confiabilidade nos resultados, em consequência da sua relativa popularidade.

De acordo com esse modelo, onde ocorre o processo de degradação anaeróbia, a estimativa de geração de metano é feita para cada porção de resíduo depositada no aterro. No primeiro ano ocorre o maior nível de geração, reduzindo-se com o passar dos anos, com a sua intensidade variando em função da composição do resíduo e da umidade do local. Este modelo é dado pela Equação 5:

Equação 5 – Estimativa da vazão (Q_x) de metano no ano considerado^{8 9}

$$Q_x = k \cdot R_x \cdot L_0 \cdot e^{-k(x-T)}$$

onde:

Q_x :	vazão de metano gerado no ano x pelo RSD depositado no ano T	[m ³ CH ₄ /ano]
k :	constante de decaimento	[1/ano]
R_x :	fluxo de resíduos no ano x	[kg _{RSD}]
L_0 :	potencial de geração de metano	[m ³ biogás/kg RSD]
T :	ano de deposição do resíduo no aterro	[ano]
x :	ano atual	[ano]
e		
RSD :	resíduo sólido domiciliar	

Na prática, a Equação 5 indica que as vazões (Q_x) de biogás são máximas no primeiro ano, reduzindo ano a ano. Essas emissões serão maiores quanto maiores forem os valores de k , R_x e L_0 . Da mesma maneira, o decaimento será mais acentuado quanto maiores forem k e t .

A avaliação de R_x deve ter sido feita anteriormente e é um dos mais importantes elementos dessa estimativa.

A literatura internacional fornece os valores de k e L_0 que são usados nas estimativas feitas no Brasil atualmente.

São sugeridos os valores de k e L_0 , que podem ser facilmente editados e substituídos por outras estimativas de maior qualidade.

Note que, de acordo com este modelo, quanto maior a idade do resíduo aterrado ($x - T$), menor será o valor da vazão Q_x .

⁸ Os autores deste programa desconhecem a existência de pesquisas no Brasil a respeito dos valores k e L_0 . As estatísticas a respeito de geração de resíduos divergem até mesmo quanto ao critério de fracionamento para determinação da composição do resíduo. Os autores também reconhecem a escassez de dados a respeito da composição, das quantidades geradas e dos fatores que influenciam na variação da composição. Dentre as publicações brasileiras mais recentes: “Pesquisa Nacional de Saneamento Básico”, de 2002, e “Atlas de Saneamento”, de 2004, ambas da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (www.ibge.gov.br), informam a taxa de coleta de resíduos e o tipo de local de disposição. As informações a respeito das taxas de coleta de resíduos divergem com as da CETESB no Estado de São Paulo e sugerem a necessidade de revisão das mesmas no restante do Brasil. Aquelas a respeito do tipo de local de disposição carecem da definição do que vem a ser cada um dos tipos de locais de disposição e de um critério balizador para a classificação desses locais em todo o país.

⁹ No aterro não se observa a geração de metano puro. Nele é encontrado o biogás, mistura de gases rica em metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). A concentração de metano varia entre 50 e 60%. Qualquer medição deve levar tal fato em consideração. A avaliação dessa concentração é simples, bastando para isso que sejam coletadas determinadas quantidades do biogás determinando-se a fração de metano. Existem disponíveis por meio de importação, medidores portáteis da concentração de metano no biogás.

A estimativa de soma das vazões ($\sum Q_x$) de metano é dada pela Equação 6, que representa a soma das vazões de metano correspondentes às quantidades de resíduo depositadas no aterro ano a ano.

Equação 6 – Soma ($\sum Q_x$) das estimativas das vazões de metano no ano considerado

$$\sum Q_x = F \cdot k \cdot L_0 \sum R_x \cdot e^{-k(x-T)}$$

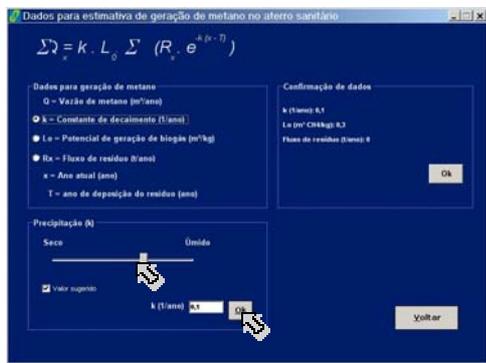
onde:

$\sum Q_x$: soma das n estimativas de vazões de metano [m³CH₄]

Essa estimativa é feita ano a ano, obtendo-se assim a emissão de metano do aterro durante toda a sua vida útil e pelos anos seguintes após o seu fechamento.

Para fazer esta estimativa o usuário deve ter em mãos alguns registros da operação do aterro.

Estimativa da taxa de decaimento (k)¹⁰

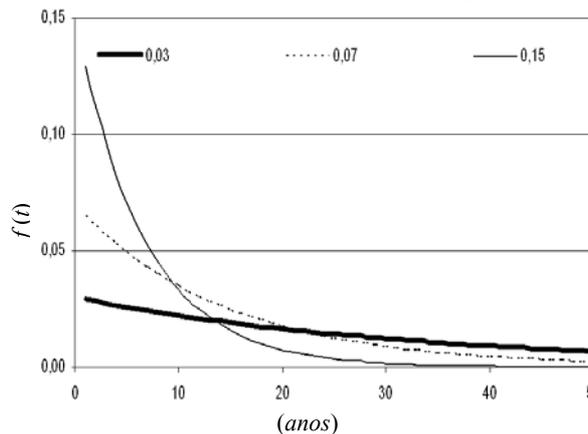


A taxa de decaimento varia entre 0,001 em climas mais secos e 0,15 ao ano em climas mais úmidos.

Caso essa estimativa não seja conhecida, clique em **valor sugerido**, que ainda pode ser editado.

Clique **OK** para encerrar esta estimativa.

$f(t) = k \cdot e^{-kt}$ para $f(t)$ vs t
 $k = 0,03; 0,07$ e $0,15$ e
 $0 < t < 50$ em anos



Influência da taxa de decaimento (k) na estimativa de emissão de metano (Equação 5, da página 31).

Note que, quanto menor o valor de k , menor é a inclinação e área sob a curva e, portanto, é menor a estimativa de emissão de metano no aterro. Por outro lado, o k maior implica maior intensidade da atividade metanogênica.

k grande é esperado em clima quente e úmido.
 k pequeno é esperado em clima frio e seco.

Este gráfico não é exibido pelo programa.

¹⁰ Veja a Tabela 9 – Valores de k sugeridos correspondentes à precipitação anual e à degradabilidade do resíduo, na página 53 e a Tabela 10 – Valores sugeridos L_0 e k , na página 53.

Estimativa do potencial de geração de biogás (L_0)¹¹

Este valor varia entre 0,001, para resíduos pouco orgânicos, e 0,312 $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{kg}_{\text{RSD}}$, para resíduos muito orgânicos.

Caso essa estimativa não seja conhecida, clique em **valor sugerido**, que pode ser editado.

Clique **OK** para encerrar esta estimativa.

Estimativa do fluxo de resíduos (R_x)

A estimativa de geração de metano ($\sum Q_x$) pode ser feita de diferentes maneiras, em relação à estimativa do fluxo de resíduos (R_x):

Dados de população – Não se conhece o fluxo de resíduos do aterro, mas se conhece a população atendida pelo serviço de coleta de resíduos ($Pop \propto R_x$)¹². Esta estimativa é a menos indicada, pois implica a estimativa de geração de resíduos feita a partir da população residente urbana dos municípios atendidos pelo aterro.

Dados históricos do fluxo de resíduos – São conhecidas as quantidades de resíduos (R_x) depositadas no aterro desde a sua abertura.

Dados atuais do fluxo de resíduos – Não é conhecida a informação acima, apenas o fluxo atual de resíduos ($R_0 \propto R_x$)¹³.

Voltando para a tela acima: informe os anos de abertura e fechamento do aterro.

Caso a resposta para a pergunta **Conhece o histórico do aterro?** seja **Não**, inicia-se a seguinte estimativa:

Estimativa de R_x (com dados de população)

Esta estimativa deverá ser feita caso a resposta para a pergunta

Conhece o histórico do aterro?

seja **Não**.

- Informe a estimativa da taxa de crescimento populacional no período entre a abertura e o fechamento do aterro.

¹¹ Veja a Tabela 10 – Valores sugeridos L_0 e k , na página 53.

¹² ($Pop \propto R_x$) = existe uma relação de proporcionalidade entre a população atendida (Pop) e o fluxo de resíduos (R_x).

¹³ ($R_0 \propto R_x$) = existe uma relação de proporcionalidade entre o fluxo atual de resíduos (R_0) e o fluxo de resíduos (R_x).

- Informe a estimativa da taxa de geração *per capita* de resíduos. Não havendo dados municipais ou regionais, veja a Tabela 8 – Geração média de resíduos por habitante por dia, na página 53 deste manual.
- Informe a estimativa da fração da população que é atendida pelo serviço de coleta de resíduos.
- Informe a população do município no ano corrente¹⁴.

Estas informações podem ser obtidas junto à administração do aterro, junto ao município ou em publicações da Fundação IBGE.

Observe que o clicando em **Valores sugeridos**, surgem nos devidos campos estimativas acerca da taxa de crescimento populacional, da taxa anual de geração de resíduos por habitante e da fração da população atendida pelo serviço de coleta de resíduos no município. Estas sugestões podem ser editadas pelo usuário.

Note que é considerada a população do ano atual e apenas essa pode ser informada.

A estimativa de disposição de resíduos (R_x) é feita a partir da seguinte equação:

Equação 7 – Estimativa de disposição de resíduos (R_x)

$$R_x = Pop_x \cdot T_{RSD} \cdot T_{coleta}$$

onde:

R_x :	fluxo de resíduos no ano x	[t/ano]
Pop_x :	População atendida pelo aterro no ano x	[hab]
T_{RSD} :	taxa de geração de resíduos	[t _{RSD} /hab.ano]
T_{coleta} :	taxa de coleta de RSD	[%]

A estimativa da população (Pop_x) é feita a partir da seguinte equação:

Equação 8 – Estimativa do crescimento populacional (Pop_x)

$$Pop_x = Pop_0 \cdot (1 + i)^{x - ano_0}$$

onde:

Pop_x :	População atendida pelo aterro no ano x	[hab]
Pop_0 :	População atendida pelo aterro no ano atual	[hab]
i :	taxa de crescimento populacional no período considerado	[%]
x :	ano	[ano]
ano_0	ano atual	[ano]

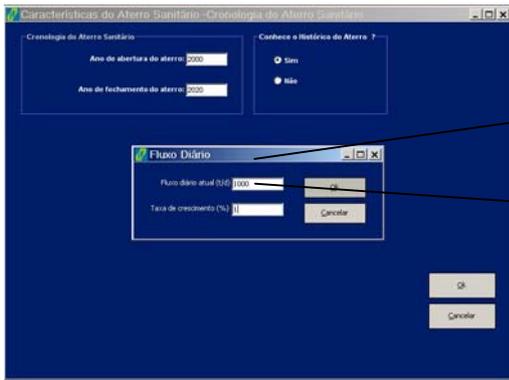
São sugeridos alguns valores que podem ser editados:

i :	1,7	[ano ⁻¹]
T_{RSD} :	0,183	[t _{RSD} /hab.ano]
T_{coleta} :	88	[%]

Caso a resposta para a pergunta **Conhece o histórico do aterro?** seja **Sim**, a estimativa poderá ser feita de outras duas diferentes maneiras:

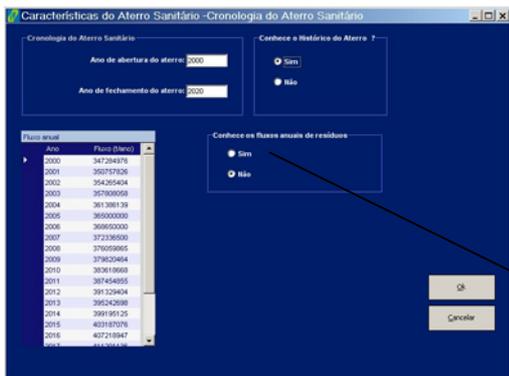
¹⁴ Observe a data em vigor no calendário interno do seu computador. Esse será o ano considerado.

Estimativa de R_x (com dados atuais do fluxo de resíduos)¹⁵



Informe:

- a quantidade depositada diariamente no ano atual, e
- a estimativa da taxa de crescimento anual do fluxo de resíduos (R_x) no período considerado entre o ano de abertura e o ano de fechamento do aterro.



Automaticamente, é apresentada uma tabela com a estimativa anual de fluxo de resíduos, desde a sua abertura até o seu fechamento.

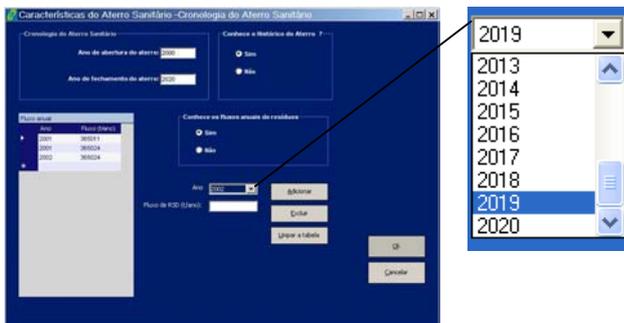
Essa estimativa do fluxo de resíduos é empregada para o caso da resposta (padrão) para a pergunta:

Conhece os fluxos anuais de resíduos?

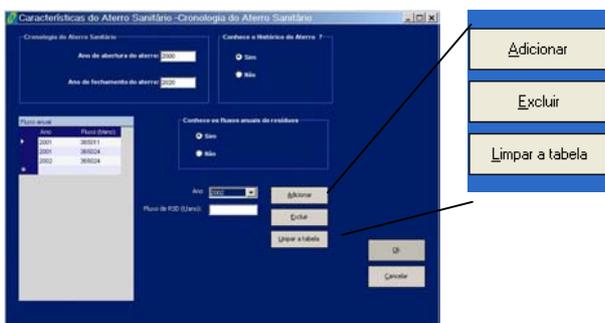
for **Não**.

Caso a resposta para a pergunta **Conhece os fluxos anuais de resíduos?**, seja **Sim**, a estimativa será a seguinte:

Estimativa de R_x (com dados históricos do fluxo de resíduos)¹⁶



A estimativa anterior é desprezada, devendo-se preencher completamente a tabela de **Fluxo anual** de resíduos.



Empregando os comandos disponíveis, pode-se **Adicionar** as quantidades de cada ano.

Pode-se **Excluir** essas quantidades e

pode-se ainda **Limpar a tabela**.

Concluído o preenchimento da tabela acione **OK**.

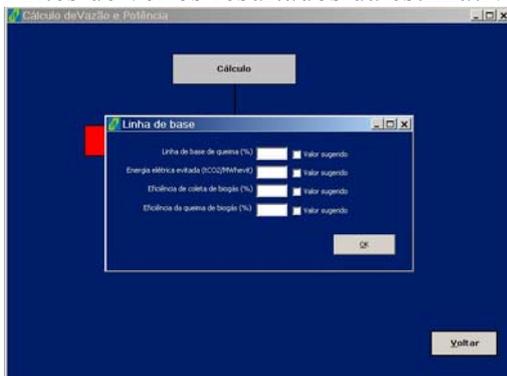
¹⁵ Este método de estimativa é de qualidade intermediária se comparado com os outros dois.

¹⁶ Esta estimativa é a de melhor qualidade, pois leva em conta as quantidades reais de resíduos depositadas no aterro a cada ano.

Estimativa de geração de biogás no aterro – resultados

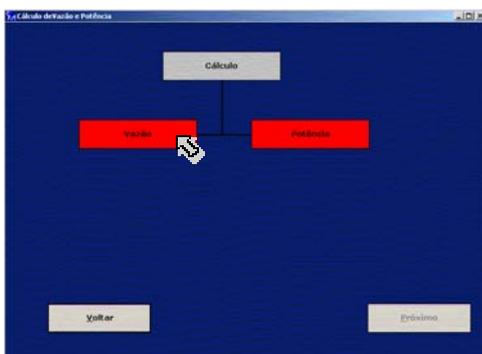


Antes de ver os resultados da estimativa informe:



- a linha de base (taxa de queima) de metano no aterro¹⁷,
- emissão de gás de efeito estufa evitada pela economia de energia elétrica gerada por fontes não renováveis, e
- eficiência de coleta de metano do aterro¹⁸ e
- eficiência de queima do metano.

Caso essas estimativas não sejam conhecidas, clique em **valor sugerido**.

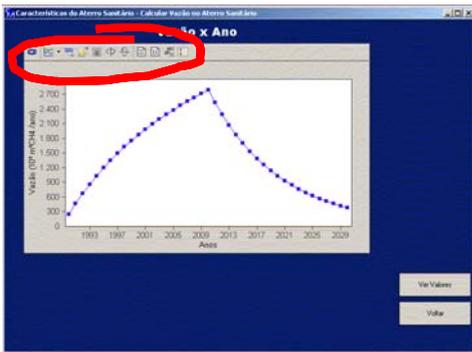


Com os dados fornecidos nas telas anteriores, o usuário tem a estimativa das emissões de metano no período considerado. Essas informações são fornecidas na forma de gráfico ou de planilha com os resultados numéricos que podem ser exportados para uma outra planilha eletrônica. Ambos podem ter suas formas alteradas para melhor visualização e interpretação.

Essa estimativa será mais precisa, quanto mais precisas forem as informações fornecidas anteriormente. Todavia, a escassez de pesquisas no Brasil sobre as emissões de metano nos processos de degradação anaeróbia de resíduos sólidos, sugere que outros meios devem ser procurados para confirmar essas primeiras estimativas.

¹⁷ Um recurso para esta estimativa é a contagem de quantos drenos há e quantos deles queimam regularmente metano.

¹⁸ O sistema de drenagem deve ser suficiente para drenar os gases sem provocar elevação ou abaixamento excessivo da pressão interna do aterro. Caso essa pressão seja excessivamente baixa, ocorrerá entrada de ar no seu interior. Isso pode provocar a interrupção da atividade anaeróbia, que só ocorre na ausência de oxigênio. Além disso, também é possível ocorrer mistura de oxigênio com o metano do biogás no sistema de drenagem, gerando risco de explosões. Por outro lado, a pressão positiva, pode provocar instabilidade, além de vazamentos por frestas.



Note que o gráfico pode ser alterado para a forma mais conveniente ao interesse do usuário. A imagem pode ser copiada (procure por uma máquina fotográfica na tela do gráfico) e com um comando de colar, incluída em um texto.

Ano	Potência (kW)	Pot. w/A	Pot. MW(m³/a)
1993	204	23	805
1994	281	45	1326
1995	405	64	1826
1996	725	83	2473
1997	874	100	2981
1998	1012	116	3453
1999	1141	130	3893
2000	1281	144	4304
2001	1374	157	4693
2002	1420	163	5051
2003	1580	180	5393
2004	1675	191	5716
2005	1765	201	6022
2006	1850	211	6314
2007	1932	221	6592
2008	2010	229	6859
2009	2086	238	7116
2010	2158	246	7364
2011	2223	254	7604
2012	2287	262	7837
2013	2351	270	8064

Os dados gerados podem ser conferidos, um a um, ou exportados para uma planilha eletrônica.

A Equação 9 é empregada para converter a vazão de metano nos diferentes anos (Q_x) em potência disponível (P_x). Essa informação é útil para se ter uma idéia da ordem de grandeza dos equipamentos de geração de energia elétrica que poderão ser empregados.



Verifique a potência disponível.

A estimativa da potência disponível (P_x) é feita a partir da seguinte equação:

Equação 9 – Potência disponível ao ano

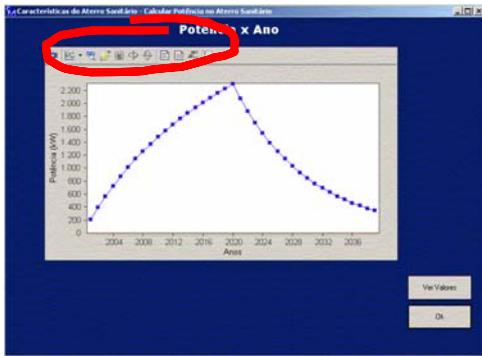
$$P_x = \frac{Q_x P_{c(\text{metano})}}{31.536.000} E_c \frac{k}{1000}$$

onde:

- | | | |
|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| P_x : | Potência disponível a cada ano | [kW] |
| Q_x : | Vazão de metano a cada ano | [m ³ CH ₄ /ano] |
| $P_{c(\text{metano})}$: | Poder calorífico do metano | [J/m ³ CH ₄] |
| E_c : | Eficiência de coleta de gases | [%] |
| 31.536.000: | 31.536.000s = 1 ano | [s/ano] |
| k : | $k = 1.000$ | [adimensional] |
| e : | | |

$P_{c(\text{metano})}$: igual a $35,53 \cdot 10^6$
 E_c : informada pelo usuário
 e lembrando que $[J/s] = [W]$

$[J/m^3CH_4]$ e
 $[%]$



Note que, assim como no gráfico de vazão de biogás, o gráfico da potência pode ser alterado para a forma mais conveniente ao interesse do usuário.

ano	Vazão (m³/ano)	Produção	Litros de gás
1981	241	100000	1620000
1982	483	200000	3240000
1983	689	283429	4587574
1984	958	389107	6236862
1985	1324	538375	8598095
1986	1836	746794	11848897
1987	2554	1036430	16500000
1988	3553	1432524	22690000
1989	4900	1980000	31200000
1990	6680	2730000	42900000
1991	9100	3750000	59400000
1992	12400	5100000	80400000
1993	16900	6900000	109200000
1994	22900	9300000	146400000
1995	31000	12600000	199200000
1996	41800	17200000	271200000
1997	56200	23500000	370800000
1998	75400	32000000	504000000
1999	101000	43500000	684000000
2000	135000	58500000	924000000
2001	181000	79500000	1254000000
2002	243000	107000000	1692000000
2003	326000	144000000	2274000000
2004	435000	195000000	3060000000
2005	584000	265000000	4176000000
2006	782000	360000000	5664000000
2007	1050000	485000000	7590000000
2008	1410000	655000000	10380000000
2009	1880000	885000000	13920000000
2010	2500000	1190000000	18720000000
2011	3320000	1600000000	25200000000
2012	4420000	2150000000	33900000000
2013	5880000	2900000000	45600000000
2014	7850000	3900000000	61200000000

Os dados gerados podem ser checados, um a um, ou exportados para uma planilha eletrônica.

Energia disponível e estimativa de uso



Estime os potenciais usos da energia do biogás.

A disponibilidade de gás no aterro implica disponibilidade de energia. A sua vazão define a potência do equipamento que pode ser instalado. Essas duas informações são necessárias para que se realize a estimativa de uso.

A estimativa da energia disponível ($E_{disponível}$) é feita a partir da seguinte equação:

Equação 10 – Energia disponível

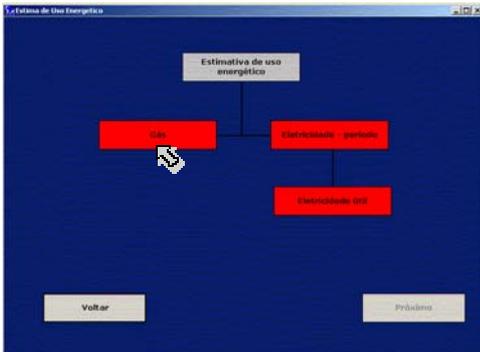
$$E_{disponível} = P_x \cdot \frac{1}{365.24}$$

onde:

$E_{disponível}$:	Energia disponível	$[m^3CH_4]$ ou $[kWh]$
P_x :	Potência disponível	$[m^3CH_4/h]$ ou $[kW]$
365:	dias por ano	$[dia/ano]$
24:	horas por dia	$[h/dia]$

Considerando as demandas interna, externa e expectativa de venda, tanto de gás, quanto de energia elétrica, crie o perfil do seu empreendimento energético.

Energia como gás combustível.



Verifique a necessidade de gás. Em seguida, estime a demanda de energia elétrica.

A energia disponível ($E_{disponível}$) no aterro é convertida em energia útil ($E_{útil}$). A condição $E_{disponível} > E_{útil}$ é verificada e respeitada.

Outra condição da $E_{útil}$ é dada pela equação a seguir:

Equação 11 – Energia útil, energia para uso como gás e energia para uso como eletricidade

$$E_{útil} = E_{uso\ gás} + E_{elétrica}$$

onde:

$E_{útil}$:	Energia útil	$[m^3CH_4/ano]$
$E_{uso\ gás}$:	Energia para uso como gás combustível	$[m^3CH_4/ano]$
$E_{elétrica}$:	Energia para uso como eletricidade	$[kWh/ano]$

Da mesma forma $E_{útil} > E_{uso\ gás} + E_{elétrica}$, ou seja, a soma da energia usada como gás ($E_{uso\ gás}$) somada à energia usada como eletricidade ($E_{elétrica}$) não é superior à energia útil ($E_{útil}$).

Potencial disponível máximo: 2363,46 kW
Máximo gás disponível: 2997,78 10³ m³ CH₄/ano
Ocorre no ano: 2018

Uso do biogás

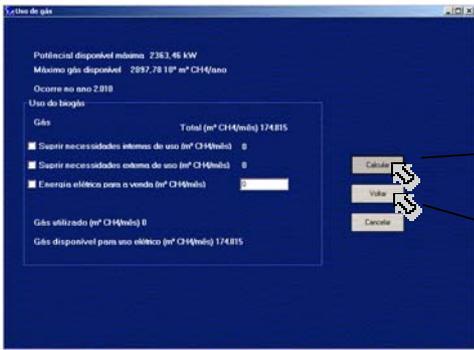
Gás Total (m³ CH₄/ano): 174815

- Disponibilidades internas de uso (m³ CH₄/ano): 0
- Disponibilidades externas de uso (m³ CH₄/ano): 0
- Energia elétrica para a venda (m³ CH₄/ano): [campo de entrada]

Gás utilizado (m³ CH₄/ano): 0
Gás disponível para uso elétrico (m³ CH₄/ano): 174815

Calcular Voltar Cancelar

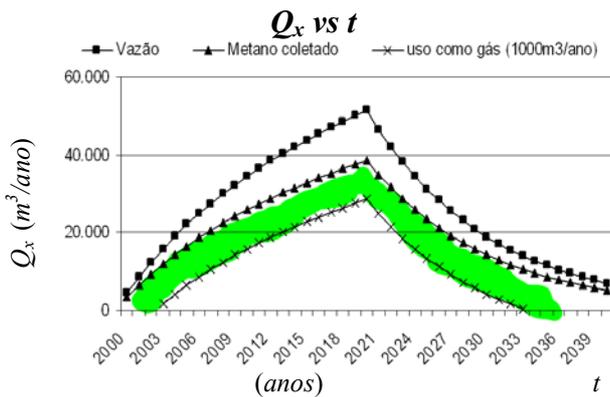
Nesta tela, o usuário pode experimentar diferentes usos, que são definidos pela quantidade de gás disponível.



Deve-se estimar a quantidade de energia, na forma de gás, que será usada mensalmente.

- O comando **Calcular** auxilia na verificação da distribuição das quantidades, quantas vezes forem necessárias.
- Ao final, clicar em **Voltar**.

A quantidade de gás para uso como combustível é subtraída do total, como ilustra a figura abaixo:



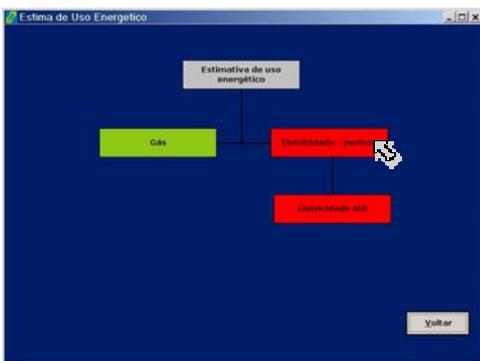
Ao lado, a curva superior representa a vazão de gás gerado, a curva intermediária representa a vazão de gás coletado (75% neste exemplo) e a curva inferior representa o saldo de gás para queima ou outra aplicação qualquer.

A superfície entre a curva intermediária e a inferior corresponde à quantidade de energia que será usada como gás combustível.

Este gráfico não é exibido pelo programa

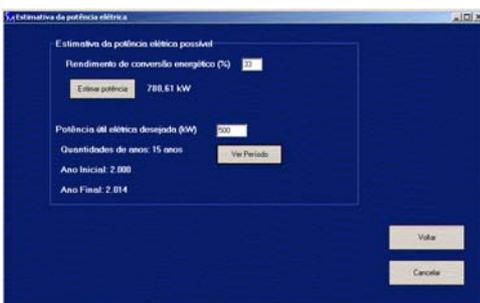
A quantidade de gás para uso como combustível é subtraída do total.

Potência elétrica disponível e período possível.



Em seguida, estima-se a demanda de energia elétrica em dois estágios:

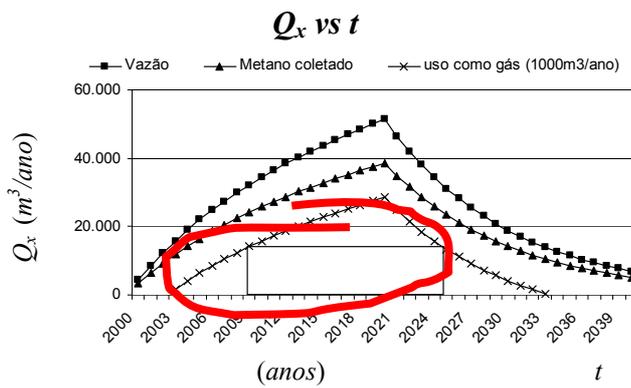
1. Estimativa da potência elétrica e do período possível.
2. Estimativa da quantidade de energia.



Definindo a eficiência de conversão de energia elétrica, sabe-se a potência máxima possível.

A potência elétrica útil desejada é definida em função da máxima possível e da eficiência da máquina térmica empregada.

O período possível é definido automaticamente.

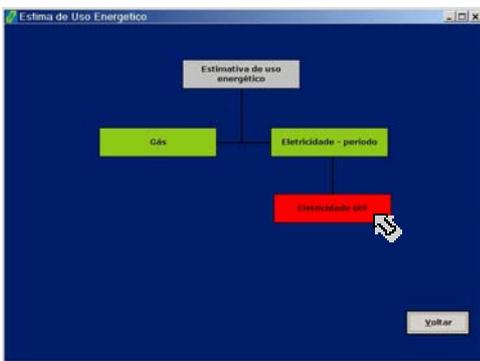


A quantidade de gás necessária para gerar a energia elétrica correspondente é subtraída do total de gás disponível, que já teve subtraída a quantidade a ser usada como gás combustível.

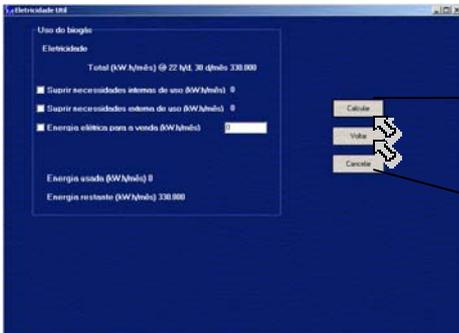
Ao lado, a secção reta inferior representa a quantidade de gás necessária para a geração elétrica e os seus extremos definem o período de disponibilidade dessa energia.

Este gráfico não é exibido pelo programa

Geração de energia elétrica.



A estimativa seguinte é similar àquela feita para as necessidades de gás. O programa permite a consideração das demandas internas, externas e expectativa de vendas para criar o perfil do empreendimento energético.



Deve-se estimar a quantidade de energia elétrica, que será usada mensalmente.

- O comando **Calcular** permite a verificação da distribuição das quantidades, quantas vezes forem necessárias.
- Ao final clicar em **Voltar**.

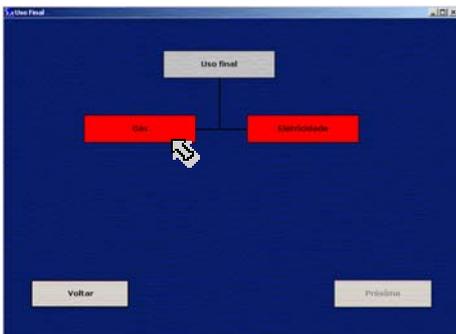
Escolha da tecnologia de uso energético



Definidas as quantidades de energia, pode-se escolher a tecnologia de uso energético. Para o uso do gás como combustível, escolhe-se entre a adaptação de um equipamento existente ou a aquisição de um novo. As tecnologias listadas para o uso direto do gás incluem fogões para cocção, caldeiras a gás ou adaptadas para o seu uso, kit de uso veicular de gás, iluminação a gás, sistema de tratamento de chorume por evaporação ou outra tecnologia não incluída nesta lista.

As tecnologias para uso do gás como energia elétrica incluem grupos geradores com motor Otto nacional, grupos geradores com motor diesel nacional, grupos geradores com motor a gás importado, microturbina a gás, turbina a gás ou outra tecnologia não incluída nesta lista.

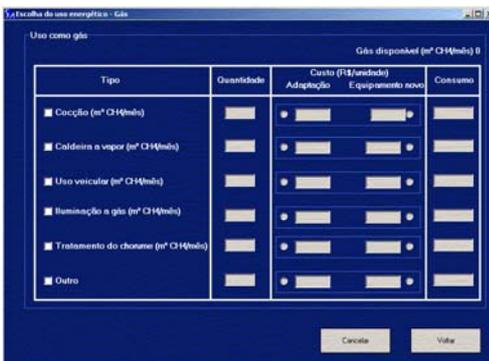
Uso do gás como combustível para queima direta



A escolha da tecnologia de geração energética de uso final divide-se entre as possíveis aplicações de:

- gás combustível e
- energia elétrica.

Inicia-se, obrigatoriamente, essa escolha pelas possíveis tecnologias de uso de gás.



Na tela de usos de gás como combustível, são listadas algumas tecnologias e suas estimativas de custos de:

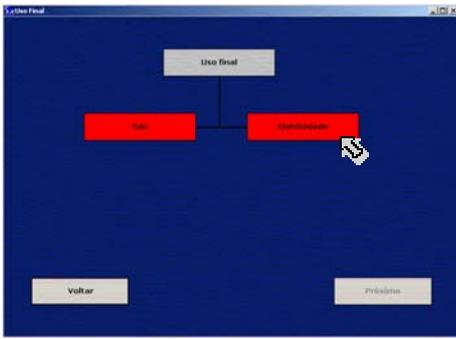
- investimento em equipamento novo e
- investimento para adaptação de equipamento usado.

Esses preços são sugestões rudimentares daqueles que se espera que sejam praticados no Brasil.

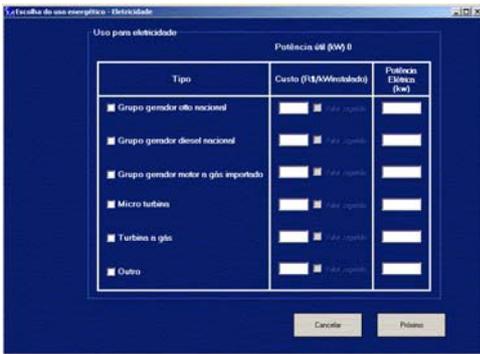
A pouca precisão desses preços é explicada pela ausência dessa prática e pelas incertezas no fornecimento ou adaptação de produtos para o uso do biogás.

Esses valores podem ser aperfeiçoados pelo usuário na rotina de **Configurações do Aterro**, na tela de **Reaproveitamento**.

Uso do gás para geração de eletricidade



Concluída a definição da tecnologia de uso de gás combustível, passa-se à definição da tecnologia de geração de energia elétrica.



Da mesma forma, na tela de geração de energia elétrica são listadas algumas tecnologias e suas estimativas de custos de investimento em equipamento novo.

Esses preços são sugestões rudimentares daqueles que se espera sejam praticados no Brasil.

A pouca precisão desses preços é explicada pela ausência dessa prática e pelas incertezas no fornecimento ou adaptação de produtos para o uso do biogás.

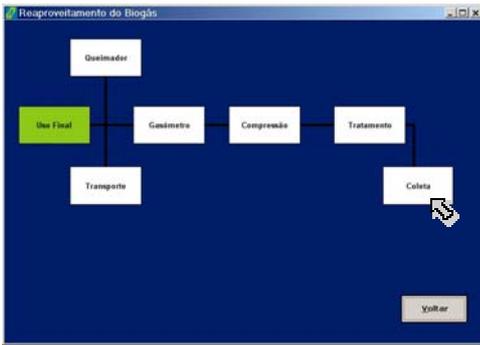
Dimensionamento simplificado da implantação do projeto de uso de biogás



A seguir, fazendo uma série de simplificações, este programa auxilia o usuário a esboçar o dimensionamento de um projeto de recuperação e uso energético de biogás. São considerados elementos como drenos e sistema de coleta, sistema de tratamento e purificação, compressão, armazenamento, transporte e queima do biogás.

Os principais pressupostos desse dimensionamento são expostos neste manual de forma que o usuário possa modificá-los e aperfeiçoá-los.

Coleta



Caso tenha sido informado o número de drenos do aterro, este será considerado de acordo com a Tabela 6 – Número de drenos (N_D), abaixo, caso contrário, foi simulada uma distribuição uniforme de drenos, separados entre si por distâncias de 50m. Considera-se um raio de abrangência de captação de biogás igual a 25m por dreno.

A estimativa do número de drenos (N_D) é feita a partir da seguinte equação:

Equação 12 – Número de drenos (N_D)

$$N_D = \frac{A_A}{A_D}$$

onde

- A_A : Área do aterro [m²]
- A_D : Área de abrangência de um dreno [m²]
- N_D : Número de drenos [drenos]

e

Equação 13 – Área de abrangência do dreno (A_D)

$$A_D = \pi \cdot r^2$$

onde

- π : 3,1415
- r : raio de abrangência do dreno [m]

A respeito da informação do número de drenos solicitada anteriormente, na tela de características do aterro, é feita a seguinte consideração:

Tabela 6 – Número de drenos (N_D)

$$N_D \text{ informado} > N_D \text{ estimado} \Rightarrow N_D = N_D \text{ informado}$$

$$N_D \text{ informado} < N_D \text{ estimado} \Rightarrow N_D = N_D \text{ estimado}$$

$$N_D \text{ informado} = N_D \text{ estimado} \Rightarrow N_D = N_D \text{ informado}$$

Considerando as mesmas premissas a estimativa do comprimento da tubulação de drenagem (T_D) é feita a partir da seguinte equação:

Equação 14 – Total da tubulação de drenagem (T_D)

$$T_D = (N_D - 1) \cdot 50$$

onde

T_D : Total da tubulação de drenagem

N_D : Número de drenos

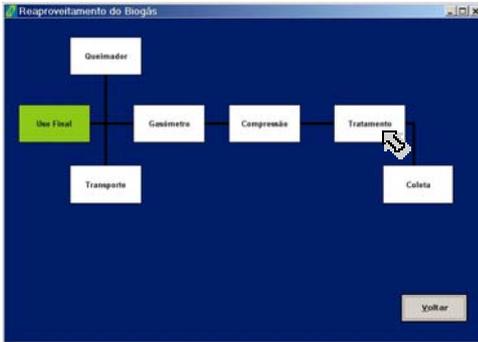
50: distância entre os drenos

[m]

[drenos]

[m/dreno]

Tratamento



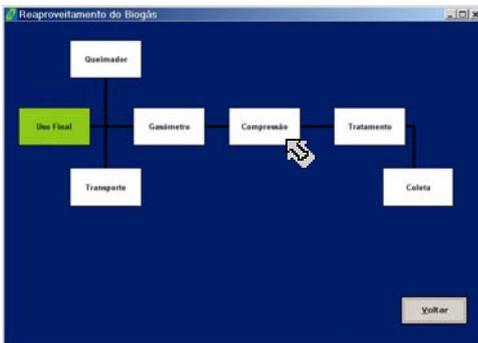
Janela de Tratamento com uma tabela de parâmetros e custos. O total calculado é R\$ 1.050.718,00 para um período de 13 anos, resultando em um custo anual de R\$ 80.824,46.

Parificação	Vazão (m³/h)	Volume (m³)	Custo (R\$/m³)	Custo (R\$)
<input checked="" type="checkbox"/> H2O filtro coalescente	307,55	112.880,00	R\$0,00	<input checked="" type="checkbox"/> Valor sugerido 360.239,50
<input checked="" type="checkbox"/> H2S / Biotina	307,55	112.880,00	R\$0,00	<input checked="" type="checkbox"/> Valor sugerido 360.239,50
<input checked="" type="checkbox"/> CO2	307,55	112.880,00	R\$0,00	<input checked="" type="checkbox"/> Valor sugerido 360.239,50

Total (R\$): 1.050.718,00
Período de 13 anos
Custo anual do tratamento (R\$/ano) 80.824,46

O tratamento do biogás pode ser feito com diferentes tecnologias e combinações de tratamentos, isso provoca significativa variação de custos. Caso não se conheçam os custos de tratamento, clique em **valor sugerido**, estes podem ser editados.

Compressão

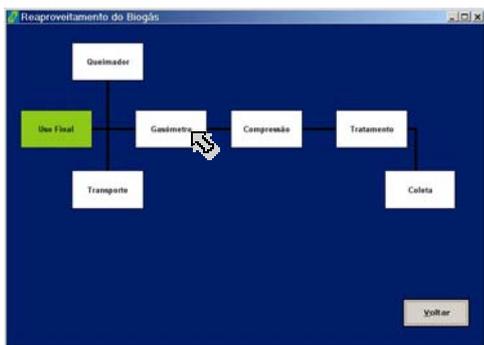


Janela de Compressão com uma tabela de equipamentos e custos. O custo sugerido para o equipamento 'Compressor Balça' é R\$ 20.512.

Equipamento	Vazão (m³/h)	Custo (R\$/m³)	Total (R\$)
Compressor Balça	20,512	<input type="text"/>	<input type="text"/>

O emprego do compressor gera a pressão negativa para a retirada do biogás do aterro e confere pressão positiva para o armazenamento, queima ou uso final. Caso não se conheça o custo de compressão, clique em **valor sugerido**, este pode ser editado. Custos como o de resfriamento, que é associado à compressão, podem ser somados ao primeiro, aperfeiçoando a estimativa.

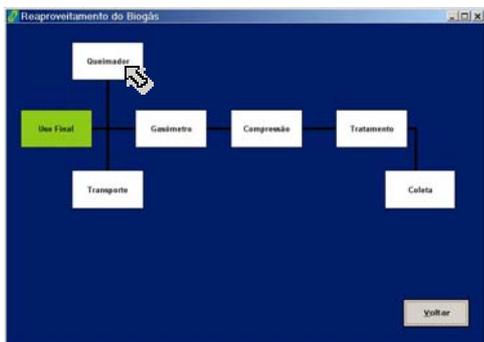
Gasômetro



Equipamento	Volume (m³)	Custo (R\$/m³)	Total (R\$)
Gasômetro	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

O emprego do gasômetro não é usual no aterro sanitário. Seu uso permite o armazenamento de diferentes volumes de combustível. Caso não se conheça o custo do gasômetro, clique em **valor sugerido**, este pode ser editado.

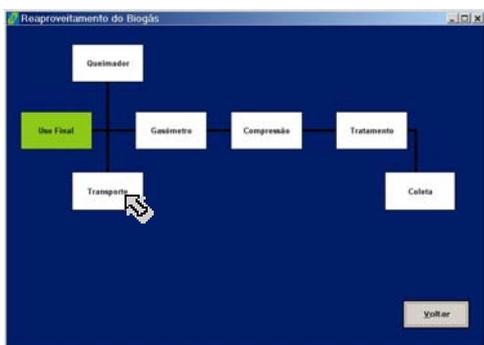
Queimador



Equipamento	Quantidade	Custo (R\$/unidade)	Total (R\$)
Queimador	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

O queimador permite a queima controlada do metano. Essa também é uma destruição de gás de efeito estufa que pode ser remunerada pelos recursos correspondentes às Reduções de Emissões Certificadas de Carbono (REC) ou Créditos de Carbono¹⁹. Caso não se conheça o custo do queimador, clique em **valor sugerido**, este pode ser editado.

Transporte canalizado do gás

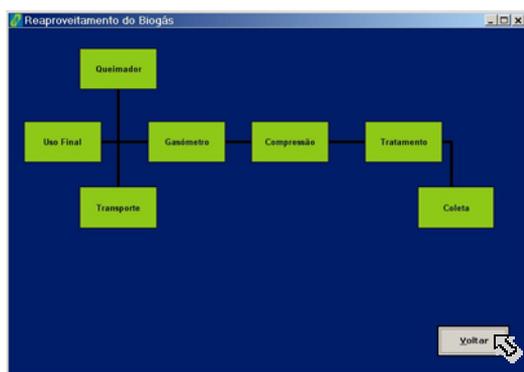


Equipamento	Distância (m)	Custo (R\$/metro)	Custo de transporte (R\$)
Gasoduto	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

A energia, em forma de gás combustível, também pode ser vendida para uma indústria, bairro ou outra linha de gás localizada na vizinhança do aterro. Para isso, o gás deve ser transportado pela

¹⁹ Reduções de Emissões Certificadas (REC) de Carbono ou Créditos de Carbono de acordo com as definições do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, Artigo 12, do Protocolo de Quioto que entrou em vigor em fevereiro de 2005.

distância correspondente em gasoduto apropriado. Caso não se conheçam os custos de transporte, clique em **valor sugerido**, estes podem ser editados.



Não é necessário que esta simulação inclua todos os elementos de projeto reunidos no programa. A seu critério o usuário pode deixar de lado quantos elementos quiser.

Preço da tonelada de dióxido de carbono e duração do projeto de Crédito de Carbono



Além das vantagens da recuperação e uso energético do biogás, gerando energia de baixo custo, também é possível estimar eventuais ganhos com a venda das Reduções de Emissões Certificadas de Carbono (REC) ou Créditos de Carbono.

Informe o valor do Crédito de Carbono e o último ano de duração do projeto²⁰.

ALERTA:

Apesar de considerar os possíveis Créditos de Carbono, este programa não considera todos os elementos de um possível projeto desse tipo. Este é um mercado em formação que sofre constantes alterações. Não é objetivo deste trabalho elaborar um projeto conforme as regras do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto.

Projetos de Crédito de Carbono devem ser feitos de acordo com as regras definidas pelo Protocolo de Quioto e sua regulamentação.

²⁰ Observe a lista que surge na própria tela, ao lado do campo solicitado definindo o período máximo do projeto.

Resumo de possíveis custos e rendimentos



Resumo de custos e rendimentos

Itens	Custo (R\$)
Custo do coleta	R\$ 676.000,00
Purificação - H ₂ S / Siloxina	R\$ 350.239,50
Purificação - H ₂ O/Ressufamento	R\$ 350.239,50
Purificação - CO ₂	R\$ 350.239,50
Custo de compressão	R\$ 153.775,88
Oscilômetro do bairro	R\$ 1.500.000,00
Oscilômetro	R\$ 9.000,00
Queimador	R\$ 200.000,00
Custo do equipamento para uso de gás	R\$ 11.000,00
Custo do equipamento para geração elétrica	R\$ 1.000.000,00
Investimento para uso direto de gás	R\$ 16.901,49
Investimento para geração elétrica	R\$ 4.583.812,88
Custo da eletricidade (R\$/MWh)	R\$ 45,25
Custo do uso do gás (R\$/m ³ CH ₄)	R\$ 7,19

Descrição	Médias
Total de CH ₄ (m ³)	24.380.514
Total de CH ₄ (t)	16.227
Total de CO ₂ (t)	342.865
Patência Usd (M\$)	1.000
Crédito de carbono pela queima (tC)	3.908.650,90
Crédito de carbono pela eletricidade (tC)	250.039,49

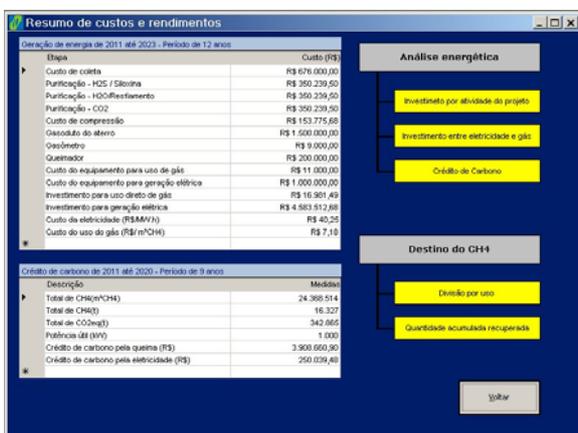
Ao final, é feito um resumo dos possíveis custos, rendimentos e quantidades correspondentes ao projeto idealizado. Esse resumo inclui o custo da geração energética, potenciais ganhos pela venda de créditos de carbono e várias outras informações.

Tabela 7 – Lista de equações empregadas na folha de resumo

$$\begin{aligned}
 \text{custo coleta [R\$]} &= \text{número de drenos [dreno]} \times \text{custo do dreno [R\$/dreno]} \\
 \text{custo benef [R\$]} &= \text{vazão biogás [m}^3\text{/h]} \times \text{período do projeto [h]} \times (\text{custo H}_2\text{S} + \text{custo H}_2\text{O} + \text{custo CO}_2) \text{ [R\$/m}^3\text{]} \\
 \text{custo compressão [R\$]} &= \text{vazão biogás [m}^3\text{/h]} \times \text{custo da compressão [R\$/m}^3\text{]} \\
 \text{custo gasômetro [R\$]} &= \text{volume [m}^3\text{]} \times \text{custo [R\$/m}^3\text{]} \\
 \text{custo queimador [R\$]} &= \text{quant [queimador]} \times \text{custo [R\$/queimador]} \\
 \text{custo transporte [R\$]} &= \text{custo transporte [R\$/m]} \times (\text{distância bairro} + \text{distância indústria} + \text{distância gasoduto} + \text{distância outro}) \text{ [m]} \\
 \text{custo equip. uso gás [R\$]} &= \text{quant [fogão]} \times \text{custo fogão [R\$/fogão]} + \text{quant [caldeira]} \times \text{custo caldeira [R\$/caldeira]} + \text{quant [uso veicul]} \times \text{custo uso veicular [R\$/uso veicul]} + \text{quant [ilum a gás]} \times \text{custo ilum a gás [R\$/ilum a gás]} + \text{quant [unid trat]} \times \text{custo trat de chorume [R\$/ unid trat]} + \text{outro [R\$]} \\
 \text{custo equip ger eletric [R\$]} &= \text{custo ger Otto nac [R\$/kWinst]} \times \text{Potência [kWinst]} + \text{custo ger diesel nac [R\$/kWinst]} \times \text{Potência [kWinst]} + \text{custo ger gás imp [R\$/kWinst]} \times \text{Potência [kWinst]} + \text{custo micro turb gás [R\$/kWinst]} \times \text{Potência [kWinst]} + \text{custo turb gás [R\$/kWinst]} \times \text{Potência [kWinst]} + \text{outro [R\$/kWinst]} \times \text{Potência [kWinst]}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{invest ger eletric [R\$]} &= (\text{custo coleta} + \text{custo beneficiamento} + \text{custo compress\~{a}o} + \text{custo} \\
 &\quad \text{gas\~{o}metro} + \text{custo queimador} + \text{custo transporte}) \text{ [R\$]} \times \text{fra\~{c}o\~{e}} \\
 &\quad \text{de g\~{a}s para ger eletric [\%]} + \text{custo equip ger eletric [R\$]} \\
 \text{invest uso g\~{a}s [R\$]} &= (\text{custo coleta} + \text{custo beneficiamento} + \text{custo compress\~{a}o} + \text{custo} \\
 &\quad \text{gas\~{o}metro} + \text{custo queimador} + \text{custo transporte}) \text{ [R\$]} \times \text{fra\~{c}o\~{e}} \\
 &\quad \text{de g\~{a}s para uso como g\~{a}s combust\~{i}vel [\%]} + \text{custo equip. uso g\~{a}s} \\
 &\quad \text{[R\$]} \\
 \text{custo eletricidade [R\$/MWh]} &= \text{invest ger eletric [R\$]} / \text{Pot\~{e}ncia \~{u}til [MW]} \text{ Per\~{i}odo [h]} \\
 \text{custo uso g\~{a}s [R\$/10}^3\text{m}^3\text{CH}_4] &= \text{invest uso g\~{a}s [R\$]} / \text{Total de CH}_4 \text{ [10}^3\text{m}^3\text{CH}_4] \\
 \text{cr\~{e}d carb (queima) [R\$]} &= \text{total de CH}_4 \text{ [10}^3\text{m}^3\text{CH}_4] \times 21 \text{ [tCO}_2\text{/tCH}_4] \times \text{Efic. de queima [\%]} \\
 &\quad \times \text{valor do CC [R\$/tCO}_2] \\
 \text{cr\~{e}d carb (ger eletr) [R\$]} &= \text{emiss\~{a}o t\~{i}pica [tCO}_2\text{/MWh]} \times \text{Pot\~{e}ncia \~{u}til [MW]} \text{ Per\~{i}odo [h]} \times \\
 &\quad \text{Efic. de queima [\%]} \times \text{valor do CC [R\$/tCO}_2] \\
 \text{Peso espec\~{i}fico do CH}_4 &= 0,67 \text{ [kg/m}^3]
 \end{aligned}$$

Caso os resultados n\~{a}o sejam interessantes o usu\~{a}rio pode executar o programa novamente at\~{e} que se obtenha uma configura\~{c}\~{a}o atraente.



Na mesma tela do resumo, tamb\~{e}m s\~{a}o feitas algumas considera\~{c}\~{o}es:

An\~{a}lise energ\~{e}tica

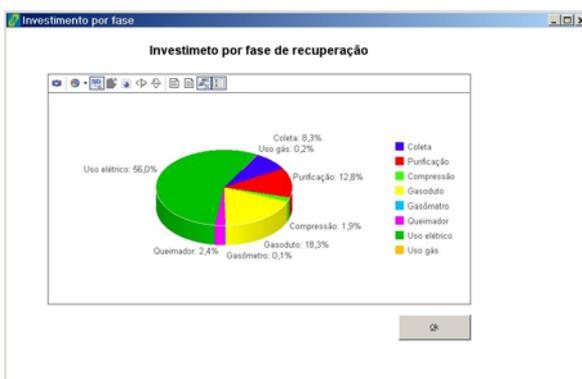
- Investimento por fase de recupera\~{c}\~{a}o
- Distribui\~{c}\~{a}o dos investimentos entre gera\~{c}\~{a}o de eletricidade e g\~{a}s
- Cr\~{e}ditos de Carbono

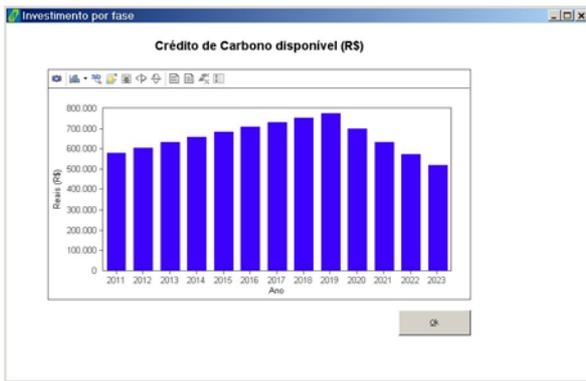
Destino do Metano

- Divis\~{a}o por uso
- Quantidade acumulada recuperada

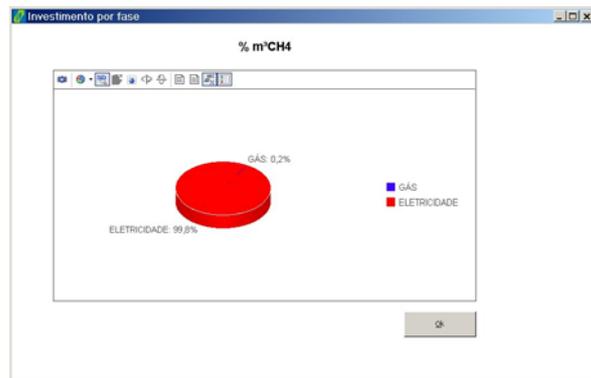
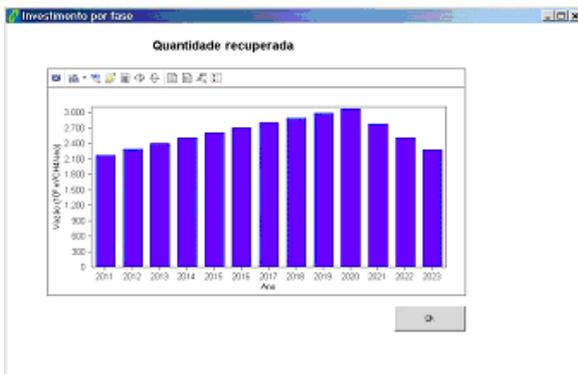
Cada uma dessas considera\~{c}\~{o}es pode ser observada graficamente, como segue:

Investimentos e Cr\~{e}ditos de Carbono





Quantidades

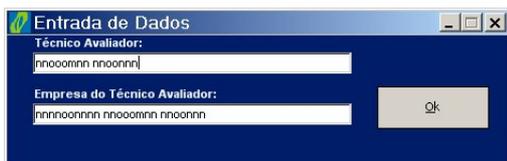


Todas representações gráficas podem ser editadas com os recursos oferecidos pelo aplicativo, são incluídas no relatório que é gerado ao final e essas imagens podem ser capturadas para a elaboração de outro documento.

Geração, impressão e armazenamento do relatório



Identificação do responsável pelo estudo



Inclua o nome do **Técnico avaliador**,
da **Empresa do Técnico avaliador**.

Esses constarão no relatório que será impresso,
ou armazenado.

Final do estudo



Em seu final, o programa permite:

- voltar para a tela anterior,
- gerar relatório,
- salvar (gravar) o projeto ou
- sair do projeto sem gravar.

Com este estudo, o usuário deu um importante passo para compreender um outro aspecto do empreendimento sanitário em questão.

Deve-se, a partir desse ponto, ampliar as discussões. Rever os valores empregados nas estimativas, ampliar o leque de informações das alternativas de emprego do biogás. Conforme sugerido no item Conceito geral do programa Biogás, geração e uso energético, na página 14 deste manual.

Bibliografia

- BANCO MUNDIAL, Manual para elaboração de projetos de biogás em aterros, Washington, 2004, na página de Internet do Banco Mundial (http://www.bancomundial.org.ar/lfg/gas_access_008_po.htm) em 2005.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Programa de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares e de serviço de saúde – PROLIXO, CETESB, São Paulo, 29 páginas, 1992.
- IPCC – International Panel on Climate Change, Guidelines on Greenhouse Gas Inventory, Chapter wastes, 1996.
- USEPA – Guide for methane mitigation projects – Gas to energy at landfills and open dumps, editores: Mark Orlic e Tom Kerr, Draft Version 2, Washington, November 1996, página 28.

Anexos

Tabela 8 – Geração média de resíduos por habitante por dia

população do município	taxa de geração de resíduos	
	(kg/habitante.dia)	(t/habitante.ano)
até 100.000 habitantes	0,4	0,146
de 100.001 até 500.000 habitantes	0,5	0,183
de 500.001 até 1.000.000 habitantes	0,6	0,219
acima de 1.000.000 habitantes	0,7	0,256

Fonte: CETESB, 1992

Tabela 9 – Valores de k sugeridos correspondentes à precipitação anual e à degradabilidade do resíduo

precipitação anual [mm]	Valores k [1/ano]		
	degradabilidade do resíduo		
	inerte	moderada	alta
<250	0,01	0,02	0,03
>250 a <500	0,01	0,03	0,05
>500 a <1000	0,02	0,05	0,08
>1000	0,02	0,06	0,09

Fonte: Banco Mundial, 2003

Tabela 10 – Valores sugeridos L_0 e k

Variável	variação	valores sugeridos		
		clima úmido	clima de umidade média	clima seco
L_0 [m ³ CH ₄ /kg _{RSD}]	0 – 0,312	0,14 – 0,18	0,14 – 0,18	0,14 – 0,18
k [1/ano]	0,003 – 0,4	0,10 – 0,35	0,05 – 0,15	0,02 – 0,10

Fonte: USEPA, 1996, citando Landfill control Technologies “Landfill gas system engineering design seminar”, 1994.

Sobre a propriedade e permissão de uso do programa

Este programa é de propriedade dos convênios firmados entre o Governo Federal e o Governo do Estado de São Paulo, por intermédio do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA-SP e Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB: *Subsídios para a recuperação e uso energético de biogás gerado em estações de tratamento anaeróbio de efluentes – ETAE e Subsídios para a recuperação e uso energético de biogás gerado em locais de disposição de resíduos sólidos – LDRS.*

Desenvolvido no Brasil, com recursos do Governo Federal e do Governo do Estado de São Paulo, tem como objetivo fomentar o uso do biogás no Brasil, facilitando a avaliação do uso energético do combustível emitido pelo aterro sanitário. Seu uso, reprodução e distribuição são livres, desde que sejam citadas as instituições realizadoras e financiadoras.

O programa foi feito em Visual Basic[®]. Todos os programas necessários para o seu correto funcionamento estão incluídos na sua instalação, sendo desnecessário qualquer outro aplicativo. A sua melhor visualização foi planejada para computadores com a configuração 800x600pixels.

Seu código fonte é de livre acesso e pode ser encontrado sob a guarda da CETESB.

Os resultados gerados pelo programa são as primeiras e menos onerosas informações que permitirão ao interessado dar início ao extenso processo de obtenção dos benefícios energéticos e financeiros pela recuperação e uso energético do biogás.

É proibida a venda ou exploração comercial deste material ou das informações geradas por ele ou com o seu auxílio.

Nota do programador

Este programa reúne e materializa experiências, de um lado, de avaliação de potencial de aproveitamento energético do biogás gerado em aterros e, de outro, de programação em Visual Basic (VB) e vários outros aplicativos que, aos poucos, foram identificados e empregados para dar forma à idéia original deste trabalho.

Durante a sua criação, procurou-se exaustivamente o aperfeiçoamento das idéias que o compõem, eliminação de potenciais erros, falhas de lógica etc. Durante esse processo, notou-se que a tarefa simplesmente não teria fim. Com isso recomenda-se aos usuários tolerância diante de eventuais falhas ainda não resolvidas. Acredita-se na evolução desta idéia e na breve edição da versão 2.0.

Foram feitos pela CETESB, dois programas de computador de nome “Biogás, geração e uso energético”. São dois volumes: “aterros” e “efluentes / resíduo rural”, cada qual, como o próprio volume indica, voltado para uma diferente aplicação.

Neste estágio do trabalho os programadores encerram a sua participação, oferecendo o programa à sociedade para que acrescente outras contribuições, fazendo com que traga efetivos subsídios para o entendimento e realização de projetos de recuperação e uso energético de biogás.

O “código fonte” e os blocos lógicos que compõem o programa permitem o seu aperfeiçoamento e a sua adaptação para outras aplicações em energia.

A instituição ou programador que tiver interesse em alterar este programa deve, antes de tudo, empregar programas licenciados, ter bons conhecimentos, como seus realizadores, de programação em VB ou similar, saneamento e energia em geral.

No processo criativo, seus idealizadores iniciaram a edição de um único programa que faria as duas estimativas. Com o seu desenvolvimento, optou-se pela separação dos assuntos e pela edição de programas distintos. O programa original foi reduzido para ser aplicado apenas em aterros. Após a conclusão desse volume, o programa foi convertido, com o mínimo de modificações, neste volume “efluentes / resíduo rural”.

Agradecimentos

A coordenação dos convênios agradece, na pessoa do Sr. José Domingos Gonzalez Miguez, ao Governo Federal, ao Ministério da Ciência e Tecnologia e à equipe da Coordenação Geral de Mudança Global do Clima pelo fundamental apoio para a realização deste projeto.

Ao secretário executivo do Fórum Paulista de Mudanças Climáticas e Biodiversidade, Sr. Fábio Feldmann, pelo empenho pessoal na formalização deste convênio.

Aos pesquisadores e alunos da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – UNESP, na pessoa do Sr. Pedro Magalhães Sobrinho, e pesquisadores e alunos do Programa Interunidades de Pós-Graduação do Instituto de Eletrotécnica e Energia – USP, na pessoa do Sr. Ildo Sauer, pelo incentivo à criação e realização deste projeto.

Na pessoa do Sr. João Gabriel Bruno, à Chefia de Gabinete, Assessoria de Controle, Assessoria de Projetos Especiais e aos funcionários do Departamento Administrativo, Divisão de Finanças, Divisão de Material e Patrimônio da Secretaria do Meio Ambiente, pelo empenho e dedicação na administração dos convênios firmados entre Governo Federal e o Governo do Estado de São Paulo para elaboração dos manuais de recuperação de biogás.

Na pessoa do Sr. José Osvaldo Cidin Valio, à Chefia de Gabinete e ao Departamento de Apoio Técnico da CETESB, pelo apoio irrestrito para a publicação deste manual.

Na pessoa do Sr. João Fusaro, diretor de Controle de Poluição Ambiental da CETESB, às suas Agências Ambientais pelo apoio logístico e técnico em campo no Estado de São Paulo.

À Assessora Editorial da SMA, Sra. Vera Maria Aranha Severo, pela criação do logotipo e pelas boas sugestões e orientações para a conclusão deste manual e ao jornalista Newton Mizuho Miura, do Setor de Imprensa da CETESB, pela solicitude e pelas sugestões que tornaram este texto menos árido.

Ao Secretário Chefe da Casa Civil do Governo do Estado de São Paulo, ex-presidente da CETESB, Dr Antônio Rubens Costa de Lara, pelo apoio incondicional para o desenvolvimento dos Convênios, quando Presidente da CETESB.

Ao grande número de técnicos, administradores e pesquisadores do Brasil e de outros países que, com seus trabalhos, contribuíram para a idealização e realização deste projeto, para o aumento da compreensão das questões relativas à estimativa de geração de biogás e das alternativas para o seu uso energético.

Finalmente, ao Sr. Antônio Carlos de Oliveira – Tonhão (*in memoriam*) que deu vida a estes convênios e inspiração aos seus executores.

Coordenação geral
Suani Teixeira Coelho

Coordenação técnica
João Wagner Silva Alves

Programador
Francisco do Espírito Santo Filho

Equipe técnica
Aline Vieira Araújo Barrense
Ana Carla Rodero Barbosa
André Del Monte Brandão
Célia Matiko Kato
Cláudia Brighenti
Dione Zangelmi Abraão Pradella
Eduardo Penteado Cardoso Filho
Filipina de Souza Soares Zanetti
Francisco do Espírito Santo Filho
João Wagner Silva Alves
Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer
Marcos Eduardo Gomes Cunha
Oswaldo dos Santos Lucon
Pedro Magalhães Sobrinho
Sonia Maria Manso Vieira
Walter Batista Júnior

Estagiários
Danilo Coelho Carvalho da Cruz
Eliane Aparecida Milani de Queiroz da Cruz
Flávio Amaral Yamamoto
Janaina Mara de Oliveira Lima
José Carlos de Moura Foryan
Luiz Fernando Stefani
Mariana Pedrosa Gonzalez
Mirella Sodré Ribeiro
Rafaela Di Fonzo Oliveira
Roberta Maibashi Rossim

Colaboração
Abner Vieira dos Santos/SMA; Ana Lucia Segamarchi/SMA; Auro Oliveira Sales/SMA; Beatriz Maria de Jesus Garcia/SMA; Carlos Cequeira Paiva/CETESB; Christobal Benjamin H. Kronca/SMA; Cláudia Maria Sanches Campanelli/SMA; Fábio Ferreira Ferling/CETESB; Denise Soletto/SMA; Eliana Aparecida Silva/SMA; Elvislane Santos Nepomuceno/SMA; Fábio Feldmann/FPMC&B; Haroldo de Oliveira Machado Filho/MCT; Ivonete Alves/SMA; Jaelson Ferreira Neris/SMA; Jerônima de Souza Damasceno/MCT; João Gabriel Bruno/SMA; João Luis Tedechi/MME; José Oswaldo Cidin Valio/CETESB; José Eduardo Gasperini/SMA; Luciana Morini/SMA; Ludmilla Auad/SMA; Mara Lorena Maia Fares/MCT; Marcela Pignanelli Pereira/SMA; Marcos Florêncio dos Santos/SMA; Marcos Willian Bezerra de Freitas/MCT; Margarette Dorsa Escobar Sabella/SMA; Maria Celeste Rigueiro Leme/CETESB; Maria da Glória Figueiredo/CETESB; Maria Inês Zanolli Sato/CETESB; Maria Nelsi Vieira/SMA; Paulo Slobodticov/CETESB, Neusa Maria Maciel/CETESB; Neusa Maria Turci/SMA; Newton Mizuho Miura/CETESB; Newton Paciornik/MCT; Renato Alonso Carneiro/ CETESB; Sergio Oliveira dos Santos/SMA; Silvia Helena Nogueira Nascimento/SMA; Vera Maria Severo/SMA; Waldemir Herrera/SMA.

Logotipo do programa de computador
Vera Maria Severo

Coordenação editorial e gráfica
Josilene Vannuzini Ticianelli Ferrer

Fotolitos impressão e acabamento
Gráfica da CETESB

A realização deste manual contou com o apoio financeiro do “Programa Mudanças Climáticas Globais” “Brasil de Todos” do Governo Federal.

Exemplares desta publicação podem ser obtidos no:

Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT

Coordenação Geral de Mudança Global do Clima

Esplanada dos Ministérios, Bloco E, sala 224

Cep 70067-900, Brasília - DF, Brasil

Tel: 61 3317-7923

Fax: 61 3317-7657

e-mail: cpmg@mct.gov.br

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB

Divisão de Questões Globais

Av. Professor Frederico Hermann Jr., 345, Pinheiros, São Paulo, SP

CEP 05459-900, Prédio I, 9º andar, sala 905

e-mail: biogas@cetesbnet.sp.gov.br

<http://www.cetesb.sp.gov.br>

<http://www.ambiente.sp.gov.br>

Apoio:
Ministério da
Ciência e Tecnologia



Realização:



Secretaria do
Meio Ambiente

